
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Проект

Справочник
Наилучшие доступные технологии в производстве стекла

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

Предисловие

Цели, основные принципы и порядок разработки справочника установлены Постановлением Правительства Российской Федерации от 23.12.2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».

1 Статус документа

Настоящий информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (далее справочник) является документом по стандартизации.

2 Информация о разработчиках

Справочник разработан Технической рабочей группой № 5 «Производство стекла», созданной приказом Росстандарта от 04.03.2015 г. № 246 на основе проекта, подготовленного ОАО «Институт стекла».

Перечень организаций и их представителей, принимавших участие в разработке справочника, приведен в разделе 7 «Заключительные положения и рекомендации».

Справочник представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (Бюро НДТ) www.burondt.ru.

3 Краткая характеристика

Справочник содержит описание применяемых при производстве стекла технологических процессов, оборудования, технических способов, методов испытаний и измерений, в т.ч. позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, водопотребление, повысить энергоэффективность, ресурсосбережение. Из описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов определены решения, являющиеся наилучшими доступными технологиями (далее НДТ). Для НДТ в справочнике установлены соответствующие технологические показатели НДТ.

4 Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Справочник разработан на основе Справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Наилучшие доступные технические методы, относящиеся к производству стекла» («Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass») с учетом особенностей производства стекла в Российской Федерации.

5 Сбор данных

Информация о технологических процессах, оборудовании, технических способах, методах, применяемых при производстве стекла в Российской Федерации была собрана в процессе разработки справочника в соответствии с Порядком сбора данных, необходимых для разработки информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям и анализа приоритетных проблем отрасли, утвержденным приказом Росстандарта от _____ г. № _____.

6 Взаимосвязь с другими справочниками по НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника с другими справочниками, разрабатываемыми в соответствии с Распоряжением правительства от 31.10.2014 № 2178-р, приведена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник утвержден приказом Росстандарта от _____ г. № _____.

Справочник введен в действие с момента его официального опубликования в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет www.gost.ru.

Оглавление

Предисловие	2
Область применения	16
1. Анализ текущего состояния стекольной промышленности	17
1.1 Структура промышленности	17
1.2 Введение	19
1.2.1 Характеристики стекла	22
1.2.2 Общая классификация типов стекла	25
1.2.2.1 Натрий-кальций-силикатные стекла	25
1.2.2.2 Свинцовый хрусталь и хрустальное стекло	26
1.2.2.3 Боросиликатные стекла	26
1.2.2.4 Специальные стекла	27
1.2.3 Историческое происхождение	28
1.3 Тарное стекло	32
1.3.1 Обзор сектора	32
1.3.2 Продукты и рынки	33
1.3.3 Коммерческие и финансовые факторы	34
1.3.4 Основные проблемы состояния окружающей среды	37
1.4 Листовое стекло	38
1.4.1 Обзор сектора	38
1.4.2 Продукты и рынки	39
1.4.3 Коммерческие и финансовые факторы	40
1.4.4 Основные проблемы состояния окружающей среды	40
1.5 Непрерывное стекловолокно	42
1.5.1 Обзор сектора	42
1.5.2 Продукты и рынки	43
1.5.3 Коммерческие и финансовые факторы	44
1.5.4 Основные проблемы состояния окружающей среды	44
1.6 Сортовое стекло	46
1.6.1 Обзор сектора	46

1.6.2 Продукция и рынки	46
1.6.3 Коммерческие и финансовые соображения.....	48
1.6.4 Основные вопросы окружающей среды	49
1.7 Специальное стекло	50
1.7.1 Общие сведения о секторе.....	50
1.7.2 Продукты и рынки.....	51
1.7.3 Коммерческие и финансовые соображения.....	54
1.7.4 Основные вопросы окружающей среды	55
1.8 Минеральная вата.....	56
1.8.1 Общие сведения о секторе.....	56
1.8.2 Продукты и рынки.....	57
1.8.3 Коммерческие и финансовые соображения.....	58
1.8.4 Основные вопросы защиты окружающей среды	59
1.9 Фритты	60
1.9.1 Общие сведения о секторе.....	60
1.9.2 Продукты и рынки.....	61
1.9.3 Коммерческие соображения.....	61
1.9.4 Основные вопросы защиты окружающей среды	62
2 Применяемые процессы и технологии	63
2.1 Обработка сырьевых материалов	63
2.2 Варка стекла.....	65
2.2.1 Сырье для стекольного производства	66
2.2.2 Процесс варки стекла.....	72
2.3 Технология варки стекла	80
2.3.1 Регенеративные печи	82
2.3.2 Обычная рекуперативная печь.....	86
2.3.3 Варка стекла с использованием горения топлива в кислороде	87
2.3.4 Электроварка.....	88
2.3.5 Комбинированная варка стекла с использованием органического топлива и электроварки	89
2.3.6 Периодическое стекловарение	91

2.3.7 Конструкции специальных печей	92
2.4 Стеклянная тара.....	93
2.5 Листовое стекло.....	99
2.6 Непрерывное стекловолокно.	103
2.7 Сортовое стекло.....	105
2.8 Специальное стекло	109
2.9 Минеральная вата.....	117
2.9.1 Стекловата.....	117
2.9.2 Каменная вата	123
2.10 Фритты	127
2.10.1 Процесс производства фритт	127
2.10.2 Плавильные печи, используемые в производстве фритт	129
2.10.3 Фритты, как сырьевой материал в производстве глазури и эмалей.....	132
3. Современное потребление сырьевых материалов и энергии и уровни выбросов	132
3.1. Введение.....	132
3.2 Общий обзор стекольной промышленности	135
3.2.1 Технологические сырьевые материалы.....	135
3.2.2 Технологические готовые продукты	142
3.2.2.1. Выбросы в воздух	143
3.2.2.1.1 Выбросы твердых примесей в атмосферу	143
3.2.2.1.2 Пылевые выбросы от движения сырьевых материалов	151
3.2.2.2. Выбросы в воду.....	159
3.2.2.3. Выбросы других отходов	160
3.2.3 Энергия	161
3.2.4 Уровень шума	172
3.3 Тарное стекло	173
3.3.1 Вводимые факторы технологического процесса	175
3.3.2 Выбросы в атмосферу	178
3.3.2.1 Сырье	178
3.3.2.2 Стекловарение шихтовой смеси.....	178
3.3.2.3. Операции дальнейшей обработки.....	195

3.3.2.4 Рассеянные выбросы	197
3.3.3 Сливы в воду	198
3.3.4 Прочие отходы	199
3.3.5 Энергия	200
3.4 Листовое стекло	204
3.4.1 Вводимые факторы производственного процесса	205
3.4.2 Выбросы в атмосферу	207
3.4.2.1 Сырье	207
3.4.2.2 Стекловарение	208
3.4.2.3 Оконечные операции	210
3.4.2.4 Рассеянные выбросы	211
3.4.3 Выбросы в воду	212
3.4.4 Другие отходы	212
3.4.5 Энергоресурсы	213
3.5 Непрерывное стекловолокно.	214
3.5.1 Входные ресурсы технологического процесса	217
3.5.2 Выбросы в атмосферу	219
3.5.2.1 Сырье	219
3.5.2.2 Варка стекломассы	219
3.5.2.3 Мероприятия части процесса далее по технологической линии	223
3.5.2.4 Рассеянные выбросы	224
3.5.3 Выбросы в воду	224
3.5.4 Прочие отходы	226
3.5.5 Энергия	227
3.6 Сортовое стекло	229
3.6.1 Исходные сырьевые материалы	232
3.6.2 Выброс загрязнителей в воздух	235
3.6.2.1 Сырье	235
3.6.2.2 Варка стекломассы	236
3.6.2.3 Последующие действия	238
3.6.2.4 Рассеянные выбросы	238

3.6.3 Выброс вредных веществ в воду.....	239
3.6.4 Прочие отходы.....	241
3.6.5 Энергия.....	241
3.7 Специальное стекло	243
3.7.1 Исходные вещества	244
3.7.2 Выброс загрязнителей в воздух	248
3.7.2.1 Сырьевые материалы.....	248
3.7.2.2 Стекловарение.....	248
3.7.2.3 Последующие действия.....	249
3.7.2.4 Рассеянные выбросы	250
3.7.3 Выброс вредных веществ в воду.....	251
3.7.4 Прочие отходы.....	252
3.7.5 Энергия	252
3.8 Минеральное волокно	253
3.8.1 Исходные вещества	253
3.8.2 Выброс загрязнителей в воздух	256
3.8.2.1 Сырьевые материалы.....	258
3.8.2.2 Стекловарение.....	260
3.8.2.3 Последующие действия.....	273
3.8.2.4 Рассеянные выбросы	276
3.8.3 Выбросы в воду загрязняющих веществ.....	277
3.8.4 Прочие отходы.....	278
3.8.5 Энергия	280
3.9 Фритты	281
3.9.1 Исходные сырьевые материалы.....	282
3.9.2 Выброс загрязнителей в воздух	283
3.9.2.1 Сырьевые материалы.....	283
3.9.2.2 Варка фритт	284
3.9.2.3 Последующие действия.....	287
3.9.2.4 Рассеянные выбросы	287
3.9.3 Выбросы в воду загрязняющих веществ.....	288

3.9.4 Прочие отходы.....	288
3.9.5 Энергия.....	289
4 Технологии для рассмотрения в определении "наилучшие доступные технологии"..	290
4.1 Введение.....	290
4.2 Выбор технологии стекловарения.....	297
4.2.1 Стекловарение в электропечи.....	303
4.2.2 Эксплуатация и техническое обслуживание печей.....	313
4.3 Технологии хранения и обращения с материалами.....	317
4.3.1 Технологии хранения материалов.....	317
4.3.2 Технологии для погрузки-разгрузки сыпучих материалов.....	319
4.4 Технологии для контроля выбросов загрязнителей в воздух при деятельности, связанной с варкой стекла.....	321
4.4.1 Твердые примеси в атмосфере.....	321
4.4.1.1 Меры борьбы с первичным загрязнением твердыми примесями.....	321
4.4.1.2 Электростатические пылеуловители.....	331
4.4.1.3 Тканевые (мешочные) фильтры.....	351
4.4.1.4 Механические пылеуловители.....	364
4.4.1.5 Высокотемпературные фильтрующие средства.....	366
4.4.1.6 Влажные скрубберы.....	368
4.4.2 Окиси азота (NO _x).....	370
4.4.2.1 Модификации процесса горения.....	371
4.4.2.2 Состав шихты.....	381
4.4.2.3 Специальные конструкции печей.....	383
4.4.2.4 Процесс Феникс.....	387
4.4.2.5 Кислородно-топливное горение.....	390
4.4.2.6. Химическое восстановление с помощью топлива (CRF).....	413
4.4.2.6.1. Процесс 3R.....	414
4.4.2.7. Избирательное каталитическое восстановление (SCR).....	421
4.4.2.8. Выборочная некаталитическая редукция (SNCR).....	438
4.4.3 Оксиды серы.....	444
4.4.3.1 Рецепт шихты.....	445

4.4.3.2 Сухая или полусухая очистка	449
4.4.3.4. Влажная газоочистка	469
4.4.4 Фториды (HF) и хлориды (HCl)	475
4.4.4.1 Сокращение объема отходов	475
4.4.4.2 Технологии газоочистки	479
4.4.5 Оксиды углерода	480
4.5 Технологии контроля выбросов в воздух от работ, не связанных стекловарением	481
4.5.1 Тарное стекло	482
4.5.2 Листовое стекло	484
4.5.3 Непрерывная стеклонить (стекловолокно)	485
4.5.4 Стеклянная посуда	487
4.5.5 Специальное стекло	488
4.5.6 Минеральное (стеклянное) волокно	489
4.5.6.1 Зона формования.....	489
4.5.6.1.1 Сопла и циклоны, оказывающие влияние	493
4.5.6.1.2 Мокрые газоочистители (скрубберы)	496
4.5.6.1.3. Мокрые электростатические осадители.....	502
4.5.6.1.4 Фильтры для каменного волокна.....	507
4.5.6.2 Печь сушки	511
4.5.6.2.1 Влияющие сопла и циклоны	511
4.5.6.2.2 Мокрые газоочистители (скрубберы)	513
4.5.6.2.3 Мокрые электростатические осадители.....	514
4.5.6.2.4 Сжигание отходящего газа	514
4.5.6.2.5 Фильтры для каменной ваты	518
4.5.6.3 Охлаждение продукта	519
4.5.6.4 Обработка и упаковка продукта.....	520
4.5.6.5 Запахи, возникающие в результате производства минеральной ваты	520
4.5.7 Фритта.....	529
4.6 Технологии контроля выбросов в воду.....	529
4.7 Технологии минимизации прочих отходов	535

4.8 Энергия.....	539
4.8.1 Технологии стекловарения и проект печи	541
4.8.2 Контроль горения и выбор топлива.....	546
4.8.3 Использование стекольного боя	547
4.8.4 Котел утилизатор.....	551
4.8.5 Предварительный нагрев шихты и стеклобоя	556
4.8.6 Гранулирование и нагрев шихты и стеклобоя.....	563
4.9 Системы управления природопользованием.....	564
5 Выводы о наилучших доступных технологических методах для сферы производства стекла.....	569
5.1 Общие выводы о наилучших доступных технологических методах для производства стекла.....	576
5.1.2 Эффективность использования энергии	578
5.1.3 Хранение и погрузка-разгрузка материалов.....	579
5.1.4 Общие меры борьбы с первичным загрязнением	582
5.1.5 Выброс вредных веществ в воду при выполнении процессов стекольного производства	588
5.1.6 Отходы от процессов стекольного производства	591
5.1.7 Шум от процессов стекольного производства	593
5.2 Выводы о наилучших доступных технологических методах для производства тарного стекла.....	593
5.2.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей	594
5.2.2 Оксиды азота (NO_x) из стекловаренных печей	594
5.2.3 Оксиды серы (SO_x) из стекловаренных печей	598
5.2.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей	600
5.2.5 Металлы из стекловаренных печей	601
5.2.6 Выбросы загрязняющего вещества от последующих технологических процессов.....	603
5.3 Выводы о наилучших доступных технологических методах для производства листового стекла.....	605

5.3.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей	605
5.3.2 Оксиды азота (NO_x) из стекловаренных печей	606
5.3.3 Оксиды серы (SO_x) из стекловаренных печей	610
5.3.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей	611
5.3.5 Металлы из стекловаренных печей	612
5.3.6 Выбросы загрязняющего вещества от последующих технологических процессов.....	614
5.4 Выводы о наилучших доступных технологических методах для производства стекловолокна из непрерывной нити	616
5.4.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей	616
5.4.2 Оксиды азота (NO_x) из стекловаренных печей	617
5.4.3 Оксиды серы (SO_x) из стекловаренных печей	619
5.4.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей	621
5.4.5 Металлы из стекловаренных печей	622
5.4.6 Выбросы загрязняющего вещества от последующих технологических процессов.....	623
5.5 Заключение НДТ для производства стеклянной посуды	624
5.5.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей	625
5.5.2 Окись азота (NO_x) из стекловаренных печей	626
5.5.3 Сернистый газ (SO_x) из стекловаренных печей	629
5.5.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренной печи	630
5.5.5 Металлы из стекловаренных печей	632
5.5.6 Промышленные выбросы в результате последующих процессов.....	635
5.6 Заключение НДТ для производства специального стекла	636
5.6.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей	636
5.6.2 Окись азота (NO_x) из стекловаренных печей	638
5.6.3 Сернистый газ (SO_x) из стекловаренных печей	641
5.6.4. Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных	

печей	642
5.6.5 Металлы из стекловаренных печей	643
5.6.6 Выбросы от последующих процессов	644
5.7 Заключение НДТ для производства стеклянной ваты	646
5.7.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей	646
5.7.2 Окись азота (NO_x) из стекловаренных печей	647
5.7.3 Сернистый газ (SO_x) из стекловаренных печей	649
5.7.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей	651
5.7.5 Сероводород (H_2S) из стекловаренных печей для производства каменной ваты	652
5.7.6 Металлы из стекловаренных печей	652
5.7.7 Выбросы от последующих процессов	653
5.8 Заключение НДТ для производства фритт	656
5.8.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей	656
5.8.2 Окись азота (NO_x) из стекловаренных печей	657
5.8.3 Окись серы (SO_x) из стекловаренных печей	659
5.8.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей	660
5.8.5 Металлы из стекловаренных печей	661
5.8.6 Выбросы от последующих процессов	662
5.9 Описание технологических методов	663
5.9.1 Выбросы пыли	663
5.9.2 Выбросы оксидов азота	664
5.9.3 Выбросы оксидов серы	668
5.9.4 Выбросы HCl , HF	668
5.9.5 Выбросы металлов	669
5.9.6 Комбинированные выбросы газообразных отходов (например, оксид серы, HCl , HF , соединения бора)	671
5.9.7 Комбинированные выбросы загрязняющего вещества (твердые + газообразные)	672

5.9.8 Выбросы загрязняющих веществ в процессе операций по резанию, шлифовке, полировке	673
5.9.9 Выбросы H ₂ S, летучих органических соединений.....	674
6 Экономические аспекты внедрения наилучших доступных технологий на стекольных заводах.....	674
6.1. Включенные издержки и экономическая оценка.....	675
6.2. Сравнение стоимостей для разных технологий	679
6.3. Данные о расходах на контроль загрязнения воздуха.....	680
6.4. Распределение затрат APC в комбинированных системах, рассчитанных на удаление более, чем одного вида загрязнителя	681
6.5. Межсредовое загрязнение	682
6.6. Пример расчета затрат	683
6.7. Данные о себестоимости систем контроля загрязнения воздуха (APC), примененных к стекловаренным печам	687
7 Новые технологии.....	733
7.1. Система высокотемпературного горения Glas Flox®	733
7.2. Радиационные горелки	735
7.3. Продвинутое устройство предварительного нагрева стеклянного боя и шихты.	736
7.3.1. Проект ПРЕШИОС (PRECIOUS).....	737
7.3.2. Проект ПРАКСЭЙР-БСП (PRAXAIR-BCP)	737
7.3.3. Проект «Зорг»	740
7.3.4. Проект «GT10» Glass Trend (Нидерланды).....	742
7.4. Новые составы стекол.....	745
7.5. Включение отходов в процесс производства каменного волокна	747
7.6. Технология стекловарения с погруженным горением	749
7.7. Обработка отходящих газов с помощью сухой двууглекислой соды и химическая валоризация отходов обработки газа.	752
7.8. Применение керамических и каталитических керамических фильтров для удаления многочисленных загрязняющих веществ от обработки отходящих газов ..	754
7.9. Электростатический осадитель типа NASU для наночастиц	759
7.10. Скруббер с заряженным облаком	761

7.11. Лазерная резка листового стекла	763
7.12. Печи отжига на основе инфракрасного излучения	765
8 Заключение и рекомендации для будущей работы	766
БИБЛИОГРАФИЯ	771
Приложения	778
Приложение А. Виды продукции, включенные в данный справочник	778
Приложение Б. Пример баланса серы для печей технического стекла	779
Приложение В. Мониторинг выбросов	784
В.1. Основные загрязнители	784
В.2. Мониторинг выбросов	786
Приложение Г: Расчет переводных коэффициентов для получения выброса массы из концентрации выброса	799
Приложение Д. Сокращения и определения	803

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Справочник

Наилучшие доступные технологии в производстве стекла Reference Document. Best Available Techniques for the Manufacture of Glass

Дата введения –

Область применения

Справочник распространяется на технологические процессы производства следующих основных видов продукции:

1. Тарное стекло, в том числе стеклянные бутылки, банки, флаконы, пузырьки, аптечная тара.
2. Листовое флоат стекло.
3. Стекловолокно непрерывное.
4. Сортное стекло, в том числе столовая посуда (стаканы, бокалы, рюмки, салатницы и т.д.), емкости для вина и напитков (графины, кувшины), художественно-декоративные изделия.
5. Специальное стекло, в том числе техническое (светотехническое, оптическое, электровакуумное, кварцевое), медицинское, термометрическое, химико-лабораторное, стеклокристаллические материалы, растворимое натрий-калий силикатное.
6. Минеральное волокно (с двумя категориями, стекловолокно и базальтовое волокно).
7. Фритты.

В Приложении А к настоящему справочнику приведены соответствующие области применения коды ОКВЭД-2.

Справочник также распространяется на технологические процессы, связанные с производством основных видов продукции, которые могут оказать влияние на объемы эмиссий или масштабы загрязнения окружающей среды:

- хранение и подготовка сырьевых материалов;
- хранение и подготовка топлива;
- производственные процессы;
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- хранение и подготовка продукции.

Справочник не распространяется на вопросы, касающиеся исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Вопросы охраны труда рассматриваются частично и только в тех случаях, когда оказывают влияние на виды деятельности, включенные в область применения настоящего справочника НДТ.

1. Анализ текущего состояния стекольной промышленности

1.1 Структура промышленности

Виды деятельности, попадающие в область применения настоящего документа, значительно отличаются по своим масштабам, используемой технологии и проблемам, связанным с состоянием окружающей среды. При определении, подпадает ли установка под действия требований, приведенных в Приложении I, рассматривается общая производительность каждой операции, связанной с стекловарением стекломассы в технологической линии. Применительно к целям настоящего документа должен использоваться критерий максимальной производительности стекловаренной печи, равной 20 тоннам в сутки, в отношении к массе произведенного выработанного стекла.

Применительно к целям настоящего документа, производственная деятельность будет именоваться 'стекольной промышленностью', состоящей из семи секторов. Эти сектора базируются на произведенных продуктах, но они неизбежно перекрывают друг друга в некоторой степени. Ниже приводятся эти семь секторов:

1. Тарное стекло – стеклянные бутылки, банки, флаконы, аптечная тара.
2. Листовое флоат стекло.
3. Стекловолокно непрерывное.
4. Сортовое стекло – столовая посуда, емкости для вина и напитков, художественно-декоративные изделия.

5. Специальное стекло, в том числе техническое (светотехническое, оптическое, электровакуумное, кварцевое), медицинское, термометрическое, химико-лабораторное, стеклокристаллические материалы, растворимое натрий-калий силикатное.

6. Минеральное волокно (с двумя категориями, стекловолокно и базальтовое волокно).

7. Фритты.

Производство силикатов натрия и калия включено в данный обзор в отличие от Европейского справочника «Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass» в связи с тем, что их выпускают на стекольных заводах по технологическим процессам очень близким к тем, которые рассматриваются в данном справочнике.

В дополнение к основным технологическим процессам настоящий документ охватывает непосредственно связанные действия, которые могли оказывать влияние на выбросы или загрязнение окружающей среды. Таким образом, настоящий документ включает в себя ряд операций, начиная с получения сырья пригодного для изготовления стеклоизделий до отправки готовой продукции. Определенные действия не охвачены, потому что они не считаются непосредственно связанными с основным видом деятельности. Например, не охвачена последующая переработка листового стекла в прочие продукты (например: стеклопакеты, автомобильные стекла, бронестекла), так как она, в основном, производится на других предприятиях. Охваченные действия включают в себя следующие операции при производстве стекла:

- разгрузка и хранение сырьевых материалов;
- дозирование компонентов, смешивание и усреднение стекольной шихты;
- варка и осветление стекломассы;
- формование (например, флоат-ванна, прокат, прессование, прессовыдувание, вытягивание стекловолокна, выработка стеклогранулята);
- термообработка стеклоизделий - отжиг, закалка, моллирование;
- обработка поверхности в процессе производства стекла (например, полирование стеклянной посуды с использованием кислоты, матирование, гравировка, нанесение покрытий);
- действия по отверждению покрытий и сушке;

- фрезерование;
- механическая обработка: шлифовка, полировка, резка и упаковка;
- хранение, транспортирование и переработка отходов.

1.2 Введение

Стекольная промышленность в России чрезвычайно разнообразна, как в части произведённой продукции, так и части используемых технологий производства. Изделия простираются от подарочных изделий ручной работы из свинцового хрусталя до огромных объемов флоат-стекла для строительства, мебельной и автомобильной промышленности. Применяемое производственное оборудование варьируется от небольших электрических печей с производительностью менее 20 т/сутки до регенеративных печей с поперечным направлением пламени в секторе листового стекла, с производительностью до 1 000 тонн в сутки. В более широком плане, стекольная промышленность также включает в себя значительное число малых установок, производительность которых ниже порогового значения 20 тонн в сутки. Однако, для некоторых из статистических данных, приведенных в этой главе, невозможно выделить вклад от малых предприятий (особенно в производствах стеклянной посуды и специального стекла), но его не рассматривают как значительный, так как они обеспечивают менее чем 5 % общего объема производства.

Стекольная промышленность по существу является отраслью производства товаров массового потребления, хотя было разработано много способов повысить добавленную стоимость для изделий крупносерийного производства, чтобы обеспечить конкурентоспособность промышленности. Более 80 % объема производства продается другим отраслям промышленности, а стекольная промышленность в целом очень зависит от строительства, автомобильной и мебельной промышленности и производства продуктов питания. Однако это общее представление распространяется не на все секторы стекольной промышленности, так как в некоторых из небольших секторов производятся ценные технические или потребительские товары.

С 1990 г в стекольной промышленности России произошли большие перемены: закрылось большинство стекольных заводов, работавших в СССР; такие как: заводы

вертикального вытягивания стекла, заводы по производству тарной и сортовой посуды, электроламповые заводы, заводы оптического стекла, заводы выпускающие прокатное стекло. Однако появились и новые заводы. Большинство вновь появившихся крупных производителей стекла в России, вошли в состав международных концернов; произошла специализация стекольных заводов; все ныне существующие стекольные заводы перешли на современные технологические линии. Практически все стекольные производства перешли на использование в качестве энергоносителя природного газа или электричества, мазут в настоящее время используется только в качестве резервного топлива.

Главными экологическими проблемами для стекольной промышленности являются выброс загрязнителей (окислов углерода и азота в основном) в воздух и энергозатратность. Стекольное производство – это энергоемкий процесс с использованием высокой температуры, в результате которого происходят выбросы продуктов от сгорания и высокотемпературного окисления атмосферного азота; то есть сернистый ангидрид, диоксид углерода и окиси азота. Выбросы при работе печи также содержат пыль, возникающую главным образом вследствие испарительного переноса и последующей конденсации летучих сырьевых материалов. На основании данных, предоставленных стекольной промышленностью, предполагается, что в среднем в год выбросы загрязнителей в воздух состоят из 2 100 тонн пыли; 35 000 тонн окиси азота; 27 000 тонн окислов серы и 7 миллионов тонн углекислого газа (прямые выбросы). Это доходит до приблизительно 0,8 % суммарных выбросов промышленности России. Общий объем энергопотребления стекольной промышленностью составлял приблизительно 104 ПДж (28,6 миллионов МВт-ч). Из суммарной энергии 15 % потребляются в виде электричества, 80 % в виде природного газа и 5 % в виде других видов топлива (мазут, пропан, бутан, кокс).

Выбросы в водную среду сравнительно низкие и не существует никаких серьезных проблем, характерных для стекольной промышленности. Однако существуют проблемы загрязнения воды в некоторых секторах, и это рассматривается далее. Уровни твердых отходов также обычно очень низки, и было реализовано много технических приёмов для уменьшения образования отходов и для того, чтобы повторно использовать собственные отходы и отходы после использования продуктов и изделий.

В основном сырьевыми материалами для стекольного производства являются легкодоступные, сравнительно безопасные, натуральные или искусственные вещества. Не

существует никаких существенных экологических проблем, связанных с обеспечением сырьём, и уровни отходов обычно бывают очень низкими.

В большинстве секторов в стекольной промышленности используются большие печи непрерывного действия, обычные сроки эксплуатации которых составляют 10 - 12 лет, а в некоторых случаях больше. Эти печи представляют собой основные капитальные затраты в создание технологической линии по производству стекла, и в процессе работы непрерывная работа печи и ее периодическая реконструкция обеспечивают естественный инвестиционный цикл. Существенные изменения технологии стекловарения реализуются наиболее экономично, если они совпадают с модернизацией печи. Это также может быть справедливым для комплексных мер по борьбе с вторичными выбросами, объем которых должен быть правильно определен, и должна быть реализована какая-либо необходимая подготовка природного газа. Однако, во время рабочей кампании возможны некоторые усовершенствования в работе печи, включая внедрение вспомогательной технологии. Для небольших печей с более частыми реконструкциями и невысокими капитальными затратами, преимущества координирования улучшения состояния окружающей среды и ремонтов печи менее значительны, но улучшение состояния окружающей среды может быть экономически более выгодно, если оно согласовано с другими инвестициями.

Общий объём производства стекольной промышленности в России оценивается в 13 миллионов тонн в год. Показательная разбивка по секторам представлена в приведенной ниже Таблице 1.1. на основе данных ОАО «Институт стекла». Отмечается непрерывный рост общего объёма производства за период 1998 – 2015 г.г.

Таблица 1.1: Приблизительная разбивка производства стекольной промышленности в зависимости от секторов

Сектор	Производство России	
	% общего объёма производства	Миллионы тонн
Тарное стекло	52,3	6,7
Листовое стекло	25,0	3,2
Непрерывное стекловолокно	2,3	0,3

Сектор	Производство России	
	% общего объёма производства	Миллионы тонн
Сортовое стекло	3,9	0,5
Специальное стекло	3,1	0,4
Минеральная вата	9,4	1,20
Фритта	3,1	0,4
Прочее	0,8	0,1
ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО		12,8

Продукция стекольной отрасли очень разнообразна, и связи между секторами порой незначительны. Однако, основной составляющей всех видов деятельности, обсуждаемых в настоящем документе, является высокотемпературная варка стекольной шихты. В справочнике НДТ будут приведены краткий обзор указанных видов продукции и некоторые важные факторы, которые влияют на каждый из них. до получения осветленной и однородной стекломассы, выработки и отжига стеклоизделий.

Во многих отношениях каждый из секторов стекольной промышленности является отдельной самостоятельной отраслью промышленности, каждая из которых производит значительно отличающиеся продукты для различных рынков и сталкивается с различными трудностями. В разделах с 1.3 по 1.10 этой главы приводится краткий обзор указанных секторов, и кратко характеризуются некоторые из важных факторов, которые влияют на каждый из них. По возможности информация для определенного сектора отображается сопоставимым образом. Отличающиеся структуры, организация и приоритеты каждого сектора означают, что информация иногда отличается как в деталях, так и по своей природе. Этого можно было ожидать, потому что относительная значимость определенных параметров будет отличаться от сектора к сектору.

1.2.1 Характеристики стекла

Стеклообразное состояние вещества представляет собой аморфную разновидность твердого состояния. Стеклообразное состояние является метастабильным, т. е. характеризуется избытком внутренней энергии. Пространственное расположение частиц

вещества, находящегося в стеклообразном состоянии, является неупорядоченным, что подтверждается результатами рентгеноструктурных исследований. Согласно законам химической термодинамики переход веществ из стеклообразного состояния в кристаллическое должен осуществляться самопроизвольно, однако высокая вязкость твердых веществ делает невозможным поступательное движение частиц, направленное на перестройку структуры. В твердых телах частицы совершают только колебательные движения относительно положения равновесия. Д. И. Менделеев изложил и научно обосновал представление о стекле как о весьма сложном расплаве высокой вязкости. В структуре стекла следует различать две составные части: неизменную и изменяемую. Под неизменной частью структуры подразумевается каркас кремнеземистого сплава, изменение которого должно вызывать изменение соединения в целом. В изменяемой части можно легко проводить замещения, не вызывая существенного изменения соединения в целом. Оксиды в стекле могут соединяться с образованием неопределенных по составу химических соединений. В этом сплав оксидов (стекло) подобен сплавам металлов переменного состава (бертоллидам). Д. И. Менделеев считал, что «Стекло не есть определенное химическое соединение, а является сплавом оксидов, подобным металлическим сплавам переменного состава». Он высказал предположение о возможном полимерном строении неорганических стекол, предвосхитив этим современные гипотезы.

Кристаллитная гипотеза А.А. Лебедева основывается на результатах исследования свойств натрий-силикатных стекол при нагревании. В ходе исследования зависимости показателя преломления стекол от температуры было обнаружено, что при нагревании стекол выше 520 °С изменения показателя преломления носят необратимый характер, что по мнению автора гипотезы, должно быть связано с изменением структуры, и в частности, с модификационным превращением β -кварца в α -кварц. Согласно гипотезе А.А. Лебедева, только небольшая часть объема стекла имеет правильное кристаллическое строение. По приближенному расчету упорядоченная часть структуры стекла оценивалась примерно в 10—15 %. Размеры кристаллитов вначале предполагались сравнительно большими — до 30 нм. Рентгеноструктурные исследования показали, что размер кристаллитов не может превышать 1,5—2 нм.

Структурная сетка стекла по теории Захариассена выполнена из тех же координационных полиэдров, что и кристаллическая решетка. Полиэдры соединяются друг с дру-

гом вершинами, однако если в кристаллических модификациях кремнезема относительная ориентация двух соседних тетраэдров с общим атомом кислорода будет одинаковой для всей структуры, то в стекле ориентация соседних тетраэдров может изменяться в широких пределах. Захариасен сформулировал условия образования стекол оксидами с допущением, что энергии стеклообразной и кристаллической разновидностей вещества близки.

Гипотеза Таммана развивала представление о стекле как о переохлажденной жидкости. Возможность перехода жидкости в стеклообразное состояние определяется температурной зависимостью скорости образования центров кристаллизации в единице объема и скорости роста кристаллов на образовавшихся центрах: чем выше скорость охлаждения расплава, тем больше вероятность получения вещества в стеклообразном состоянии. Тамман ввел понятие об интервале размягчения стекла и о температурах, ограничивающих этот интервал, T_g и $T/$. Он считал, что размягчение стекол и изменение физических свойств в интервале размягчения обусловлены тем, что «молекулы стекла начинают вращаться, приобретая таким образом характер движения, свойственный жидким и газообразным состояниям».

В большинстве случаев тенденция кристаллизоваться (расстекловывание) уменьшается с увеличением скорости охлаждения (в пределах интервала критических температур ниже точки стекловарения) и с числом и типом различных компонентов в рецептуре.

Механические свойства стекла достаточно специфичны. Фактическая прочность на растяжение стекла в несколько сотен раз ниже, чем теоретическое значение, вычисленное по энергии химической связи. Прочность на растяжение сильно зависит от состояния поверхности стекла и наличия внутренних дефектов. Методы обработки, такие как нанесение защитного покрытия, огневое полирование стекла, и предварительное напряжение могут значительно улучшить прочность на растяжение, но оно, тем не менее, остается значительно ниже теоретического значения.

Многие составы стекла также подвержены к разламыванию при быстрых изменениях температуры. Имеется несколько причин этого: преимущественно недостаточная удельная теплопроводность, сравнительно высокий коэффициент теплового расширения богатых щелочью стекол, и ограниченная прочность на растяжение. Стекла делятся на

две категории: стекла с коэффициентом теплового расширения ниже $6 \times 10^{-6}/\text{K}$ называют 'тугостекловарениями стеклами', а стекла с более высоким коэффициентом теплового расширения называют 'легкостекловарениями стеклами'.

1.2.2 Общая классификация типов стекла

Наиболее широко используемая классификация типов стекла по его химическому составу, по которой сформированы четыре основных группы: натриево-кальциево-силикатное стекло, свинцовый хрусталь и хрустальное стекло, боросиликатное стекло и специальное стекло. Первые три из этих категорий составляют 95 % всего произведенного стекла. Тысячи рецептов специального стекла, произведенных главным образом в небольших количествах, составляют оставшиеся 5 %. За очень немногими исключениями большинство стекол образовано на основе кремнекислородной структурной сетки, основным компонентом которой является диоксид кремния (SiO_2).

Базальтовое волокно является исключением в этой классификации стекла, в том смысле, что типичный химический состав не соответствует ни одной из этих категорий.

1.2.2.1 Натрий-кальций-силикатные стекла

Подавляющее большинство произведенных промышленным способом стекол имеют очень схожие составы, и в совокупности именуются натрий-кальций-силикатными стеклами. Типичный состав натрий-кальций-силикатного стекла может быть выражен как 71-75 % диоксида кремния (SiO_2 , полученного главным образом из песка), 12-16 % оксида натрия ('гидроксид натрия' Na_2O из кальцинированной соды – Na_2CO_3), 10-15 % негашёной извести ('оксид кальция' CaO из известняка – CaCO_3), и низкие уровни прочих компонентов, предназначенных для придания стеклу определенных свойств. В некоторых составах могут присутствовать также оксиды калия, лития, стронция, бария, цинка, алюминия, оксиды переходных элементов.

Натрий-кальций-силикатное стекло используется для изготовления тарного и листового стекла - бутылок, банок, фляг, наборов флаконов (парфюмерия и косметика), столовой посуды и листового стекла. Широко распространенное использование натрий-

кальций-силикатного стекла следует из его химических и физических свойств. Среди наиболее важных из этих свойств – высокое пропускание света натрий-кальций-силикатного стекла, что позволяет с успехом его использовать в производстве строительного листового стекла. Гладкая непористая поверхность, в значительной степени химически инертна и, поэтому, легко чистится. Прочность на растяжение и тепловые характеристики стекла достаточны для этих областей применения, а сырье сравнительно дешево и экономично для стекловарения. Чем выше щёлочность стекла, тем выше коэффициент теплового линейного расширения и ниже сопротивление термическому удару и химическому воздействию. Натрий-кальций-силикатные стекла обычно не подходят для областей применения, предусматривающих экстремальное или резкое изменение температуры.

1.2.2.2 Свинцовый хрусталь и хрустальное стекло

К хрустальным стеклам относятся бесцветные составы на основе диоксида кремния с содержанием от 15 до 24 мас.% оксида свинца. Показатель преломления этих стекол лежит в пределах 1,520 – 1,530 и величина плотности от 2400 кг/м³ до 2700 кг/м³. Также к хрустальным стеклам относится бариевый хрусталь, в составе которого оксид свинца полностью заменен на оксид бария, в этом случае показатель преломления не менее 1,530 и величина плотности не менее 2700 кг/м³.

Свинцовый и высокосвинцовый хрусталь содержат в своих составах от 24 до 30 и более масс % оксида свинца, и их показатель преломления равен 1,545 и более при величине плотности 2900 кг/м³ и выше.

Из указанных стекол вырабатывается высококачественная посуда для сервировки стола - рюмки, бокалы, фужеры, графины, салатники, конфетницы, вазы и высокохудожественные декоративные изделия.

1.2.2.3 Боросиликатные стекла

Боросиликатные стекла содержат в своем составе высокое содержание оксида бора. Типичный состав – 70-80 % SiO₂, 7-15 % B₂O₃, 4-8% Na₂O или K₂O, и 2-7 % Al₂O₃.

Стекла подобных составов характеризуются высоким сопротивлением к действию химических сред, низкой величиной температурного коэффициента линейного расширения и высокой термостойкостью. Указанные стекла используют для производства деталей при проведении химических процессов, лабораторного оборудования, фармацевтических емкостей, кухонной посуды, дверей духовых шкафов и варочных поверхностей, экранов каминов, светотехнических и электровакуумных изделий. Многие из рецептур боросиликатных стекол предназначены для деталей, входящих в категорию специального стекла.

Еще одним вариантом применения боросиликатного стекла является производство стекловолокна и теплоизоляции из непрерывных нитей и стекловаты. В дополнение к стойкости к химическому воздействию и низкому коэффициенту теплового расширения триоксид бора важен для волокнообразования расплавленного стекла. Типичные составы для стекловолокна отличаются от приведенного выше состава. Например, состав стекла марки Е следующий SiO_2 : 52-56 %, оксиды щелочноземельных металлов: 16-25 %, B_2O_3 : 5-10 %, Al_2O_3 : 12-16 %, а также прочие оксиды модификаторы. Также необходимо отметить, что для получения непрерывного стекловолокна становится более важным разработка новых рецептур с низким содержанием оксида бора и без бора.

1.2.2.4 Специальные стекла

К этой группе стекол относятся оптические, электровакуумные, светотехнические, термометрические, химико-лабораторные, кварцевые и стекла специального назначения, такие как: фото- и электрохромные, лазерные, радиационностойкие, стекла поглощающие излучения и т.д.

Составы стекол весьма разнообразны и синтезируются не только на основе силикатных систем, но в некоторых из них главным стеклообразователем могут быть оксиды фосфора, свинца, бора в отдельности или в совместном присутствии.

Стеклоизделия выпускаются небольшими партиями и характеризуются различными эксплуатационными характеристиками, позволяющими использовать их во многих областях науки и техники.

К отдельной группе можно отнести изготовление продукции из стеклокристаллических материалов – ситаллов, выпускаемых как в виде монолитных изделий, так и в виде порошков различной дисперсности.

1.2.3 Историческое происхождение

Стекловидные материалы возникают естественным образом при определенных условиях, например, обсидиан часто находят в областях вулканической деятельности, и он имеет состав аналогичный искусственному стеклу. Этот материал, который состоит главным образом из диоксида кремния, и соединений натрия и кальция, использовался первобытным человеком для изготовления стрел, наконечников и ножей. Другими природными формами стекла являются тектиты, которые формируются путем отвердевания расплавленной породы, распыляемой в атмосферу, когда метеориты ударяются о поверхность земли; и фульгуриты, которые формируются при ударе молнии в песок.

Начало стеклоделия относят к четвертому тысячелетию до нашей эры. Об этом свидетельствуют предметы из стекла, найденные во время археологических раскопок и хранящиеся в музеях разных стран. О том, как люди научились делать стекло, существуют разные версии. Скорее всего стеклоделие возникло на базе гончарного ремесла. Сосуды из глины приобрели в древней культуре большое значение после того, как изделия научились не только делать прочными при обжиге, но и непроницаемыми для жидкостей, покрывая их стенки стекловидными пленками (глазуриями). Достоверно установлено, что стеклоделие возникло в Египте. Центрами стеклоделия были столицы Египта, вначале Фивы, а затем Александрия. Из Египта стеклоделие проникло в Италию (I в. до н.э.). Рим в I в. н.э. становится крупным центром стеклоделия. Здесь было основано несколько стекольных мастерских и привлечено много египетских стеклоделов. Масштабы производства были настолько велики, что римские стеклоделы в 220 г. были обложены налогом, а их мастерские сведены на одну из главных улиц Рима. Из Рима стеклоделие распространяется в римские провинции (Британия, Галлия и др.), а также на северное побережье Черного моря и на Руси.

Следующим по значению после Рима центром стеклоделия в IX в. становится Венеция, сильнейшая морская держава Средиземного моря. Падение Восточной Римской

империи (1204 г.) и переселение константинопольских стеклоделов в Венецию дало сильный толчок производству венецианского стекла и вплоть до XVI—XVII вв. Венеция является мировым центром стеклоделия.

Венецианское стекло отличалось красотой форм, окрашивалось в разные цвета, отделывалось золотом, филиграном и т. п. Особую ценность представляли венецианские зеркала и бокалы. Стекло составляло значительную статью дохода в торговле Венеции с другими странами. Заботясь о сохранении секретов стеклоделия, правительство Венеции провело ряд мер по ограничению контактов мастеров стеклоделия с иностранцами. В 1291 г. венецианские стеклоделы были переселены на остров Мурано, расположенный в двух километрах от Венеции. Под страхом смерти стеклоделам запрещалось открывать секреты мастерства и эмигрировать за пределы Венецианской республики. Эти меры хотя и несомненно затруднили процесс распространения венецианского искусства стеклоделия в соседних странах, однако страны Европы, заинтересованные в развитии собственного стеклоделия, создавали для бежавших из Венеции мастеров исключительные условия. Так, например, французское правительство, привлекая венецианских мастеров, не только платило им огромное жалование, но и в случае женитьбы на француженке выдавало приданое в размере около 50 тыс. руб. золотом.

Как изменялись составы стекол? Для глазурей, по-видимому, была использована случайная смесь на основе кварцевого песка и золы, содержащей оксиды щелочных и щелочноземельных металлов. Постепенно в состав стекол и глазурей стали добавлять красящие компоненты, содержащие железо, марганец и др. Стекло получали при сравнительно низких температурах, и поэтому использовались легкоплавкие составы с повышенным содержанием щелочных компонентов (до 30 %).

По мере того как накапливался опыт стекловарения, состав стекла корректировался и приближался к некоторому оптимуму. Этот оптимум вплотную подходит к самому легкоплавкому составу, а именно составу тройной эвтектики в системе $\text{SiO}_2\text{—Na}_2\text{O—CaO}$ с температурой стекловарения 725 °С. Эвтектический состав имеет следующую концентрацию компонентов, % по массе: SiO_2 73,1; Na_2O 21,9; CaO 5. Состав римского стекла (I—V вв. н. э.) в пересчете на основные компоненты соответственно составляет 72,7; 19,8; 7,5. Анализы античных стекол показывают, что в их составе постепенно уменьшается содержание щелочных компонентов (от 30 до 16—17 %) и повышается

концентрация щелочноземельных (от 3—5 до 10%). Некоторые античные образцы стекол дают поразительные примеры сходства составов с современными. Так, например, состав стекла из раскопок в Помпее почти полностью совпадает с составом современного промышленного стекла.

Техника стеклоделия также претерпела значительные изменения с древнейших времен. До изобретения стеклодувной трубки техника формирования стеклянных изделий была весьма примитивна и состояла в применении песчано-глинистых сердечников, на которые тем или иным приемом (окунанием в расплав, навиванием стеклянной нити и пр.) наносили стекло. Применяли также прессование с помощью глиняных форм.

Варку стекла проводили в примитивных сосудах из глины. При раскопках в Ахетато были обнаружены стекольные мастерские, а в них бывшие в употреблении (с остатками стекла) глиняные горшочки вместимостью 1/4 л, а также чаша большего объема. Стекло варили, по-видимому, в два приема. Сначала смесь фриттовали, затем отбирали наиболее остеклованные куски, которые подвергали повторному нагреванию с получением расплава стекла, пригодного для формования. Фриттование проводилось в тиглях меньшей вместимости, которые разбивали, полученные куски стекла сортировали и окончательно проваривали в чашах малой глубины и большего объема, что способствовало осветлению и освобождению от свилей.

Стекло вначале плавил на кострах, затем появились более сложные очаги и способ повышения температуры горения с помощью дутья. Этот прием был заимствован, по-видимому, из металлургии. Дутье осуществляли при посредстве трубки из камыша. Концы таких трубок для защиты от горения обмазывали глиной. Считают, что именно это обстоятельство — применение камышевой трубки для раздувания пламени в стекловаренной печи натолкнуло на изобретение стеклодувной трубки. Случайное опускание в тигель обмазанного глиной конца дутьевой трубки в сочетании с попыткой продуть закупоренную расплавом стекла трубку могло подсказать древнему стеклоделу идею использования трубки для получения стеклянных пузырей, а затем сосудов. Не подлежит сомнению, что стеклодувная трубка, сделанная из металла как инструмент формования стекла, сохранившаяся до наших дней, сыграла огромную революционизирующую роль в искусстве стеклоделия. Трубка была изобретена около I в. н. э., и именно в это время начинается расцвет искусства стеклоделия. Весь многовековой опыт

стеклоделия, накопленный за предыдущее время, уже позволял уверенно получать прозрачное стекло. Однако изготовление сосудов и изделий сложной формы из стекла было весьма затруднено, поэтому и ценились эти изделия на вес золота. Стеклодувная трубка устраняла эту трудность и на многие столетия утвердилась в качестве основного инструмента формования стекла. Техника стеклоделия начала ускоренно развиваться в XIX столетии. В числе важнейших изобретений того времени следует назвать регенеративную стекловаренную печь Сименса (1870). В отличие от горшковых печей ванновые печи перерабатывают большие количества стекломассы. Это создает предпосылки механизации производства стекла. Еще раньше начинается механизированное производство прессованных стаканов, появляются идеи применения сжатого воздуха для выдувания (пневматическая трубка), идеи прессовыдувания, выдувания с вакуумным питанием, механического вытягивания трубок, листов и ряд других. Позднее эти идеи были реализованы в машинах по производству разного рода стеклянных изделий (тара, колбы и пр.). Освоение машин проходило с большими трудностями, которые определялись не столько сложностью новых процессов, сколько тенденцией монополистического капитализма задержать технический прогресс, если этот прогресс ему в данное время невыгоден. Изобретатель машины для вытягивания листового стекла Фурко провел успешные опыты еще в 1902 г., истратил на это все свое состояние, но так и не смог заинтересовать фабрикантов оконного стекла. Изобретение Фурко было реализовано в промышленности в 1913 г., когда изобретатель уже умер. Возможна следующая, очень условная, периодизация в развитии стеклотехники:

Первый период длительностью около двух тысяч лет (IV—II тысячелетия до н. э.).

Второй период такой же примерно длительности (II—I тысячелетия до н. э.). Из стекла уже делают различные небольшие сосуды (слезницы, чаши и пр.).

Третий период (конец I тысячелетия до н. э. — начало XIX в. н. э.) начинается с изобретения стеклодувной трубки. В течение этого периода искусство стеклоделия достигло большой высоты, из стекла научились делать высокохудожественные изделия. Стекло превратилось в материал широкого применения.

В 18-ом столетии некоторые изготовители уже производили более одного миллиона бутылок ежегодно (приблизительно 3 т/сутки) при помощи технологии выдувки стеклоизделий ручной выработки. Во время промышленной революции 19-го столетия

ускорялся научно-технический прогресс: печи нагревались с помощью угля вместо древесины; использовались первые автоматы; и выдувка стеклоизделий выполнялась с использованием сжатого воздуха в металлических формах для отливки. В конце 19-го столетия Фридрихом Сименсом была изобретена печь непрерывного действия, позволяющая организовать непрерывное массовое производство и использование механического оборудования.

Два важных шага были предприняты в 20-м столетии: полная механизация изготовления бутылки с внедрением первой автоматической стеклоформующей машины (IS) приблизительно в 1920 году, и изобретение флоат-процесса для листового стекла в 1962 году. В настоящее время производительность машин с индивидуальными секциями может составлять более 500 бутылок/минуту, а производство флоат-стекла может достигать до 1 000 т/сутки.

1.3 Тарное стекло

1.3.1 Обзор сектора

Тарное стекло является самым большим сектором стекольной промышленности России, занимающим от 50 до 60 % общего объема производства стекольной продукции, в зависимости от отчетного года. Сектор включает в себя производство стеклотары, то есть бутылок, флаконов и банок, используемых для упаковки пищевых продуктов, напитков, косметики и духов, фармацевтических препаратов и технических продуктов. В среднем в год сектор производит около 7 миллионов тонн стеклянной тары.

В среднем, выход ежегодно повышался на 0,9 %. Однако финансовый кризис и происходящее вследствие этого сокращение потребительского спроса ведут к уменьшению производительности вследствие временного или постоянного закрытия печей и/или поточных линий. Что еще более важно, это серьезно уменьшило возможность промышленности получать доступ к капиталу и инвестициям.

В 2015 году работает 40 стекольных заводов, производящих стеклотару, и в секторе напрямую задействованы приблизительно 14 000 человек.

Наиболее распространенная производительность технологической линии стекольного производства лежит между 150 и 300 тоннами в день. Типичное распределение

установок в пределах различных диапазонов производительности отображено в Таблице 1.2.

Таблица 1.2: Количество установок для производства стеклянной тары в определенном диапазоне объема производства

Диапазон объема производства (т/сутки)	<150	От 150 до 300	От 300 до 600
Количество установок в каждом диапазоне	12	63	8
Пропорция (%) установок в каждом диапазоне	15	75	10

1.3.2 Продукты и рынки

Химические составы тарных стекол преимущественно содержат SiO_2 , CaO и Na_2O . Для улучшения их выработочных и физико-химических свойств в составы стекол вводят MgO до 3—3,5 % и Al_2O_3 до 3—5 %, иногда до 5—7 % и плавится в печи, работающей на природном топливе, или исключительно в электрической печи. Расплавленное стекло обычно формуется в продукты автоматизированными стеклоформирующими машинами. Там, где необходимо, в состав стекла и поверхностные покрытия готовых изделий добавляют красители.

По объему, наиболее важными продуктами сектора стеклянной тары являются бутылки для вина, пива, ликеро-водочных изделий, безалкогольных напитков и банок с широким горлом для пищевой промышленности. Эти продукты по всеобщему признанию являются позициями товарной номенклатуры, но другой важной частью сектора является производство более дорогих емкостей для производства духов/косметики и фармацевтической продукции. Большинство продукции продается заказчикам в России.

Имеются три обширных сектора промышленности заказчика. Сектор напитков составляет приблизительно 75 % суммарного тоннажа стеклянных упаковочных емкостей. Сюда включены неигристые и игристые вина, крепленые вина, ликеро-водочные изделия, пиво и сидры, ароматизированные алкогольные напитки, безалкогольные напитки, фруктовые соки и минеральные воды. Сектор пищевых продуктов составляет приблизительно 20 % тоннажа (главным образом банки). Он включает в себя широкий спектр

продуктов, таких как: влажные и сухие консервы, молоко и молочные продукты, джемы, соусы и заправки, масло, уксус, и т.д. Парфюмерия/косметика, фармацевтические препараты и емкости для технических продуктов (набор флаконов), которые обычно являются небольшими бутылками, составляет оставшиеся 5 % или около этого тоннажа стеклянной тары.

Важной особенностью сектора является то, что расстояния доставки для широко распространенных бутылок для напитков и банок обычно ограничиваются несколькими сотнями километров, потому что для пустых емкостей стоимость транспортирования сравнительно высока по сравнению с отпускной ценой. Кроме того, существуют определенные местные или региональные рынки с типичными стеклянными емкостями, особенно для алкогольных напитков (отдельные винодельческие регионы, коньяк, шампанское и пиво), и это действует против рыночной конкуренции. Наборы флаконов, в частности для более дорогих духов и косметических изделий, больше подвергнуты воздействию международной конкуренции.

С другой стороны, повышенный рост и влияние глобальных групп пищевых продуктов и напитков, фармацевтических препаратов и косметики за период 1997 – 2015 год характеризовался дополнительной концентрацией и интернационализацией собственности стекольной промышленности, в сочетании с более значительной специализацией поставляемых стеклянных изделий (для компании более необычно изготавливать продукты, относящиеся к более чем одному сектору производства стекла).

1.34.3 Коммерческие и финансовые факторы

Промышленность стеклянной тары является сравнительно зрелой промышленностью, обслуживающей чрезвычайно динамично развивающиеся рынки, которая испытала медленный общий рост в период 1999 – 2014 год. Имеются неизбежные местные или временные изменения. Однако ожидается, что конкуренция со стороны альтернативных упаковочных материалов продолжит бросать вызов сектору.

Хотя печи имеют длительные сроки службы, большое количество печей подразумевает, что в любом году будет приближаться сроки реконструкции их значительной части. В секторе стеклянной тары излишек производственных мощностей обычно быва-

ет локализованным и краткосрочным. Конкуренция со стороны альтернативных материалов является значимым фактором для уровней цен.

Из-за транспортных расходов большинство стеклянной тары продается в пределах 500 км от места производства, и, поэтому импортные и экспортные товары имеют тенденцию к ограничению в известной степени. Дело обстоит не так для парфюмерной/косметической промышленности, для которой экспорт может занимать более 40 % продукции. Однако области на границах России могут подвергаться весьма сильной конкуренции со стороны стран, часто со значительно более низкими ценами, но с приемлемым качеством. Это особенно справедливо для продуктов нижней ценовой категории. Однако важно помнить, что хотя емкости продаются в масштабах определенного района, грузы, которые упаковывают в стеклянные емкости, часто экспортируются из-за пределов России в значительных количествах (например, вина, ликеро-водочные изделия, пиво, парфюмерия, масла).

Существует широкий спектр факторов, которые могут влиять на рынок стеклянной тары. Основная угроза исходит от альтернативных упаковочных материалов, особенно пластика (главным образом PET – полиэтилентерефталата), металлов (сталь и алюминий) и ламинированного картона.

Основными преимуществами стеклянной тары являются его высокая стойкость к химическому воздействию и барьерные свойства, защищающие и сохраняющие качество содержимого, и эстетическая привлекательность (прозрачность, цвет, дизайн и т.д. для презентации товаров и идентификации марок), возможность переработки в новые бутылки для вторичного использования, возможность переупаковки, легкость чистки, и возможность многократного использования. Кроме того, исходное сырье, используемое для изготовления стекла, имеется в изобилии в природе. Положение стекла по сравнению с его конкурентами значительно отличается между регионами и продуктами в зависимости от параметров рынка, затрат и усовершенствования способа упаковки. Основные недостатки стекла – его вес и хрупкость.

Иные важные факторы связаны с колебаниями в потребности в расфасованных продуктах. Например, изменение потребительских привычек, таких как тенденция к потреблению более высококачественных вин, но в меньших объемах. Климатические факторы, которые влияют на размер урожаев вина и потребление пива и безалкогольных

напитков во время летних периодов, могут также быть значительными. Колебания курсов иностранной валюты и преобладающей экономической ситуации в данном регионе будут влиять на потребность в дорогостоящих изделиях, таких как парфюмерия и ликеро-водочные изделия.

Стекольное производство является капиталоемкой промышленностью, и это ограничивает вхождение в рынок довольно больших предприятий с существенными финансовыми ресурсами. Долговременный медленный рост подразумевает, что хотя новые печи изготавливаются, они обычно должны возводиться компаниями, уже работающими в данном регионе, или другими существующими компаниями, входящими в этот регион. Значительная часть роста продаж будет достигаться путем обновления существующих предприятий во время запланированных реконструкций. В основном, имеется тенденция передачи права собственности более малых компаний крупным компаниям.

Инвестиционный цикл длинный. Как правило, печи для варки стеклянной тары работают непрерывно, или с одним или двумя незначительными ремонтами в течение более 20 лет, после чего они реконструируются либо с частичной, либо с полной заменой конструкции в зависимости от ее состояния. Несложная реконструкция среднего размера печи (около 250 тонн в сутки) будет стоить приблизительно от 180 до 300 миллионов рублей или больше. Фактические расходы могут быть значительно выше, потому что реконструкция может быть удобным временем, чтобы реализовать какие-либо обновления производственного процесса. Новое предприятие сопоставимого размера создаваемое "с нуля" стоило бы в районе от 2400 до 3000 миллионов рублей, включая инфраструктуру и службы.

Основными производителями тарного стекла являются Холдинги «Русь стекло», ООО "Чагодощенский стеклозавод и К", ООО "РАСКО", ООО «Объединенные стекольные заводы».

Основные виды продукции на сегодняшний день – бутылки (пивные, винные, для шампанского, для безалкогольных напитков, молочных продуктов, для водки, коньяка, технических жидкостей и т.д., из прозрачного, полупрозрачного и цветного стекла), банки (для продовольственных консервов, детского питания, сыпучих веществ), флаконы для парфюмерии и косметики. Заводы расположены практически во всех субъектах Федерации.

1.3.4 Основные проблемы состояния окружающей среды

Основная проблема состояния окружающей среды, связанная с производством стеклянной тары, заключается в том, что это энергоемкий процесс, выполняемый при высокой температуре. Это влечет за собой выбросы продуктов горения и высокотемпературное окисление атмосферного азота, сернистый ангидрид, диоксид углерода. Выбросы из печи также содержат пыль (возникающую в результате испарительного переноса и последующей конденсации летучих сырьевых материалов) и следы хлоридов, фториды и металлы присутствуют в качестве примесей в сырье. Чтобы ограничить все эти выбросы можно использовать различные технические решения, но каждый технический метод имеет различные финансовые и экологические последствия, связанные с ним.

Главные улучшения состояния окружающей среды были выполнены в рамках сектора, что повлекло за собой существенное уменьшение потребления энергии и выбросов из печи. В частности улучшения были достигнуты с помощью технологии уменьшения первичных выбросов для оксидов азота и сернистого ангидрида, перехода с мазутного отопления стекловаренных печей на газовое.

Уровни отходов в пределах сектора очень низки. Действительно, непрерывное развитие в пределах сектора заключалось в повышении использования утилизируемых отходов стекла. Средний коэффициент привлечения стекольного боя в рамках сектора стеклянной тары в России составляет приблизительно 50 % от суммарного ввода исходного материала, при наличии некоторых установок, использующих 80 % или более повторно используемого стекла. Некоторые виды продукта, в котором требуется высокая степень бесцветности, например, в определенных духах или роскошной косметике, а также на рынках алкогольных напитков, утилизируемые отходы стекла, создаваемые промышленными изделиями, возможно и нельзя будет использовать в значительной степени из-за примесей цветного стекла.

Явное преимущество стекла над альтернативными упаковочными материалами легкость вторичной переработки и повторного использования. В большинстве случаев производство стеклянной тары не должно представлять значительные проблемы загряз-

нения воды. Вода используется главным образом для чистки и охлаждения и может быть легко переработана или повторно использована.

1.4 Листовое стекло

1.4.1 Обзор сектора

Листовое стекло является вторым по величине сектором в стекольной промышленности Российской Федерации, который составляет приблизительно 25 % от общего объема производства стекольной продукции. Сектор включает в себя производство флоат-стекла.

В год сектор производит приблизительно 3,2 миллионов тонн стекла от 15 флоат-линий восьми компаний, работающих в России.

В 2015 году в секторе приблизительно 4500 человек непосредственно занято в изготовлении листового стекла. В среднем ежегодный рост выпуска листового стекла составляет около 2-3 %.

Изготовление листового стекла является глобальным бизнесом, включающим в себя четыре главные группы, три из них представлены в России; в порядке всемирных емкостей (объемов) они: Asahi Glass (AGC Flat Glass Europe), NSG (Pilkington, Великобритания), Guardian Industries (США).

Информация относительно право собственности на флоат-линии приводится в Таблице 1.3, а распределение линий по производительности – в таблице 1.4.

Таблица 1.3: Владельцы и местоположение флоат-линий

Компания	Количество флоат-линий	Местоположение
AGC Flat Glass Europe	4	Московская обл. (2), Нижегородская обл. (2)
Pilkington	1	Московская обл.
Guardian	2	Рязанская обл. (1), Ростовская обл. (1)
ОАО «Салаватстекло»	4	Республика Башкортостан (2), Саратовская обл. (2)

Компания	Количество флоат-линий	Местоположение
ОАО «Каспийский завод листового стекла	1	Республика Дагестан
Sisecam	1	Республика Татарстан
ОАО «Саратовский ин- ститут стекла»	1	Саратовская обл.
ОАО «Югроспродукт»	1	Ставропольский край
Общее количество	15	

Таблица 1.4: Процентное отношение флоат-ванн в нормативных пределах

Диапазон производственной мощности (т/сутки)	% производственной мощности в каждом диапазоне
<400	2
400 - 550	0
550 - 700	10
>700	3

1.4.2 Продукты и рынки

В России в настоящее время производится только один вид листового стекла – флоат-стекло, которое используется для изготовления изделий строительного, технического, автомобильного и мебельного назначения.

Преимущества получения листового стекла флоат методом такие как экономичность, широкая номенклатура выпускаемых изделий, малоотходность и высокое качество являются такими, что начиная с его внедрения в промышленность в 1962 году, другие способы производства листового стекла постепенно вытеснялись, и перестали существовать в России.

Важнейшими рынками для флоат-стекла являются строительная, мебельная и автомобильная промышленность. Наибольшим из этих рынков является строительная промышленность, которая составляет 75-85 % продукции, а большинство из оставшихся

15-25 % перерабатываются в остекление для автомобильной и транспортной промышленности. Некоторые стекла просто режутся по заданным размерам и используются непосредственно для остекления жилых и общественных зданий, но большинство произведенного листового стекла перерабатывается в другие продукты, в основном, в стеклопакеты. Для автомобильной промышленности изготавливаются многослойные ветровые стекла, боковое и заднее закаленное остекление и люки. Основным переработанным продуктом для строительной промышленности являются стеклопакеты в виде одно- или двухкамерных стеклопакетов, часто с одним слоем стекла с энергосберегающим покрытием. Эти стеклопакеты составляют 40-50 % рынка, а оставшаяся часть состоит из посеребренных, с защитным покрытием, упрочнённых и слоистых продуктов, каждый из которых составляет 10-15 %.

1.4.3 Коммерческие и финансовые факторы

Изготовление флоат-стекла является капиталоемкой деятельностью, требующей существенных финансовых ресурсов, долгосрочных капиталовложений и высокотехнологичных навыков. По этой причине количество крупных международных производителей ограничено. Меньшие производители существуют, хотя они широко не распространены.

Печи для варки флоат-стекла работают непрерывно в течение 12 - 15 лет (или дольше в некоторых случаях), после чего они реконструируются с частичной или с общей заменой конструкции в зависимости от ее состояния. Масштабная реконструкция стоила бы –1,8-3,0 млрд. руб., а новая флоат-линия (обычно производительностью более 600 тонн в день) будет стоить приблизительно –6-9 млрд. руб.

1.4.4 Основные проблемы состояния окружающей среды

Основная проблема состояния окружающей среды, связанная с производством листового стекла, заключается в том, что это энергоемкий процесс, выполняемый при высокой температуре. Это влечет за собой выбросы продуктов горения и высокотемпературное окисление атмосферного азота, то есть сернистый ангидрид, диоксид углерода

и оксиды азота. Выбросы из печи также содержат пыль (возникающую в результате испарительного переноса и последующей конденсации летучих сырьевых материалов) и следы хлоридов, фториды и металлы присутствуют в качестве примесей в сырье. Чтобы ограничить все эти выбросы можно использовать различные технические решения, но каждый технический метод имеет различные финансовые и экологические последствия, связанные с ним.

Отходы стекла, образующиеся на месте производства, утилизируются в печи, и проведены большие работы по вторичной переработке отходов после использования продуктов и изделий. Стекольный бой листового стекла является полезным сырьем для других компонентов стекольной промышленности, в частности стеклянной тары и сектора изоляционной ваты, и по имеющимся оценкам до 95 % отходов стекла от обработки в некотором роде повторно используются. Как правило, производство листового стекла не должно представлять значительные проблемы загрязнения воды. Вода используется главным образом для чистки и охлаждения, и может быть легко переработана или повторно использована.

Сделаны основные улучшения состояния окружающей среды при производстве листового стекла, значительно уменьшены выбросы посредством первичных и вторичных мер, и было достигнуто уменьшение удельных энергозатрат. С 1960 по 1995 год потребление энергии было уменьшено на 60 %, в то время как за период 1996 – 2006 годы, было достигнуто дополнительное уменьшение потребления энергии ещё приблизительно на 20 %. Теоретический минимум потребления энергии для варки листового стекла составляет 0,76 МВт-ч/т (эквивалентный 2,74 ГДж/т), и для дальнейшей положительной динамики необходим принципиально новый метод варки стекла. Фактические минимальные значения для удельных энергозатрат приблизительно составляют 5 ГДж/т в начале кампании печи. При рассмотрении общего воздействия на окружающую среду сектора листового стекла полезно будет рассмотреть некоторые из экологических преимуществ, связанных с продуктами. Например, общий энергетический баланс, связанный с производством остекления, включает в себя и энергию, расходуемую при ее изготовлении, и ее воздействие на энергию, расходуемую зданием, в котором остекление используется на протяжении всего периода, в течение которого оно установлено (не менее 30 лет).

Строительная отрасль расходует, по крайней мере, 40 % потребления энергии России, половина которого используется для обогрева домов. Модернизация существующих и новых зданий, путем замены обычных или двойных рам двойными рамами с энергосберегающими стеклами, значительно улучшает теплоизоляцию. Тепловые потери уменьшены в 5 раз по сравнению с одинарным остеклением, и в 2,5 раза по сравнению с обычными двойными рамами. Это может оказывать значительное воздействие на использовании энергии в зданиях и сооружениях.

Продукты с улучшенными свойствами для автомобильного рынка помогают уменьшить расход топлива, уменьшая вес, и уменьшить нагрузку от кондиционера путем применения солнцезащитных стекол.

Предполагаемое уменьшение потребления энергии для нагревания, которое может быть достигнуто, путем поддержки использования высокоэффективного, энергосберегающего или тройного остекления во всех новых и существующих зданиях в России, эквивалентно 500 000 ТДж энергии ежегодно, соответствующих 50 миллионам тонн выбросов CO_2 ежегодно.

Дополнительное уменьшение выбросов CO_2 между 7 и 40 миллионами тонн ежегодно было оценено, как возможный результат применения солнцезащитного стекла в зданиях, снабженных кондиционированием воздуха.

В течение срока эксплуатации стекла уменьшения выбросов CO_2 , достигнутые путем использования в производстве энергосберегающих стеклянных изделий, безусловно перевесят выбросы, создаваемые при варке стекол.

1.5 Непрерывное стекловолокно

1.5.1 Обзор сектора

Производство стекловолокна из непрерывной нити – это один из самых малых секторов стекольной промышленности с точки зрения тоннажа, но продукты имеют сравнительно высокое значение по отношению к относительной массе. Этот сектор охватывает изготовление непрерывных стеклянных нитей, которые перерабатывают в другие продукты. Оно отличается от изготовления изоляционного штапельного стек-

лянного волокна, которая изготавливается с помощью другого процесса, и обычно называется 'стекловатой'.

В глобальном масштабе крупнейшими производителями стеклянных нитей были США с более чем 40 % мирового объёма выпуска продукции, и Европа и Азия, каждый выпускал 20 – 25 % соответственно. Самым крупнейшим производителем является OwensCorning, за которым следуют Vetrotex и PPG. В России действует 12 заводов по производству непрерывного стекловолокна, все стекловаренные печи на которых производят меньше 50 тонн стекломассы в сутки.

1.5.2 Продукты и рынки

Стекловолокно из непрерывной нити выпускается и поставляется во множестве форм: жгутовая ткань, циновка, рубленая стеклопряжа, ткань (пряжа), тонкая ткань и молотые волокна. Основное конечное применение (приблизительно 90 %) – производство композитных материалов (пластмасса, армированная стекловолокном, GRP). Композиты имеют разнообразное промышленное и строительное применение в пределах России благодаря их высокой прочности, малому весу и коррозионностойкости. Постоянно разрабатываются новые варианты применения.

Основными рынками для композитных материалов являются строительная промышленность, автомобильный сектор и сектор транспорта, и электрическая и электронная промышленность. Другие виды применения состоят из труб и резервуаров, сельскохозяйственного оборудования, промышленного механического оборудования, секторах спорта, досуга и в морском хозяйстве.

Быстро растущий рынок для композитов, армированных стекловолокном - возобновляемые источники энергии и в частности ветроэнергетика. Второе наиболее важное конечное применение – изготовление текстиля, который используется в подобных рынках для композитов, хотя ясно, что для других видов применения. Основной рынок для стеклотканей – электронная промышленность, где они используются в производстве печатных плат.

Сектор имеет широкую и всё более разнообразную клиентскую базу с существенной международной торговлей. Эта глобальная торговля снижает влияние колеблюще-

гося функционирования экономики между определенными рынками или географическими регионами. Это действительно увеличивает уязвимость к конкуренции со стороны низкозатратных регионов.

1.5.3 Коммерческие и финансовые факторы

Сектор стекловолокна из непрерывной нити в перспективе показывает хороший рост. Его продукты имеют сравнительно высокую цену, легко транспортируются, и существует значительная международная торговля. Хотя потребность в продуктах растет, имеется очень сильная конкуренция, которая оказывает давление на цены и ограничивает доходность. Средняя загрузка мощностей составляет приблизительно 95 %.

Производство стекловолокна из непрерывной нити является очень капиталоемкой деятельностью, требующей существенных финансовых ресурсов, долгосрочных капиталовложений и сотрудников с высокими техническими навыками. По этой причине имеется ограниченное количество крупных международных производителей и несколько менее крупных производителей.

Печи в этом секторе работают непрерывно в течение 8 - 12 лет, после чего они реконструируются с частичной или с общей заменой конструкции в зависимости от ее состояния. Реконструкция печи производительностью около 75 тонн в сутки будет стоить приблизительно 480 миллионов рублей. Новое предприятие сопоставимого размера, создаваемое "с нуля", стоило бы приблизительно от 450 миллионов рублей до 5400 миллионов, включая инфраструктуру и службы.

1.5.4 Основные проблемы состояния окружающей среды

Производство стекловолокна из непрерывной нити является сравнительно малоотходной деятельностью по сравнению со многими иными видами производственной деятельности. Однако производство мелких волокон может вызвать поломки, что в свою очередь приводит к более высокому уровню отходов в расчете на тонну продукта, чем в среднем по стекольной промышленности. Возврат продукта назад в печи для производ-

ства стекловолокна все еще является основной трудностью, но имеются данные об интенсивной активности, направленной на устранение этих трудностей.

Как правило, при производстве стеклянной нити отсутствуют существенные проблемы загрязнения воды. Вода используется главным образом для чистки и охлаждения, но имеются потенциальные выбросы, связанные с использованием материалов в качестве замасливателя. Выбросы могут возникнуть в результате подготовки замасливателя и обращения с ним, сбрасывания наматываемого материала и операций вторичной обработки. Выбросы могут быть ограничены при помощи соответствующей технологии для обработки и защиты от разливов, а остаточные уровни загрязнения могут быть обработаны с помощью стандартной технологии.

Главные экологические проблемы, связанные с производством стекловолокна из непрерывной нити заключаются в том, что это энергоемкий процесс с использованием высокой температуры. Это влечет за собой выбросы продуктов горения, окисление атмосферного азота, сернистого ангидрида, диоксида углерода. Выбросы при работе печи также содержат пыль (возникающую главным образом вследствие испарительного переноса и последующей конденсации летучих сырьевых материалов) и следы хлоридов, фториды и металлы присутствуют в качестве примесей в сырье. Возникающую пыль, отделяемую с помощью фильтрации от топочных газов, в большинстве случаев не возвращают назад в печь из-за явления механического выноса и присутствия агрессивных/коррозионных компонентов, таких как хлорид натрия (NaCl).

Вследствие природы процесса волокнообразования, изменяющиеся уровни фторидов иногда используются в пакете, что может повлечь за собой выбросы фтористого водорода. Чтобы ограничить все эти выбросы можно использовать технические решения, но каждый технический метод имеет связанные с ним финансовые последствия и последствия для окружающей среды. В производстве стеклянной нити были сделаны серьезные улучшения состояния окружающей среды, были значительно уменьшены выбросы, и было уменьшено потребление энергии. При рассмотрении общего воздействия сектора на окружающую среду полезно рассмотреть некоторые из экологических преимуществ, связанных с композитными материалами, которые являются основным конечным применением стеклянных нитей. В дополнение к многочисленным техническим преимуществам, при производстве композитных материалов обычно используется зна-

чительно меньше энергии, чем при производстве материалов, которые они заменяют, особенно стали и алюминия. Они обеспечивают уменьшение веса при применении на транспорте (что способствует экономии топлива), и у них более длительный срок службы благодаря их высокому сопротивлению коррозии.

Позже они способствовали успешной разработке больших коммерчески рентабельных конструкций ветряной электростанции, в частности лопастей, делая ценный крупный вклад в индустрию возобновляемых источников энергии и в глобальные усилия по уменьшению выбросов CO₂ в атмосферу.

1.6 Сортное стекло

1.6.1 Обзор сектора

Сектор сортного стекла является одним из небольших секторов стекольной промышленности приблизительно с 4 % общего объема производства. Этот сектор охватывает изготовление стеклянной столовой посуды, сосудов для вина и напитков, художественно-декоративных изделий. Изготовление сортного стекла получило очень широкое распространение по всей России, но в настоящее время работает только 9 заводов, общий объем производимой продукции составляет приблизительно 0,5 миллиона тонн в год. В общем выпуске изделия, вырабатываемые механизированным способом составляют около 70 % и ручным около 30 %, причем ассортимент изделий вырабатываемых вручную значительно шире чем изделия, полученные механизированным способом.

1.6.2 Продукция и рынки

Сектор стеклянной посуды отличается большим разнообразием продукции и реализуемых технологических процессов. Диапазон выпускаемой продукции – от большого количества массовых изделий до дорогостоящих хрустальных графинов, бокалов, салатников, ваз, эксклюзивных кубков и высокохудожественных изделий. Методы изготовления продукции предусматривают использование как ручного труда (ручное стекловыдувание, огранка, гравировка), так и полностью автоматизированных устройств. Основная продукция представлена в Разделе 1.6.1, где бокалы составляют более 50 % выпускаемых изделий.

Большая часть продукции изготавливается из натрий-кальциевого стекла, которое может быть бесцветным, либо окрашенным в различные цвета от полутонов до насыщенных. Для изготовления стаканов, графинов и декоративных изделий, характеризующихся высоким светопреломлением и плотностью, используются хрусталь и хрустальное стекло. Для изготовления чашек, тарелок, сервировочных блюд и жаропрочной посуды используется опаловое стекло. Боросиликатное посудное стекло, больше известное по некоторым из таких торговых марок, как Duran (Shott) и Pyrex (Arc International) – для основной продукции, такой как кухонная посуда и жаростойкая столовая посуда. В ряде случаев продукция, изготовленная из таких различных составов стекла, подлежит закалке с целью повышения стойкости к механическому и термическому воздействию. Продукция из ситалла используется в условиях высокотемпературного режима, главным образом, для кухни и может выдерживать высокую степень термического воздействия. Круг конечных пользователей продукции исключительно широк, от частных лиц до оптовых партий для ресторанов, сети кафе, баров и предприятий общественного питания.

На различные части рынка влияет широкий диапазон факторов. Очень важными являются потребительские вкусы и общие тенденции. Например, все большее развитие предприятий общественного питания (кафе, ресторанов) повысило требования к более дешевым изделиям среднего качества. Для производителя важно опережать такие изменения тенденций и соответствующим образом реагировать на них, поэтому важной частью производственного процесса является гибкость.

Как следствие, состав стеклянной посуды должен соответствовать специфике продукции и требованиям обработки. Даже основной натриево-кальциевый состав может иметь существенные отличия от других натрий-содержащих составов, например, для тарного или плоского стекла.

Все возрастающее введение механизированного производства хрусталя и хрустальных стекол привело к созданию более дешевых массовых изделий, обладающих качеством близким качеству изделий, изготавливаемых вручную. Однако, такой тип дорогостоящей продукции особенно чувствителен к пользовательским предпочтениям, и необходимый ярлык ручного производства диктует более высокую цену. Это значит, что

маловероятно, чтобы изделия ручного производства ограничивались (по крайней мере, изделия средней цены) индивидуальным производством по заказам.

1.6.3 Коммерческие и финансовые соображения

Наряду с большинством секторов стекольной индустрии сектор стеклянной посуды представляет собой сложившийся зрелый бизнес, отвечающий долговременному росту потребительского спроса. Изделия сортового стекла легко транспортируются, что благоприятно сказывается на международной торговле. Главной угрозой для данного сектора является конкуренция на внутренних рынках, вследствие увеличивающегося импорта, а также все большая конкуренция на основных экспортных рынках. Такая растущая тенденция привела к сильному давлению на цены и, следовательно, к ограниченной прибыльности.

Что касается других секторов этой отрасли промышленности, то крупномасштабное производство стекла является капиталоемким, требующим существенных долгосрочных инвестиций. Это находит отражение в небольших пропорциях изготовителей стеклянной посуды, производящих более 20 тонн в сутки. Несмотря на то, что небольшое число таких компаний производят большую часть продукции России, сектор стеклянной посуды является необычным в том, что в нем имеется большое количество мелких, менее капиталоемких производств, которые часто специализируются на дорогостоящих изделиях ручной работы или ориентированы на определенные ниши рынков. Такое небольшое количество стекла может изготавливаться в горшковых, либо ваннных печах, которые сравнительно легче установить и эксплуатировать, но они никогда не могут конкурировать с крупномасштабными рынками экономически.

В секторе стеклянной посуды используется широкий ряд печей различных размеров и типов, соответственно периодичность ремонта печей также варьируется. Большие печи на природном топливе используются от 3-х до 8 лет, прежде чем им необходим капитальный ремонт. Для печей с электрическим нагревом – этот срок составляет от 3 до 6 лет, для горшковых печей – от 10 до 20 лет при условии замены горшков каждые 3-12 месяцев. Для типичной электронагреваемой печи, обеспечивающей 30 тонн хрусталя в день, стоимость капитального ремонта (исключая формовочные машины) составляет в районе 120 млн. рублей, а новой печи – 480 млн. рублей. Для типовой печи на природ-

ном топливе с выпуском 130 тонн в день – натрий-кальций-силикатной стекломассы – капитальный ремонт (исключая формовочные машины) обходится около 240 млн. рублей, а стоимость новой печи порядка 720 млн. рублей.

1.6.4 Основные вопросы окружающей среды

Обычно сырьевые материалы для производства стеклянной посуды сравнительно безвредные, как натуральные, так и подготовленные смеси. Исключение составляет производство хрусталя или хрустального стекла, что связано с использованием оксида свинца, а иногда сурьмы или трехоксида мышьяка, что требует осторожности при их обработке, хранении и использовании при составлении шихтовых смесей для предотвращения выбросов в атмосферу. В секторе образуются сравнительно низкие уровни отходов, и большая часть образуемого внутреннего стеклобоя используется повторно. Там, где это невозможно, ввиду качественных ограничений, стеклобой может использоваться сектором стеклянной тары (за исключением хрусталя и хрустального стекла). Внешний стеклобой в данном секторе не используется из-за отличия химического состава стекол и низкого качества в сравнении с хрустальными стеклами.

Большинство типов производства стеклянной посуды не связано с основными проблемами загрязнения воды. Вода широко используется для очистки и охлаждения, и может легко утилизироваться или подлежать обработке. Однако использование более токсичных веществ в производстве хрусталя или хрустального стекла является более опасным фактором загрязнения. Выбросы могут быть минимизированы, и остаточные уровни загрязнения могут устраняться путем использования существующих стандартных технологий.

Что касается других секторов производства стекла, то основные вопросы окружающей среды, связанные с изготовлением стеклянной посуды, заключаются в том, что это – высокотемпературный энергоемкий процесс. Для печей на природном топливе это связано с выбросом продуктов горения и высокотемпературной оксидацией атмосферного азота, сернистого и углекислого газов, оксида азота. Выбросы из печи содержат также пыль, следы хлористых и фтористых соединений, металл, возникающие в процессе испарения и последующей конденсации летучих веществ, присутствующих в составе обрабатываемой партии. Использование некоторых специальных видов сырьевых мате-

риалов, применяемых для придания высоких эксплуатационных характеристик конечному продукту, могут повысить выброс фтористого водорода при варке опаловых и глухих стекол, производимых с помощью сырьевых материалов, содержащих фториды, соединения бора – для боросиликатных стекол, оксиды азота – при использовании нитратных соединений и т.д. При выполнении полировки с помощью кислот необходимо учитывать вопросы, связанные с воздушной средой, водой и утилизации отходов.

Для минимизации всех этих выбросов имеются возможные технические решения, но всякая технология связана с финансовыми вопросами и состоянием окружающей среды. Принятые в последние годы меры позволили значительно улучшить состояние окружающей среды, уменьшились промышленные выбросы и потребление энергии.

1.7 Специальное стекло

1.7.1 Общие сведения о секторе

Производство сектора специального стекла составляет около 2.1 % общего выпуска стекольной промышленности, и в тоннажном выражении это пятый по объему продукции сектор. Сектор производит 0.4 млн. тонн стеклоизделий широкой номенклатуры.

Сектор специального стекла исключительно широкий, он охватывает большой диапазон изделий, таких как электровакуумное стекло, химико-лабораторное (стеклянные трубки, колбы, мензурки и воронки), стекло для осветительных приборов (трубки и колбы), боросиликатные стеклянные трубки, лабораторные и технические стеклянные изделия, боросиликатное и стеклокристаллическое (стекла для электроплит и высокотемпературные посудные принадлежности), а также оптическое стекло, кварцевое стекло, стекло для электронной промышленности (например, ЖК-панели), радиационностойкие и радиозащитные стекла, лазерные, фото- и электрохромные стекла, а также силикаты натрия и калия.

Оптическое стекло в отличие от обыкновенного должно обладать особенно высокой прозрачностью, чистотой, однородностью, заданным коэффициентом преломления, в нужных случаях — избирательной прозрачностью к определённым спектрам длин волн (например, в приборах ночного видения - прозрачность к ИК-излучению, в фильтрах, покрытия в апохроматах и т.д.). Выполнение этих требований значительно изменя-

ет его химический состав, применяет совершенную технологию изготовления и обработку оптических стекол, позволяющую их изготовление. Состав оптического стекла синтезируется на базе оптических неорганических материалов таких, как оксид кремния (SiO_2), сода, борная кислота, соли бария, оксид свинца, фториды, оксид германия.

Между сектором специального стекла и другими секторами стекольной промышленности существует некоторая степень перекрытия продукции, в частности, с сектором стеклянной посуды в области создания некоторых боросиликатных и стеклокристаллических (ситалловых) изделий. Но это не рассматривается, как значительный факт, поскольку такие изделия составляют лишь меньшую часть выпускаемой продукции сектора.

В то время, как производство стекла для осветительных приборов обычно превышает порог 20 тонн в сутки, производство большинства малых предприятий, выпускающих специальную продукцию в малых объемах, такую как оптическое стекло и стекло для электронной промышленности, часто ниже этого порога.

Существует несколько интегрированных предприятий, которые производят широкий диапазон продукции малого и среднего объема, и в таких случаях общий объем производства может превышать пороговый уровень 20 тонн в сутки.

Натриевое и калиевое растворимое стекло изготавливается путем подготовки шихтовой смеси песка и кальцинированной соды или поташа или их совместного введения с дальнейшим стекловарением в стекловаренной печи, в связи с чем оно включено в данный сектор.

1.7.2 Продукты и рынки

Силикаты натрия и калия, стеклянные трубки плюс колбы в настоящее время составляют почти 80 % объема производства.

Ниже описываются наиболее важные изделия и рынки специального стекла:

Стекло для осветительных приборов

Объем производства стекла для осветительных приборов остается большим. Этот сектор включает лампы накаливания и флуоресцентные лампы (как для домашнего, так и общественного использования), галогенные лампы и лампочки автоматической подсветки. Использование последних сокращается, поскольку стеклянные лампочки под-

светки заменяются полимерными материалами. Осветительная аппаратура – это глобально сформировавшийся бизнес, но иногда этот бизнес все-таки слегка деформируется, вследствие импорта с Дальнего Востока. Незначительную часть, но способствующую максимуму прибыли, составляют рефлекторы и фильтры тепло/УФ защиты для видеопроекторов.

Светотехнические стекла

Светотехнические стекла используют при изготовлении изделий, изменяющих световой поток и они делятся на три группы:

- рассеивающие: опаловые, молочные, матированные смягчающие свет от ярких источников и равномерно его рассеивая;
- призматические, изготавливаемые в виде колпаков, линз и цилиндров изменяющих направление светового потока;
- цветные стекла с избирательным светопропусканием, полностью или частично поглощающие отдельные участки спектра.

Стекланные трубки

Производство стекланных трубок диктуется главным образом фармацевтическими и медицинскими потребностями. Несмотря на заявления о том, что в долгосрочной перспективе этому бизнесу могут угрожать полимеры, объёмы производства этой продукции продолжают расти на несколько процентов в год.

Кроме фармакологических применений стекланные трубки выпускаются также, в качестве стекла для осветительных приборов и колб.

Боросиликатное стекло, за исключением трубок

Эксплуатационные свойства боросиликатных стекол, такие как высокие светопрозрачность и термостойкость обеспечивают широкое использование стеклоизделий.

Использование боросиликатного стекла в потребительских товарах (например, кофеварках, кухонной посуде, посуде для микроволновой печи, экранах газовых и электрических бытовых печах, лабораторном оборудовании и оснастки для химзаводов) обеспечено вполне сформировавшимся сектором. Новое растущее производство изделий

из боросиликатного стекла обусловлено использованием его в изготовлении панелей солнечных батарей, производство которых увеличивается с каждым годом.

Кварцевое стекло.

Кварцевое стекло это однокомпонентное силикатное стекло, состоящее практически из плавленного кремнезема. Исходными сырьевыми материалами являются различные разновидности кремнезема, такие как горный хрусталь, жильный кварц и искусственные синтетические кристаллы диоксида кремния.

Кварцевое стекло является уникальным материалом, сочетающим термостойкость, огнеупорность, кислотостойкость с высокой прозрачностью в широком диапазоне ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных лучей и радиочастот.

Изделия из кварцевого стекла находят широкое применение в авиационной, космической и ракетной технике, в атомной энергетике, радиоэлектронике, светотехнике, металлургии, оптическом и прецизионном приборостроении.

Промышленность выпускает непрозрачное, прозрачное и особо чистое кварцевое стекло, на заводах ОАО «ОЧКС», ОАО «Гусевский стекольный завод им. Ф.Э. Дзержинского» и ООО «Технокварц»

Оптическое стекло

Оптическое стекло обладает высокой степенью однородности и прозрачности. Однородность стекломассы обеспечивается особыми приемами ее варки, а использование особо чистых сырьевых материалов при составлении шихтовых смесей способствует высокой прозрачности в видимой и частично в ультрафиолетовой областях спектра.

Из оптического стекла изготавливают линзы, призмы, цилиндры и другие детали различных приборов и аппаратов, используемых в науке, технике, военной промышленности и в быту.

Заводы оптического стекла изготавливают изделия из стекол 110 марок, соответствующих различным химическим составам. Также изготавливается кварцевое оптическое стекло (плавленый кварц), характеризующееся высоким пропусканием в ультрафиолетовой области спектра и высокой термической прочностью.

Оптическое стекло выпускается партиями в заготовках в соответствии с чертежами заказчиков или в плитках различной толщины с дальнейшей механической обработкой – шлифовкой и полировкой.

Для изготовления натрий-кальций-силикатного стекла используются печи с производительностью в диапазоне 20-200 т/сутки, а для боросиликатного стекла – печи производительностью 20-50 т/сутки.

Для варки силикатных стекол применяют регенеративные стекловаренные печи с поперечным направлением пламени, а для варки боросиликатных стекол печи с электроподогревом, рекуперативные печи и печи с кислородным сжиганием топлива.

1.7.3 Коммерческие и финансовые соображения

Крупномасштабное производство стекла является очень капиталоемким, требующим существенных долгосрочных инвестиций и технического мастерства. Этим обусловлено ограниченное число производителей специального стекла в России, выпускающих более 20 тонн в сутки. Несмотря на то, что такое небольшое число компаний производят значительную часть продукции России, сектор специального стекла имеет большое количество более мелких, менее капиталоемких производств, часто специализирующихся на дорогих, высококачественных технических стеклоизделиях, пользующихся широким спросом.

Такое небольшое количество стекла производится с использованием небольших печей, часто с электрическим подогревом, работающих в более мелких компаниях. Несмотря на объемы, такая деятельность обычно также требует существенных долгосрочных капиталовложений в высококачественное оборудование, обучение персонала и интенсивные исследования и разработки.

Сектор специального стекла использует широкий диапазон печей, и соответственно различные интервалы их ремонта. Большие печи на природном топливе для специального стекла эксплуатируются от 6 до 7 лет, прежде чем необходим их капитальный ремонт. Для печей с электрическим нагревом этот интервал составляет от 3 до 4 лет. С учетом большого разнообразия в рамках сектора типовые расходы на модернизацию или создание нового производства специального стекла трудно предсказать.

Специальное стекло – группа очень разнородных видов продукции технического

(рассеиватели для фар, светотехнические и электровакуумные изделия, оболочки взрывателей, силикаты натрия и калия, оптические стекла и т.д. и т.п.), медицинского (ампулы для лекарств, глазные протезы, зубные протезы, очковые стекла), бытового назначения (стеклянные украшения, бижутерия, стеклянные статуэтки, сувениры и т.д.).

В этой группе практически нет крупных предприятий, сравнимых по объёмам производства с заводами листового или тарного стекла, которые выпускали бы только продукцию этой группы. Самые крупные – Лыткаринский завод оптического стекла, ООО «ШОТТ Фармасьютикал Пэккэджинг», ЗАО "Никольский завод светотехнического стекла" (ГПК "МАКСКОМ"), ОАО "Натальинский стеклозавод", ОАО «Технология».

1.7.4 Основные вопросы окружающей среды

Широкий диапазон, масса составов, диктуемая разнообразием эксплуатационных характеристик стеклоизделий, и специфический характер продукции сектора специального стекла привели к использованию большого разнообразия сырьевых материалов, которые встречаются также и в большинстве других секторов. Например, некоторые изделия (оптическое бесцветное стекло, электровакуумное) содержат высокие уровни оксида цинка, иногда превышающие 15 мас. %. Некоторые специальные составы требуют введения во время варки обесцвечивающих и осветляющих компонентов, таких как оксиды мышьяка, церия, сурьмы и селена. В производстве опаловых, глушеных электротехнических стекол используются соединения фтора и фосфора.

В секторе производятся сравнительно низкие уровни отходов, и большая часть внутри образуемого стеклобоя повторно используется. Принимаемые во внимание факторы качества ограничивают использование в производственном процессе стеклобоя, поступающего извне.

Вода, используемая для очистки и охлаждения, может легко использоваться (рециркулироваться), либо дополнительно обрабатываться. Производство специального стекла может вызвать загрязнение воды в результате процессов полирования и шлифования, в особенности стекла, содержащего оксиды свинца. Такие выбросы могут быть минимизированы с помощью использования соответствующей технологии для обработки содержимого утечки, а остаточные уровни загрязнения могут обрабатываться на основе стандартных методов.

Основной вопрос защиты окружающей среды, связанный с печами, работающими на основе природного топлива, заключается в том, что это высокотемпературный энергоемкий процесс. Результатом этого процесса являются выбросы продуктов горения, а также от высокотемпературного окисления атмосферного азота, т.е. сернистый газ, углекислый газ и окись азота. Выбросы печи содержат также пыль и следы хлоридов, фтористых соединений и металлов, присутствующих в сырьевых материалах. Использование специфических сырьевых материалов, необходимых для придания определенных характеристик конечному продукту, может вызвать рост выбросов фтористого водорода из сырьевых материалов, которые содержат фтор, соединения бора – от боросиликатного стекла, окись азота – при использовании нитратных соединений и металлов – от очищающих или обесцвечивающих агентов (например, сурьмы, мышьяка, селена). При использовании токсичных материалов необходимо предпринимать соответствующие меры, чтобы контролировать возможные выбросы в результате обработки, хранения продукции, а также работы печи. Возможны технические решения для минимизации всех этих выбросов, но каждая такая технология связана с финансовыми вложениями. В последние годы состояние окружающей среды улучшилось, за счет первичных и вторичных предпринятых мер значительно сократились выбросы и потребление энергии.

1.8 Минеральная вата

1.8.1 Общие сведения о секторе

Сектор минеральной ваты составляет приблизительно 10 % общего выпуска стекольной промышленности в тоннажном выражении. Сектор включает производство изоляционных материалов из стекловаты и каменной ваты, которые часто представляют собой неразделимые случайно переплетенные массы волокон переменной длины и связанные путем прошивания. Хотя термин 'стекловолокно' иногда используется для описания стекловаты, изоляция не должна нарушаться продуктами непрерывного накаливания стекловолокна, производимого с помощью различных процессов и продаваемого на разных рынках.

В секторе занято свыше 2100 работающих на 7 предприятиях и выпускается около 1.2 млн. тонн продукции в год.

В России действуют четыре основных производителя: Saint-Gobain; Rockwool International; URSA и Knauf Insulation/Heraklith. Большинство этих компаний работают также в странах в ЕС.

1.8.2 Продукты и рынки

Минеральная вата была впервые получена в 1864 году путем впрыскивания пара на расплавленный шлак, вытекающий из доменной печи. Получение промышленного патента и начало производства относится примерно к 1870 году. Рынок начал значительно расти во время второй мировой войны, когда появилась потребность в дешевом строительстве взамен разрушенных домов. В 1943 году только в США было произведено свыше 500 тыс. тонн стекловаты. В большинстве развитых стран термоизоляция была повсеместно принята и использовалась почти в любой форме строительства. Кроме термоизоляционных свойств, минеральная вата обеспечивает хорошую звукоизоляцию и защиту от пожара.

Основные продукты – изоляционные рулоны небольшой плотности, листы средней и высокой плотности, стекловата для утепления и изоляции труб. Основные рынки этой продукции обусловлены потребностями: строительства – для термической изоляции (стен, крыш, полов и т.д); работы систем нагрева и вентиляции; функционирования промышленных (технических) установок (работа трубопроводов, судов, химических заводов, в море и на суше); защиты от пожара; акустики (поглощение звука и изоляция); инертного почвенного субстрата и предпосевной почвообработки. Стекловата и каменная вата во многих применениях могут быть взаимозаменяемы, но в некоторых применениях предпочтение отдается тому или другому типу. Каменная вата обычно предпочтительна при высоких температурах или защите от пожара, а стекловата часто используется там, где критическим является малый вес.

Самый важный рынок стекловаты – это строительная индустрия, которая принимает до 70 % выпуска этой продукции, и очень зависит от преобладающего экономического климата и действующих законов.

Несмотря на то, что при производстве волоконной изоляции требуется техническая экспертиза, это необходимый товарный продукт. Возможность дифференциации продуктов, конкурирующих на одних и тех же рынках, практически отсутствует, по-

скольку конкуренция основана, главным образом, на цене. Это привело к существенно-му снижению стоимости и сокращению численности сектора. Ценовая конкуренция меньше на рынке 'технических' продуктов, что вызывает повышение добавочной стоимости таких продуктов, как жесткий трубопровод для высокотемпературных и пожаро-устойчивых применений.

Что касается умеренного температурного диапазона, требуемого в строительной индустрии, то имеется большое разнообразие альтернативных изоляционных материалов, наиболее распространенными из которых являются: пенопласт (главный конкурент), целлюлозное волокно (измельченная газетная бумага), вермикулит (негорючий изоляционный материал) и перлит (изоляционный материал), а также ячеистое стекло (пеностекло). Ни один из указанных материалов не соответствует стекловате по всем показателям (низкая цена, термические и акустические особенности, огнестойкость и легкость установки), но все они занимают свое место на рынке.

1.8.3 Коммерческие и финансовые соображения

Сектор минеральной ваты – это сформировавшийся бизнес, характеризующийся ростом приблизительно на 3 % в год, а также постоянно растущей конкуренцией. Продукты стекловаты имеют низкое соотношение цена/объем, что ограничивает дистанцию, выше которой экономически их можно будет транспортировать. Несмотря на это, в рамках России идет значительная торговля, но торговля с другими странами составляет менее 5 % общего объема выпуска.

Производство минеральной ваты является весьма капиталоемким, требующим значительных финансовых ресурсов, долгосрочных инвестиций и высокого технического мастерства. Это создает существенный барьер для входа на рынок, а большинство производителей – это крупные компании, имеющие длительную историю в своем бизнесе. Существует лишь небольшое количество малых независимых производителей.

Сектор минеральной ваты использует газокислородные, рекуперативные и электрические печи ограниченного срока службы; интервалы замены печи различны, и зависят от конструкции. Рекуперативные и газокислородные будут работать от 8 до 12 лет до необходимого капремонта, а электрические печи – от 3 до 6 лет. Для вращающихся печей эти периоды более продолжительные, поскольку они не работают бесперебойно в

течение длительного времени, а обычная работа между отключениями длится от 1 до 3 недель.

Типичный завод стекловаты на 60 тыс. тонн в год требует инвестиций порядка 6000 млн. рублей. Завод по производству каменной ваты, выпускающий подобные объемы (т.е. приблизительно 120 тыс. тонн в год), требует аналогичных капиталовложений. Стоимость замены печи сопоставима с теми данными, которые приводились для других секторов производства стекла.

1.8.4 Основные вопросы защиты окружающей среды

Как и вся деятельность, связанная с производством стекла, производство стекловаты – это высокотемпературный энергоемкий процесс. В результате работы печей, действующих на природном топливе, происходит выброс продуктов горения и высокотемпературное окисление атмосферного азота, а также сероводорода и углекислого газа. Выбросы печи содержат также пыль, следы хлористых и фтористых соединений, а также металлов, если они присутствуют, как включения в сырьевых материалах.

В секторе минеральной ваты имеются дополнительно еще два важных источника выбросов: участок формования (где к волокнам применяют связующий материал) и вулканизационная печь (где высушивается продукт и вулканизируется связующий материал). Выбросы на этом участке содержат, по-видимому, значительные уровни твердых частиц, фенол, формальдегид, аммиак и воду. Выбросы вулканизационной печи будут содержать летучие связующие компоненты, продукты нарушения связи, а также продукты горения обжиговой печи.

Для минимизации всех этих выбросов возможно использование технических решений, но любая технология связана с финансовыми и совместными природоохранными вопросами. В производстве минеральной ваты много сделано для улучшения окружающей среды. Значительно сократились выбросы, и предприняты меры по уменьшению энергопотребления.

Обычно, производство изолирующей стекловаты не должно представлять большую проблему загрязнения воды. Основные вопросы – это сетевые пользователи воды, ввиду испарения с участка формования и вулканизационной печи. Системы обработки воды обычно представляют замкнутый контур, в который поступает чистая вода, но

необходимы предохранительные меры для предотвращения загрязнения системы чистой воды. Выбросы можно минимизировать с помощью соответствующих технологий, обеспечивающих обработку содержимого утечки, а остаточные уровни загрязнения могут обрабатываться стандартными методами.

При рассмотрении в целом влияния сектора на окружающую среду полезно рассматривать некоторые природоохранные выгоды, связанные с продукцией. Производство минеральной ваты требует относительно немного энергии по сравнению с возможным ее сохранением в процессе использования данного продукта. Менее чем через месяц после использования минеральной ваты можно сохранить все количество энергии, использованное на ее производство. После 50 лет ее использования, что является обычным для зданий, общее количество сохраненной энергии может быть в 1000 раз больше, чем затраченное на производство данного продукта. Если сравнивать с обычными выбросами углекислого газа при получении электроэнергии с использованием природного топлива, то за 50 лет также можно в 1000 раз уменьшить такие выбросы, имеющие место при производстве минеральной ваты. При более высоких температурах, например, в трубах, бойлерах и технологических процессах, общая экономия может быть значительно выше, и доход от капиталовложений в природоохранные меры может выражаться не в днях, а в неделях.

1.9 Фритты

1.9.1 Общие сведения о секторе

Сектор фритт обычно связан с определенной отраслью, но он рассматривается в данном документе, поскольку технология их производства сходна с другими видами стекла. Производство в России оценивается в объеме 0,4 млн. тонн, и это говорит о том, что данный сектор один из самых мелких в стекольной промышленности. Число занятых в нем трудно установить, поскольку для многих компаний производство фритт является лишь незначительной долей бизнеса. Сектор включает продукцию фритт для глазури и эмалей, используемых для декорирования керамических материалов и металлов. Стекланные или керамические фритты составляют около 95 % общей продукции фритт (керамики и эмалей).

1.9.2 Продукты и рынки

Стеклянные фритты используются главным образом в производстве керамических глазурей и пигментов. Используя эти глазури, наносимые на поверхности керамических изделий, таких как плитки или столовая посуда, получают (в результате последующего обжига) водонепроницаемые, защитные и декоративные покрытия. Фритты могут продаваться в чистом виде производителям керамических изделий, которые готовят собственные глазури, либо производители фритт могут сами готовить и поставлять такие глазури. В рамках сектора обычно более половины производимых фритт используется непосредственно на самом предприятии для производства глазурей.

Эмалевые фритты используются в производстве эмалевых глазурей, основным назначением которых является покрытие металлических поверхностей с целью придания им химически и физически стойких покрытий. Основной рынок эмалей – это производители столовой посуды, а также использование эмалей для покрытия варочных панелей, печей, грилей и т.д. Другие применения эмалей включают покрытие таких изделий, как емкости для хранения продуктов, сыпучих веществ, ванны, электронные компоненты, значки. Эмалевые фритты составляют лишь 5 % общей продукции фритт.

Фритты представляют сравнительно дорогостоящую малообъемную продукцию, и транспортные расходы обычно включают довольно незначительную часть общей производственной цены. Консолидация в данной индустрии во всем мире привела к тому, что стало меньше предприятий, но при этом более крупные из них, обеспечивают расширяющиеся международные рынки.

1.9.3 Коммерческие соображения

Объем производства фритт значительно возрос. Существует сильная международная конкуренция с другими странами. Несмотря на то, что большое количество фритт, производимых в России, потребляется там же, тем не менее, экспорт в другие страны также остается главным рынком для производителей керамических фритт. Производство керамических фритт – это хорошо налаженная индустрия, снабжающая сектор керамики в течение многих лет. Конкуренция со стороны других типов глазури, не

содержащих фритты, едва ли возможна, поскольку они не обладают соответствующими техническими свойствами.

Для столовой посуды разработаны альтернативные материалы, такие как пластиковые покрытия, но тут возникает проблема 'вымываемости' (выщелачиваемости), свойственная для сырой (нефриттированной) глазури, особенно в присутствии органических кислот, которые часто встречаются в пище. Неизвестно, до какой степени пластиковые покрытия могут влиять на рынок фриттированной глазури кафеля. Угроза замены эмалевой глазури весьма незначительна. Альтернативные материалы, такие как краски, потенциально возможно использовать в подобных применениях, но по свойствам они не могут соответствовать эмалям в отношении температуры, устойчивости к химическому воздействию и царапинам, а также 'очищаемости' (легкости очистки).

Фритты – специфический, не очень характерный для стекольной промышленности вид продукции, выпускаются, в основном, в небольших количествах, часто на вспомогательных производствах металлургических предприятий или на небольших предприятиях. Наиболее известные изготовители: ОАО "Каменский стеклотарный завод", ОАО "Новгородский завод стекловолокна".

1.9.4 Основные вопросы защиты окружающей среды

Основной вопрос защиты окружающей среды, связанный с производством фритт, состоит в том, что это процесс энергоемкий и требующий высокой температуры. В результате происходят промышленные выбросы продуктов горения, включающие оксиды азота, ввиду окисления атмосферного азота, а также летучести материалов, используемых в составе партии изделий. Выбросы печи содержат также пыль, возникающую в результате летучести и последующей конденсации летучих материалов, в состав которых могут входить другие элементы (в зависимости от типа сырьевых материалов и веществ, использованных при их изготовлении), такие как следы хлористых и фтористых соединений, а также металлы.

В принципе имеются технические решения для минимизации всех этих выбросов, но любая технология требует соответствующих финансовых вложений и связи с природоохранными мерами, поэтому необходима тщательная оценка с целью определения эффективности принимаемого решения.

В процессе производства фритт вода используется главным образом для охлаждения и для очистки установок. Вода всегда используется в замкнутом контуре.

Уровень отходов очень низкий, возникает главным образом от твердых частиц, собираемых в контуре воды. Во многих случаях отходы после прохождения через оборудование очистки пыли могут повторно использоваться в печи.

2 Применяемые процессы и технологии

Первые три общие раздела этой главы охватывают основные сырьевые материалы и процессы варки стекла, которые распространяются на большинство секторов стекольной промышленности. В следующих разделах отдельно описываются проблемы, характерные для каждого из секторов. Два из секторов производства, а именно, базальтовое волокно и фритты отличаются от других по применяемым сырьевым материалам и используемой технологии. Эти различия рассматриваются в разделах, относящихся к каждому сектору.

2.1 Обработка сырьевых материалов

Разнообразие изделий, выпускаемых стекольной промышленностью, влечет за собой использование широкого спектра сырьевых материалов. Большинство этих материалов являются твердыми неорганическими соединениями, или встречающимися в природе минералами или искусственными продуктами. Гранулометрический состав материалов колеблется от кусковой фракции до мелкодисперсной порошковой. Жидкости и, в меньшей степени, газы также используются в большинстве секторов.

К используемым газам относится водород, азот, кислород, сернистый ангидрид, пропан, бутан и природный газ. Они хранятся и транспортируются стандартными способами, например, через прямые трубопроводы, хранятся в специализированных ёмкостях и баллонах. Используется широкий спектр жидких материалов, включая некоторые, которые требуют осторожного обращения, такие как фенол и концентрированные неорганические кислоты. В промышленности используются все стандартные формы хране-

ния и обращения с материалами, например, хранение в емкостях, контейнеры средней грузоподъемности для насыпных грузов, бочки, мешки и небольшие емкости.

Очень крупнозернистые материалы (то есть с диаметром частицы > 50 мм) используются только в производстве базальтового волокна. Эти материалы поставляются по железной дороге или с помощью автотранспортных перевозок и переваливаются с помощью конвейера либо непосредственно в бункеры, либо накапливаются на железнодорожных платформах. Отсеки хранилища могут быть открытыми, частично закрытыми или полностью закрытыми; в пределах сектора можно найти примеры всех трех вариантов хранилища. Там, где крупнозернистый материал хранится в бункерах, они обычно открыты и заполняются с помощью системы конвейеров.

Гранулированное и порошкообразное сырье поставляется по железной дороге или в автомобильных цистернах и перемещается из них либо пневматически, либо механически в бункеры для хранения сыпучих материалов. Для пневматического перемещения материалов необходимо, чтобы они были чрезвычайно сухими. Вытесненный воздух из бункеров обычно фильтруется. Материалы меньшего объема могут поставляться в мешках или бочонках и обычно подаются в смесительные емкости самотёком.

В больших непрерывных процессах сырье перемещается в промежуточные бункеры меньшего размера, откуда они отвешиваются, часто автоматически для получения шихтовой смеси с заданным соотношением вводимых компонентов. Затем шихта перемешивается до состояния однородности и перемещается к стекловаренной печи, где она подается в печь из одного или нескольких подающих карманов. В промышленности применяются различные механизмы питающего устройства от полностью открытых систем до полностью закрытых шнековых систем подачи сырьевых материалов. Чтобы уменьшить количество пыли во время транспортирования и 'механического выброса' тонкодисперсных включений из печи, процентное содержание воды может поддерживаться в шихте обычно на уровне 0-4 % (в некоторых процессах, например, в производстве боросиликатного стекла, используются сухие сырьевые материалы). Воду можно вводить в качестве пара в конце перемешивания, но сырье может иметь связанную воду. В натрий-кальций-силикатном стекле пар иногда используется для поддержания температуры выше 37°C для предотвращения высушивания шихты и гидратации кальцинированной соды.

Из-за абразивной природы и наличия частиц большего размера, стекольный бой обычно обрабатывается отдельно от основных сырьевых материалов, и может подаваться в печь в отмеренных количествах отдельной системой.

В периодических процессах размер дозирующего устройства намного меньше, и оно часто управляется вручную. В результате смешивания шихта может храниться в небольших передвижных подающих вагонетках, каждая из которых содержит одну порцию для стекловаренной печи. Иногда, несколько порций шихты могут быть составлены на основе различных рецептур и должны храниться вблизи от стекловаренной печи для использования во время определенного периода стекловарения. Как и в случае крупномасштабной варки стекла, смешанная шихта не может храниться слишком долго перед использованием во избежание ее расслоения, что может затруднить процесс гомогенизации расплава и получение однородной стекломассы. Увлажнение шихты помогает ослабить эту тенденцию.

2.2 Варка стекла

Стекловарение, взаимодействие сырьевых компонентов при повышенной температуре для образования расплавленной стекломассы, является центральной технологической операцией в производстве стекла. Имеются многочисленные способы варки стекла в зависимости от эксплуатационных свойств производимого продукта, его конечного применения, масштаба производства и преобладающих коммерческих факторов. Химический состав стекла, сырье, технология варки, выбор топлива и размер печи все это будет зависеть от этих факторов.

Технологический процесс варки стекломассы «распределение температуры-время» полностью зависит от химического состава синтезируемого стекла. Минимальная продолжительность варки является решающим параметром для обеспечения качества стекла. Обычно, чем выше качество произведенного стекла, тем больше должна быть продолжительность пребывания стекломассы в печи для того, чтобы обеспечить безупречную гомогенизацию, осветление и устранение возможных дефектов: непроваров, камней, пузырей, свилей, шлиров и т.д., которые влияют на качество конечного продукта. Время варки расплавленной стекломассы в печи непосредственно связано с

удельными энергозатратами; поэтому, для разных составов стекол отмечено различное потребление энергии.

2.2.1 Сырье для стекольного производства

Все компоненты стекла по своей структурной роли разделяются на три группы: стеклообразователи, модификаторы и промежуточные. К стеклообразователям относятся оксиды кремния, бора, свинца, фосфора и германия, к модификаторам — оксиды щелочных и щелоче-земельных элементов, к промежуточным — оксиды алюминия, цинка, бериллия, циркония, а также оксиды переходных и редкоземельных элементов. Деление оксидов на указанные группы определяется кристаллохимическими особенностями того или иного оксида: радиусом катиона, силой поля катиона, координационным числом, энергией связи «катион—кислород».

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Красители стекла представляют собой соединения различных металлов. С помощью красителей стеклу можно придать любую окраску от насыщенного цвета до полутонов. На окрашивание стекла влияет тип красителя, его концентрация, режим варки и окислительно-восстановительные условия. Один и тот же краситель в зависимости от условий варки и концентрации может сообщать стеклу разный цвет.

Соединения марганца. Применяют пиролюзит — минерал, содержащий до 90 % MnO_2 . При варке диоксид марганца разлагается на оксид, Mn_2O_3 и кислород. Кроме этого, используют марганцовокислый калий $KMnO_4$. Стекло получают фиолетового цвета при концентрации Mn_2O_3 до 3 % и черного до 12—20 %.

Соединения кобальта. Применяют оксиды кобальта CoO и Co_2O_3 (последний при 1150—1200 °С переходит в CoO). Окраска получаемого стекла при 0,002 % CoO синеватая, при 0,1—0,5 % ярко-синяя, при комбинации с солями хрома и меди — от зеленовато-синей до зеленой.

Соединения хрома. Применяют бихромат калия $K_2Cr_2O_7$, который при 500 °С разлагается на оксиды калия и хрома Cr_2O_3 .

Окраска получаемого стекла — желто-зеленая при 0,5—1 % Cr_2O_3 .

При повышенной концентрации Cr_2O_3 он выделяется в виде мелких кристаллов (авантюриновое стекло). Для получения стекла чисто зеленого цвета добавляют оксид меди и варку ведут в окислительной среде.

Соединения никеля. Применяют Ni_2O_3 , который при температуре варки выделяет оксид никеля (II). При концентрации NiO около 3 % стекла окрашивается в красновато-фиолетовый цвет, при меньших концентрациях NiO образуются дымчатые стекла (0,08 %).

Соединения меди. Применяют оксид меди и медный купорос. Цвет стекла — зеленовато-голубой, концентрация CuO 0,1—1 %. Оксид меди (I) в присутствии восстановителя образует коллоидную медь, и тогда стекло окрашивается в красный цвет.

Соединения железа. Применяют оксиды железа (II), (III), а также соединение Fe_3O_4 . Fe_2O_3 окрашивает стекло в цвета от желтого до коричневого, FeO — в сине-зеленый, а Fe_3O_4 — в зеленый цвет. Сульфид железа FeS окрашивает стекло в желтый, а при больших концентрациях — в черный цвет. Соединения железа применяют для окраски дешевых изделий, так как они не дают ярких и чистых цветов.

Оксиды редкоземельных металлов. Стекла, окрашенные этими оксидами, отличаются особой прозрачностью, чистотой и устойчивостью цвета против солнечного света. Применяют: диоксид церия CeO_2 (золотисто-желтая окраска, оксид празеодима Pr_2O_3 (зелено-золотистый), оксид неодима (пурпурно-фиолетовый), оксид самария (желтый).

Другие соединения. Для окрашивания стекла применяют также соединения: урана (желтый цвет), селена (красный), золота (красный), серебра (желтый), кадмия (желтый), сурьмы (красный) и др.

Глушители — вещества, при введении которых стекло приобретает способность рассеивать свет (становится глушеным). В качестве глушителей применяют в основном соединения фтора и фосфора и гораздо реже олова, сурьмы, циркония.

Соединения фтора — наиболее распространенный глушитель. Концентрация глушителя в пересчете на фтор 3,5—4 %. Для глушения используют криолит $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$ фтористый кальций CaF_2 , кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 .

Из соединений фосфора используют фосфорнокислый кальций $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и кислый фосфорнокислый натрий $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, апатитовый концентрат и костяную муку.

Осветлители — материалы, способствующие освобождению стекломассы от видимых газовых включений. К осветлителям относятся: селитра, оксиды мышьяка (III) и сурьмы (III), диоксид церия, сульфат натрия, фтористые и аммонийные соли, хлористый натрий.

Азотнокислый аммоний NH_4NO_3 вводят в количестве 0,25 % массы шихты, сернокислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,5—3 %, хлористый аммоний NH_4Cl 0,25%, фторид кальция CaF_2 2—4%, хлористый натрий NaCl 0,5—1 %.

Обесцвечиватели бывают физические, химические и смешанные. Для физического обесцвечивания — окрашивания стекломассы в цвет, дополнительный к зеленому (обусловленному примесями оксидов железа), применяют селен, оксиды никеля (II), кобальта (II), неодима, церия и др. Общая прозрачность при этом снижается. Для химического обесцвечивания — перевода оксида железа (II) в оксид железа (III) используют сильные окислители: селитру, трехокись мышьяка и сурьмы, диоксид церия и др. Смешанные обесцвечиватели действуют как физические и химические компоненты. Таким обесцвечивателем является пиролюзит. При температуре варки он выделяет кислород (химическое обесцвечивание), а образовавшийся оксид марганца окрашивает стекло в дополнительный желтый цвет (физическое обесцвечивание).

Окислители и восстановители применяют в ряде случаев при варке стекол специального состава для создания окислительной или восстановительной сред.

В качестве окислителей применяют нитраты, мышьяк, оксид марганца и др.

Натриевая селитра NaNO_3 при 400 °C начинает выделять кислород, а при 725 °C полностью разлагается. Содержит 47 % кислорода. Калиевая селитра KNO_3 плавится при 336 и разлагается при 925 °C. Оксид мышьяка (III) As_2O_3 при низких температурах присоединяет кислород, а при температурах осветления выделяет кислород. Диоксид церия CeO_2 — хороший окислитель и обесцвечиватель — при варке стекла разлагается на Ce_2O_3 и кислород.

В качестве восстановителей применяют углеродсодержащие вещества (опилки, уголь, кокс), соединения олова [оксид олова (II), оловянные опилки] и виннокаменную соль $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ (при варке медного рубина).

Ускорители. Для ускорения стекловарения применяют фтористые соединения (0,5—1 % в пересчете на F, ускорение на стадии осветления и гомогенизации на 15—18

%), аммонийные соли (3 %, ускорение на 10—15 %), оксид бора (1,5 %, ускорение на 15—16 %), оксид бария (0,25—0,5 %, ускорение на 10—15 %).

Наиболее важное сырье для стекольного производства приводится в Таблице 2.1.

Таблица 2.1: Основное сырье для стекольного производства

Стеклообразующие материалы

Кварцевый песок, стекольный бой, оксиды свинца, соединения бора и фосфора.

Промежуточный продукт и модифицирующие материалы

Кальцинированная сода (Na_2CO_3), известняк (CaCO_3), оксид кальция (CaO), доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), обожжённый доломит ($\text{CaO} \cdot \text{MgO}$), полевошпат, нефелиновый сиенит, карбонат калия, флюорит, глинозем, оксид цинка, окись свинца, карбонат бария, карбонат стронция, базальт, безводный сульфат натрия, сульфат кальция и гипс, сульфат бария, нитрат натрия, нитрат калия, содержащие бор материалы (например, бура, колеманит, борная кислота), окись сурьмы, трёхокись мышьяка, доменный шлак (смесь кальция, алюминия, соли кремниевой кислоты, магния и сульфида железа)

Красители: хромистый железняк ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$), окись железа (Fe_2O_3), окись кобальта, селен/селенит цинка, углерод, сульфиды (пирит).

Обесцвечиватели: селен, пиролюзит, перманганат калия, оксиды кобальта и никеля, а также соединения редкоземельных элементов, в особенности неодима и эрбия.

Песок является наиболее важным сырьем для стекольного производства, будучи основным источником SiO_2 . Это распространённое сырье, но большинство месторождений не имеет достаточной чистоты для того, чтобы можно было их использовать в стекольном производстве. Точка стекловарения песка слишком высока для экономичного стекловарения, и для уменьшения температуры стекловарения необходимо использовать флюс, обычно это оксид натрия.

Кальцинированная сода (Na_2CO_3) является основным источником флюса оксида натрия (Na_2O). Во время стекловарения оксид натрия становится частью расплавленного вещества, и освобождается диоксид углерода. Сульфат натрия добавляется в качестве осветлителя и окисляющего вещества и является вторичным источником оксида натрия. Оксид натрия встраивается в структуру стекла, и газы оксидов серы освобождаются с

помощью расплавленного вещества. Карбонат калия (K_2CO_3) выступает в качестве флюса и используется в некоторых процессах главным образом для специального стекла. Окись калия встраивается в структуру вещества, и выделяется диоксид углерода.

Прочие оксиды металлов добавляются в стекло для упрочнения структурной сетки, чтобы улучшить твердость и стойкость к химическому воздействию и придать стеклу требуемые физико-химические свойства. Оксид кальция (CaO) является типичным модификатором и добавляется в стекломассу в виде карбоната кальция ($CaCO_3$) в форме известняка или мела. Его можно также добавлять с помощью доломита, который содержит и карбонат кальция, и карбонат магния ($MgCO_3$). Оксид алюминия (Al_2O_3) добавляют, чтобы улучшить стойкость к химическому воздействию и увеличить вязкость при пониженных температурах. Он обычно добавляется как нефелиновый сиенит ($3Na_2O \cdot K_2O \cdot 4Al_2O_3 \cdot 8SiO_2$), полевой шпат или глинозем, но также он присутствует в доменном шлаке и полевошпатовом песке.

Оксиды свинца (PbO и Pb_3O_4) используются для улучшения звонкости и увеличения показателя преломления стекла, чтобы обеспечить лучший блеск таких продуктов, как свинцовый хрусталь и хрустальные стекла, а также при варке легкоплавких электровакуумных стекол специальных составов, в состав которых они вводятся в качестве стеклообразователя.

Оксид бора (B_2O_3) имеет большое значение в некоторых продуктах, в частности в специальном стекле (боросиликатные стекла) и в стекловолокнах (стекловата и непрерывное стекловолокно). Наиболее важным фактором является уменьшение величины термического коэффициента линейного расширения стекла, но в волокнах он также изменяет вязкость и жидкотекучесть, помогающей волокнообразованию и увеличивает химическую устойчивость по отношению к агрессивному воздействию воды. Широкое использование имеют стекломатериалы из легкоплавких свинцовооборотных стекол.

В приведенной ниже Таблице 2.2 показаны некоторые из элементов, используемых для придания стеклу цвета. Окрашивающие материалы могут быть добавлены либо в основную порцию материала, либо в канал, ведущий в печь (в форме окрашенной фритты). Материалы, которые содержат фториды (например, флюорит (CaF_2)) или кремнефтористый натрий используются для получения опаловых и глушеных изделий, что обусловлено образованием в матрице стекла мелких кристалликов фторидов натрия

или кальция, способствующих рассеиванию света. Фториды также используются в секторе изготовления непрерывного стекловолокна для оптимизирования поверхностного натяжения и свойств жидкотекучести, чтобы помочь волокнообразованию и ограничить разрывы нити.

Таблица 2.2: Элементы, используемые для придания силикатным стеклам цвета

Элемент	Ион	Цвет
Медь	(Cu 2+)	Светло-синий
Хром	(Cr 3+)	Зеленый
	(Cr 6+)	Желтый
Марганец	(Mn 3+)	Фиолетовый
Железо	(Fe 3+)	Желтовато-коричневый, янтарный цвет в сочетании с сульфидами
	(Fe 2+)	Синевато-зеленый
Кобальт	(Co 2+)	Густой синий, но розовый в боратных стеклах
	(Co 3+)	Зеленый
Никель	(Ni 2+)	Серовато-коричневый, желтый, зеленый, от синего до фиолетового, в зависимости от стеклянной матрицы
Ванадий	(V 3+)	Зеленый в силикатном стекле; коричневый цвет в боратном стекле
Титан	(Ti 3+)	Фиолетовый (при варке при восстановительных условиях)
Неодим	(Nd 3+)	Красновато-фиолетовый
Селен	(Se 0)	Розовый или красновато-коричневый (также Se 2+ , Se 4+ , и Se 6+ , в зависимости от типа стекла)
Кадмий	(Cd 2+)	Желтый, оранжевый, красный и усилитель цвета
Празеодимий	(Pr 3+)	Светло-зеленый

Всё более важным сырьем в стекольном производстве является стекольный бой (битое стекло), как собственный стекольный бой, так и внешний или привозной стекольный бой. Фактически во всех процессах повторно используется свой собственный стекольный бой, но для некоторых процессов качественные ограничения означают, что может и не быть возможности обеспечивать снабжение привозным стекольным боем достаточного качества и консистенции, чтобы сделать его использование экономически целесообразным. В большинстве случаев производства стекловолокна из непрерывной нити внутренний стекольный бой не используется повторно, в то время как в секторе стеклянной тары иногда использование стекольного боя доходит до 80 % шихты. Для стекольного боя требуется меньше энергии для варки, чем для первичного сырья, и каж-

дая 1 тонна стекольного боя приблизительно 1,2 тонны исходного материала в составе шихты большинства натриево-кальциево-силикатных стекол.

Для того, чтобы обеспечить качество стекольного боя, подходящего для процесса варки стекла и для характеристик конечного продукта, необходимо избегать или ограничивать присутствие керамики, стеклокерамики, металлов, органических веществ и т.д. Выбросы некоторых загрязнителей могут быть напрямую связаны с использованием стекольного боя.

2.2.2 Процесс варки стекла

Процесс варки стекла является сложной комбинацией химических реакций и физических процессов. В этом разделе приводится только краткое изложение некоторых из важных аспектов процесса. Варка стекла может быть разделена на несколько фаз, и все они требуют очень строгого контроля.

Нагревание

Стандартным и наиболее распространенным способом подачи тепла для варки стекла является сжигание ископаемого топлива над слоем шихты или кучами шихты и над расплавленным стеклом.

Температура, необходимая для стекловарения и осветления стекломассы, зависит от химического состава стекла, и лежит между 1100 и 1650 °C. При этих температурах преобладает излучательная теплопередача, в особенности от свода печи, который нагревается пламенем до 1650 °C, но также и от самого пламени. В каждой конструкции печи количество подводимого тепла организуется и управляется для того, чтобы создавать перепады температур в расплавленном стекле и вызвать рециркулирующие свободные конвекционные потоки в расплавленном стекле, чтобы обеспечить устойчивую однородность готового стекла, подаваемого для выполнения процесса формования. Масса расплавленного стекла, содержащаяся в печи, удерживается на постоянном уровне, и средняя продолжительность пребывания в печи составляет около 24 часов для варки стеклянной тары и 60-72 часа для печей по изготовлению флоат-стекла.

Первичный этап варки

Вследствие низкой теплопроводности сырьевых материалов процесс варки стекла первоначально протекает весьма медленно, что дает время для протекания многочисленных химических и физических процессов. По мере того, как материалы нагреваются, влага испаряется, часть сырья разлагается и газы, содержащиеся в сырье, выходят. Первые реакции (обезуглероживание) происходят при температуре примерно 500 °С. Сырье начинает плавиться при температуре между 650 и 1200 °С в зависимости от состава шихтовой смеси. Сначала песок начинает расплавляться под влиянием флюсов. Кварц из песка вступает в соединение с оксидом натрия из кальцинированной соды и с другими сырьевыми материалами, образуя соли кремниевой кислоты. В то же самое время, большие количества газов просачиваются вследствие химического разложения гидратов, карбонатов, нитратов и сульфатов; выделяя воду, диоксид углерода, окиси азота и окиси серы. Расплавленное стекло в результате становится прозрачным, и завершается фаза стекловарения. Объем расплавленного вещества составляет приблизительно 50-70 % от объема исходных сырьевых материалов из-за выхода газообразных составляющих.

Освобождение от пузырьков газов и гомогенизация

Вообще говоря, должна быть полностью обеспечена однородность расплавленной стекломассы и полное освобождение от газовых пузырей (осветление стекломассы) прежде чем начинать выработку продукции из стекла. Полное растворение и равномерное распределение всех компонентов, гомогенизация расплава и удаление газовых пузырьков из расплавленного стекла напрямую влияют на качество изделий.

Только после варки или стекловарения сырья, будет сформировано вязкое расплавленное вещество с растворенными газами (воздух, CO₂) и более мелкими (мелкие пузырьки - мошка) или большими пузырями газа. Для большинства однородных стеклянных продуктов (листовое стекло, сортовое стекло, непрерывное стекловолокно, тарное, оптическое и специальное стекло), чтобы достичь необходимого качества стекла все или почти все эти пузырьки должны быть удалены. Газы находятся в стекломассе в двух видах: в растворенном (невидимом) и в свободном (видимом) состоянии. В видимом состоянии газы образуют в стекле крупные и мелкие пузыри. Задача процесса стек-

ловарения на этапе осветления состоит в том, чтобы свести к допустимому минимуму число пузырей в готовом стекле.

Существуют три источника газа в стекле: химически связанные газы шихты; адсорбированные газы шихты; газы пламенного пространства стекловаренной печи. В шихте для обычного стекла заключено в карбонатных и других компонентах около 20 % химически связанных газов (CO_2 и др.) и некоторая часть адсорбированных газов (O_2 , N_2 и др.).

В процессе силикатообразования большая часть газов поступает в печное пространство и удаляется с дымовыми газами в атмосферу. Меньшая часть газов остается в расплаве стекла.

Газы пламенного пространства стекловаренной печи при определенных условиях могут частично растворяться в расплаве стекла (CO_2 , H_2O и др.).

Концентрация газов. Количество газов, остающихся в стекле и извлекаемых из него под вакуумом при использовании специальных методов анализа, значительно изменяется в зависимости от состава стекла и условий варки (температура, давление). Объем газов, извлекаемых из стекол под вакуумом, колеблется в пределах 20—400 % (при обычном давлении) по отношению к объему исследуемого стекла. Обычные промышленные стекла содержат около одного объема газов на один объем стекла.

Состав газов. Разными исследователями в стекле обнаружены следующие газы: H_2O [наибольшее количество содержится в боратных и боросиликатных стеклах (до 90 % по объему), в стеклах оконного типа—30—40 %]; CO_2 —в газах обычных (оконных) стекол содержится до 60, в боратных —10—20 % по объему; SO_2 —в обычных стеклах до 30—35 %; O_2 —в разных стеклах от 2 до 50 %; N_2 — в некоторых стеклах 4—6 %. Наличие других газов, обнаруженных отдельными исследователями (H_2 , NO_2 , NO , CO), по-видимому, недостоверно и может быть объяснено ошибками в технике анализа.

По составу газы в пузырьках отличаются от газов в стекле. Так, например, анализы разных авторов показывают полное отсутствие паров воды в составе газовой фазы пузырьков. В газовой фазе пузырьков преобладает азот (до 100 % по объему), затем кислород (до 100 %) и двуокись углерода (до 90 %). Эти данные относятся к оптическим стеклам.

Установлено, что состав газов в крупных пузырьках (более 0,5 мм) отличается от состава газа в мелких (менее 0,2 мм) пузырьках. В крупных пузырьках преобладает азот, а в мелких — кислород и диоксид углерода. Такое различие объясняется «условиями жизни» крупных и мелких пузырьков: срок жизни крупных пузырьков мал, и равновесие между составом газов в стекле и пузырьках установиться не успевает, малые же пузырьки находятся в стекле долго, и указанное равновесие устанавливается.

Происхождение газов. Газы в стекле находятся в состоянии химического и физического растворения. В расплаве всегда находятся остатки непрореагировавших карбонатов и сульфатов. Эти остатки малы, но они способны при разложении выделить весьма большие объемы газа и образовать много пузырей. Разложение остатков карбонатов и сульфатов происходит в процессе растворения зерен кремнезема и глинозема, на поверхностях раздела, например огнеупор — стекломасса, и при изменении установившегося равновесия (перемешивание, температура, давление и пр.).

Удаление газов. Развитие процесса освобождения стекломассы от пузырьков зависит от температуры, вязкости стекломассы, поверхностного натяжения, давления газа.

В процессе осветления пузырьки поднимаются к поверхности стекломассы и исчезают. Чем больше размер пузырька, тем быстрее идет процесс осветления. Для увеличения размеров пузырька, от которого в квадратичной зависимости находится скорость его удаления, необходимо понизить вязкость стекломассы. С этой целью при осветлении поддерживают наиболее высокую температуру, которая вызывает усиленное выделение газов при уменьшенной вязкости. В этих условиях ускоряется рост пузырьков за счет выделения газов, пересыщающих стекломассу в полости уже существующих пузырьков.

Для ускорения осветления применяют добавки осветлителей (нитраты, сульфаты, аммонийные соли, хлориды, соединения мышьяка и др.), которые образуют при высоких температурах крупные пузыри и понижают поверхностное натяжение на границе раздела газ — расплав.

Для осветления используют также приемы механического перемешивания, бурление с помощью воздуха, других газов и паров воды.

Состояние окисления (состояние окисления-восстановления) будет определять состояние валентности поливалентных ионов в расплавленном веществе и изделии из стекла. Состояние валентности важно не только для процесса освобождения от пузырьков

ков газов, но также и для того, чтобы определить цвет стекла, так как поливалентные ионы, такие как хром, железо, медь, и сера может давать стеклу определенный цвет в зависимости от состояния их валентности. Состояние окисления-восстановления расплавленного стекла может быть изменено посредством нитратов и сульфатов (окислитель) или углерода (восстановитель).

Выбор осветляющего вещества (химическое осветление) зависит от типа производимого стекла. Некоторые стекла, возможно, не содержат сульфатов (то есть стекла для дисплеев), или для них необходимы осветляющие вещества, которые выпускают из них газы только при очень низкой (ручные выдувные стеклоизделия) или при очень высоких температурах (при которых уровень вязкости достаточно низок, как правило, <50 Пуаз). Также состояние окисления, при котором стекло должно плавиться, чтобы получить необходимый цвет, будет определять выбор осветляющих веществ; некоторые осветляющие вещества эффективны только в очень окисленных состояниях. Поэтому, выбор осветляющих веществ зависит от температур в расплавленном веществе, состоянии окисления-восстановления стекла и экологических факторов. Сульфатное осветление обычно происходит при температурах выше $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в большинстве расплавленных веществ натрий-кальций-силикатного стекла, в зависимости от состояния окисления-восстановления шихты (например, в зависимости от присутствия и уровня сульфата и углерода в химическом составе шихты). Изменяя атмосферное условие печи, например, после перехода с воздушного на кислородное горение, часто бывает необходимо выполнять корректировку состава шихты.

Сульфат натрия является наиболее часто используемым осветляющим веществом, особенно для обычного листового стекла, большинства стеклянной тары, натрий-кальций-силикатного стекла для столовой посуды, стекловолокна из непрерывной нити (стекло марки Е) и натрий-кальций-силикатного стекла для осветительных приборов. Сульфат натрия разлагается на оксид натрия (который встраивается в стекло), и газообразные окиси серы и газообразного кислорода, которые могут абсорбироваться в стекло, или освобождаются с отработавшими газами печи.

Гомогенизации расплавленного стекла можно также помочь, вводя пузырьки газа пара, кислорода, азота или более распространенного воздуха с помощью оборудования, расположенного в нижней части резервуара. Это способствует циркуляции и перемешиванию.

ванию стекла и улучшает теплопередачу. Чтобы получить высокую степень требуемой однородности в некоторых процессах, например в производстве оптического стекла, могут использоваться активные механизмы в стекловаренной ванной печи, в выработочном конце или подающих устройствах. Другой технический метод для использования в небольших печах (в частности для специального стекла) называется осветлением; и предусматривает повышение температуры стекла, таким образом, оно становится менее вязким, и пузырьки газа могут более легко подниматься на поверхность.

Максимальные температуры свода печи, которые можно обнаружить в стекловаренных печах: тарное стекло: 1600 °C, листовое стекло: 1620 °C, специальное стекло: 1650 °C, стекловолокно из непрерывной нити: 1650 °C и стекловата: приблизительно 1400 °C (но может быть более высоким).

Состояние окисления-восстановления стекла

Как уже было упомянуто выше, состояние окисления-восстановления стекла является важным технологическим аспектом процесса варки стекла, оказывая влияние на стадию осветления расплавленного стекла, цвет стекла и его оптические характеристики поглощения и пропускания в различных областях спектра.

Состояние окисления-восстановления стекла часто измеряется, определяя равновесное давление кислорода (p_{O_2}) расплавленного вещества (парциальное давление в равновесии с растворенным кислородом). Количество растворенного кислорода в расплавленном веществе зависит главным образом от наличия и количества окисляющих веществ (подводимый кислород) или восстановители (реагирующие с кислородом и поглощающие его) в химическом составе шихты. Среди окисляющих веществ наиболее важными являются сульфаты, нитраты и поливалентные ионы в их наиболее окисленном состоянии (например, Fe_2O_3 , Sb_2O_5 , As_2O_5 , SnO_2 , CeO_2). Типичные восстановители являются органическими соединениями (главным образом присутствующие в привозном стекольном бое), углерод, сульфиды и редуцированные формы поливалентных ионов.

Различие в состоянии окисления-восстановления расплавленного вещества может повлечь за собой значительное изменение цвета стекла. Например, присутствие трёхва-

лентного железа (Fe^{3+}) придает желтовато-коричневый цвет, в то время как присутствие двухвалентного железа (Fe^{2+}) придаст стеклу синевато-зеленый цвет.

Состояние окисления-восстановления и присутствие определенных поливалентных ионов в расплавленном веществе могут влиять на количество тепла, поглощенного стеклом и, следовательно, на процесс стекловарения и формования.

Для производства нескольких типов стекол необходимы окислительные условия; поэтому, дополнительные окислители, такие как нитраты, или дополнительные количества сульфатов необходимы в химическом составе шихты. Когда в шихте используется привозной утилизированный стекольный бой, содержащий восстановленные стекла (например, желтое стекло) или органические загрязняющие вещества (пища и/или остатки напитков, бумага, пластмассы), часто требуется дополнительное количество окислителя, для того чтобы сохранить или скорректировать цвет стекла и обеспечить необходимые осветляющие свойства химическому составу шихты.

Варка некоторых составов стекол, например, окрашенных в желтые и зеленые цвета, требует восстановительных условий.

Режим варки стекла, вызывающий смещение окислительно-восстановительных условий в ту или иную сторону, часто влечет за собой значительное повышение испарительного переноса из стекловаренной печи, с последовательно потенциальным увеличением твердых и газообразных выбросов. Это явление может быть особенно очевидным для выбросов оксидов серы. Уменьшение поверхности расплавленного стекла, вызванное уменьшением пламени огонь, может усилить испарение щелочи (повышенная коррозия сверхструктурных материалов) и увеличить уровни химического состава пыли в топочных газах.

Студка стекломассы

Завершающим этапом стекловарения является студка. При этом температура стекломассы снижается (на 300—400 °C) до температуры, необходимой для формования. Главное условие во время охлаждения — непрерывное медленное снижение температуры без изменения состава и давления газовой среды. Нарушение этого условия может вызвать сдвиг установившегося равновесия газов и образование так называемой вторичной мошки. Для усиления охлаждения стекломассы применяют разные преграды

по стекломассе и по газовому пространству ванной печи. Назначение преград — ослабить конвекционные потоки и ограничить передачу тепла из варочной в студочную часть печи. Эти приемы не должны вызывать термическую неоднородность стекломассы, которая может явиться причиной расстройства работы формующих машин и нарушения производства.

При плавлении шихты эти этапы происходят последовательно, но в печах непрерывного действия, фазы стекловарения происходят одновременно в различных местах ванной стекловаренной печи. Шихта подается в одном конце ванной стекловаренной печи, и течет через различные зоны в ванной стекловаренной печи и подогревательной камере, где происходят первичный этап варки, осветление и стабилизация. Процесс очистки в печи непрерывного действия является самым чувствительным из фаз стекловарения.

Стекло не течет через ванную стекловаренную печь по прямой линии от подающего устройства шихты (вход в засыпочный карман) к горловине и подающим устройствам или каналам, в которых стекло достигает стандартных температур работы/формования. Оно отклоняется, следуя по различным возможным траекториям в ванной стекловаренной печи, зависящим от свободной конвекции и принудительных конвекционных потоков, в том числе от рециркуляционных потоков и статических расплавленных веществ (зоны застойной жидкости). Куча шихты или холодная смесь сырья, плавится не только на поверхности, но также и с нижней стороны расплавленной стекольной шихты. Сравнительно холодное пузырчатое стекло формируется ниже нижнего слоя сырьевого материала и оседает к нижней части ванной стекловаренной печи. Соответствующие конвекционные потоки должны принести этот материал к поверхности, так как осветление происходит в ваннах печах, прежде всего на поверхности расплавленного вещества, где пузырькам газа нужно подняться только на короткое расстояние, чтобы улетучиться. Если тепловые потоки текут слишком быстро, они подавляют процесс осветления, слишком быстро принося стекломассу к зоне стабилизации. Направляющие стены или перегородки могут быть встроены во внутреннюю конструкцию ванной стекловаренной печи, чтобы создать идеальные пути потока стекломассы.

2.3 Технология варки стекла

В этом разделе обобщаются наиболее важные технические приемы варки стекла, используемые в стекольной промышленности. Другие технические приемы используются в секторах производства базальтового волокна и фритт, и эти технические приемы обсуждаются отдельно в определенных разделах для каждого сектора. Выбор технологических режимов стекловарения зависит от многих факторов, но особенно от необходимого объема, химического состава стекла, цен на топливо, существующей инфраструктуры и экологической эффективности. Например, в качестве справочной информации, для которой неизбежно имеются исключения, обычно применяются приведенные ниже критерии:

- Для установки большой емкости (> 500 т/сутки) почти всегда используются стекловаренные ванны регенеративные печи с поперечным направлением пламени.
- Для установки средней емкости (100 - 500 т/сутки), одобрены стекловаренные ванны регенеративные печи с торцевым направлением пламени, хотя в зависимости от обстоятельств могут также использоваться стекловаренные ванны регенеративные рекуперативные печи с поперечным направлением пламени с активным перемешиванием стекломассы, и в некоторых случаях стекловаренные печи с использованием горения топлива в кислороде или электрические стекловаренные печи.
- Для установки малой емкости (25 - 100 т/сутки), обычно используются стекловаренные ванны рекуперативные печи с активным перемешиванием стекломассы, электрические стекловаренные печи и стекловаренные печи с использованием горения топлива в кислороде.

Стекловаренные печи обычно предназначены для варки больших количеств стекла в течение стандартного срока эксплуатации, составляющего 10 - 12 лет, а в некоторых случаях до 20 лет или больше, и производительность их изменяется в пределах от 20 до 1 000 тонн стекла в сутки. Стекло содержится в резервуаре, изготовленном из блоков соответствующих огнеупорных материалов, и обычно имеющем полностью прямоугольную форму, закрытом сводчатым потолком или сводом печи. Электрические печи обычно бывают скорее квадратной формы с плоским потолком и открытые с одной стороны для доступа к шихте. Огнеупорные блоки удерживаются по месту внешним сталь-

ным каркасом. Существует много используемых конструкций печи, и они обычно отличаются с точки зрения метода нагревания, используемой системы предварительного нагрева воздуха для системы сгорания и расположения горелки.

Стекольное производство является очень энергоемкой деятельностью и выбор источника энергии, технологии нагрева и метода рекуперации тепла является центральным в конструкции печи. Одинаковые альтернативы также являются некоторыми из наиболее важных факторов, влияющих на экологическую эффективность и эффективность использования энергии операции варки стекла. Основными источниками энергии для стекольного производства являются природный газ и электричество. В первой половине XX столетия многие мастера-стеклодувы использовали генераторный газ, создаваемый с помощью реакций воздуха и воды с углем при температурах белого накала, и мазут.

Использование природного газа увеличивается в стекольной промышленности из-за его экономичности, высокой степени чистоты, лёгкости регулирования и из-за отсутствия требований к складским сооружениям. По сравнению с жидким топливом газ дает меньшие выбросы сернистого ангидрида и CO_2 , но часто он связан с более высокими выбросами окиси азота.

В промышленности обычно держалось мнение о том, что пламя от сжигания нефтяного топлива, имея большую лучистую теплоотдачу, обеспечивает лучшую теплопередачу расплавленному веществу. Кроме того, различные теплоемкости соответствующих отработавших газов приводят к различной потере энергии через топочный газ, при сравнении газа с нагревом жидким топливом. С другой стороны, большинство типов жидкого топлива, используемых для процесса варки стекла, нуждается в предварительном нагреве до 110-120 °C для того, чтобы получить достаточно низкий уровень вязкости для перемещения, транспортирования и распыления через наконечники горелки. Многие большие печи оснащаются оборудованием для работы и на природном газе, и на топочном мазуте (как резервном топливе). Замена топлива требует только простой замены горелок. Во многих случаях о договорах на поставку газа ведутся переговоры на прерываемой основе во время максимального пикового потребления, во время которого для объекта требуется переключения на другое топливо. Главная причина для периодического переключения между газом и топочным мазутом – преобладающие относительные цены. Для того чтобы усилить контроль количества подводимого тепла, весьма ха-

рактарно, преимущественно для газовых печей, сжигать нефтяное топливо в одном или двух пламенных окнах. Использование смеси нефтяного топлива и газа также получают все большее распространение; в этом случае применяется специальная отдельная горелка.

Третьим обычным источником энергии для стекольного производства является электроэнергия. Электричество может использоваться или как исключительный источник энергии или в сочетании с органическим топливом; это более подробно описано в других соответствующих разделах документа. Электричество может использоваться для обеспечения энергии тремя основными способами: резистивное нагревание, при котором ток пропускается через расплавленное стекло; индукционное нагревание, при котором тепло выделяется вследствие изменения в окружающем магнитном поле; и использование нагревательных элементов. Резистивное нагревание является единственной технологией, которая находит применение в коммерческих целях в стекольной промышленности, и это единственная технология, рассматриваемая в рамках настоящего документа.

2.3.1 Регенеративные печи

Термин 'регенеративная' имеет отношение к форме системы рекуперации тепла, используемой в стекольном производстве. Органическое топливо для горения горелок обычно располагается в или ниже отверстий для прохода воздуха для системы сгорания/отработавшего газа. Тепло в отработавших газах используется для предварительного подогрева воздуха перед сгоранием. Это достигается прохождением отработавших газов через камеру, содержащую огнеупорный материал, который поглощает тепло. В печи одновременно зажигают только одну из двух установленных горелок. После предварительно определенного периода, равного обычно 20 минутам, реверсируется цикл возбуждения печи, и воздух для системы сгорания пропускается через камеру, ранее нагретую отработавшими газами. У регенеративной печи имеются две камеры регенератора; в то время как одна камера нагревается отработавшим газом от процесса сгорания, другая предварительно подогревает входящий воздух для системы сгорания. Типичные

температуры подогрева воздуха (в зависимости от количества портов) обычно лежат в диапазоне 1200-1350 °С, иногда они доходят до 1400 °С.

На Рисунке 2.1 показано представление в схематическом виде стекловаренной ванный регенеративной печи с поперечным направлением пламени.



Рисунок 2.1: Стекловаренная ванная регенеративная печь с поперечным направлением пламени

В стекловаренной ванная регенеративной печи с поперечным направлением пламени пламенные окна и горелки расположены вдоль боковых поверхностей печи, камеры регенератора находятся с обеих сторон печи и подсоединены к печи через горловины пламенных окон. Пламя проходит над расплавленным материалом и непосредственно в расположенные напротив пламенные окна. Количество используемых пламенных окон (до восьми) является функцией от размера и емкости печи и ее конкретной конструкции. У некоторых больших печей камеры регенератора могут быть разделены для каждого выходного отверстия горелки.

Этот тип конструкции, эффективно использующий многочисленность горелок, особенно подходит для большой установки, облегчая дифференцирование температуры на протяжении печи, необходимое чтобы стимулировать необходимые конвекционные потоки в расплавленном стекле. На рисунке 2.2 показано поперечное сечение регенеративной печи.

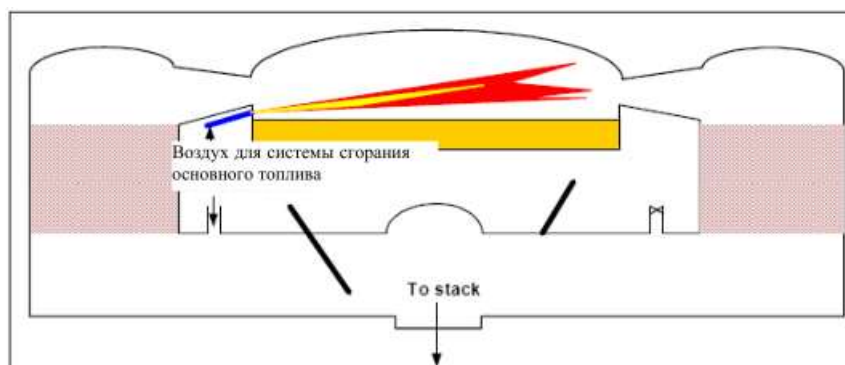


Рисунок 2.2: Поперечное сечение регенеративной печи

В стекловаренной ванной регенеративной печи с торцевым направлением пламени принципы работы такие же; однако, две регенеративные камеры расположены в одном конце печи каждая с отдельным пламенным окном. Путь пламени имеет U-образную (подковообразную) форму, возвращаясь к расположенной рядом камере регенератора через второе пламенное окно. Это расположение позволяет получить регенеративную систему в некоторой степени более дешевую по сравнению со стекловаренными печами с торцевым направлением пламени, но имеет меньшую гибкость для регулировки температурного режима печи и, таким образом, менее предпочтительна для больших печей.

Как правило, стекловаренные ванны регенеративные печи с торцевым направлением пламени имеют более низкое энергопотребление, чем стекловаренные ванны регенеративные печи с поперечным направлением пламени по двум главным причинам: во-первых, у них меньшее количество выходных отверстий горелки, что уменьшает потери энергии через пламенные окна регенеративной печи, которые могут быть до некоторой степени выше; во-вторых, продолжительность пребывания газообразных продуктов сгорания в стекловаренной ванной регенеративной печи с торцевым направлением пламени выше, чем в стекловаренной ванной регенеративной печи с поперечным направлением пламени, что дает огню больше времени для излучения энергии слою шихты и расплавленному стеклу.

На рисунке 2.3 показано представление в схематическом виде стекловаренной ванной регенеративной одноходовой печи с торцевым направлением пламени.

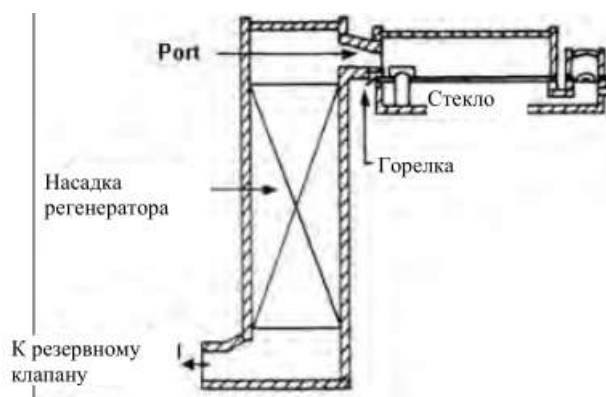


Рисунок 2.3: Стекловаренная ванная регенеративная одноходовая печь с торцевым направлением пламени

На рисунке 2.4 показана горизонтальная проекция стекловаренной ванны регенеративной печи с торцевым направлением пламени

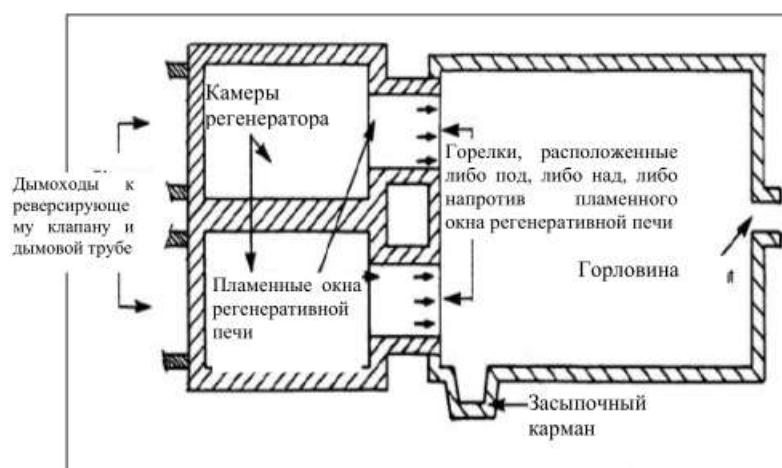


Рисунок 2.4: Горизонтальная проекция стекловаренной ванны регенеративной печи с торцевым направлением пламени

В большинстве стеклотарных заводов используются стекловаренные ванны регенеративные печи с торцевым направлением пламени или с поперечным направлением пламени, и все печи для варки флоат-стекла имеют конструкцию стекловаренной ванны регенеративной печи с поперечным направлением пламени. Температуры подогрева

обычно находятся в диапазоне 1300 – 1350 °С, наиболее высокие значения доходят до 1400 °С, что обеспечивает очень высокий тепловой коэффициент полезного действия.

2.3.2 Обычная рекуперативная печь

Рекуператор является другой широко распространенной формой системы рекуперации тепла, обычно используемой для небольших печей. В этом типе компоновки стекловаренной печи входящий холодный воздух предварительно косвенно подогревается непрерывным потоком отработавшего газа через металлический (или, в особых случаях, керамический) теплообменник. Температуры подогрева воздуха ограничиваются температурами около 800 °С для металлических рекуператоров, и тепло, восстановленное этой системой, таким образом, ниже, чем для регенеративной печи. Более низкое значение прямой эффективности использования энергии может компенсироваться дополнительными системами рекуперации тепла на отработавших газах, предназначенных либо для предварительного подогрева сырья или для производства пара. Однако, одно последствие - то, что определенная максимальная производительность стандартных стекловаренных рекуперативных печей ограничивается 2 т/м²/сутки по сравнению с как правило 3,2 т/м²/сутки для регенеративной печи в секторе стеклянной тары. Этот недостаток производительности стекловаренной печи можно частично компенсировать путем применения дополнительного электроподогрева.

Хотя первоначально стекловаренные печи с активным перемешиванием стекломассы (или с непосредственным нагревом) не обязательно были снабжены рекуператорами, теперь они устанавливаются в обязательном порядке, и термин 'стекловаренная печь с активным перемешиванием стекломассы' стал синонимом обычной рекуперативной печи. Горелки находятся вдоль каждой боковой поверхности печи. Маршруты прохождения конвекционного потока преимущественно будут нести горячие газообразные продукты сгорания над сравнительно холодным слоем шихты, прежде чем газы выйдут из камеры сгорания через выходное отверстие. Это должно обеспечивать максимальную теплопередачу к шихте и расплавленному стеклу.

Этот тип печи, прежде всего, используется там, где требуется высокая гибкость применения с минимальными первоначальными капитальными издержками, в частности

там, где масштаб производства слишком мал, чтобы сделать использование регенераторов экономически целесообразным. Рекуперативные печи более подходят для установки небольшой емкости, хотя печи с более высокой емкостью (до 400 тонн в сутки) не являются редкостью.

Печи особой конструкции, такие как стекловаренные печи LoNOX® и Flex® также являются печами рекуперативного типа с различными дополнительными конструктивными особенностями.

2.3.3 Варка стекла с использованием горения топлива в кислороде

Эта технология предусматривает замену воздуха для системы сгорания кислородом (> 90 % чистоты). Удаление большей части азота из атмосферы сгорания уменьшает объем отработавших газов, которые почти полностью состоят из диоксида углерода и водяного пара, примерно до двух третей. Поэтому, можно достигать энергосбережения, потому что нет необходимости нагревать атмосферный азот до температуры пламени. Образование термоокисла азота значительно снижается, потому что азот, присутствующий в атмосфере сгорания, только является остаточным азотом в кислороде, азотом в топливе, азотом от разложения на компоненты нитрата, и азотом из какого-либо подсаваемого воздуха.

Как правило, печи с использованием горения топлива в кислороде имеют такую же базовую конструкцию, как и стекловаренные печи с активным перемешиванием стекломассы, и имеют несколько боковых горелок и единственное выходное отверстие для отработавшего газа. Однако в печах, предназначенных для горения топлива в кислороде, не используются системы рекуперации тепла для предварительного подогревания кислородного питания горелок.

Хотя технология сгорания с использованием горения топлива в кислороде хорошо обоснована для некоторых секторов стекольной промышленности (например, стекловолокно из непрерывной нити, некоторые типы специального стекла), она, однако, другими секторами считается развивающейся технологией из-за потенциально высоких финансовых рисков. Однако, выполняются значительные опытно-конструкторские работы,

и технология получает все более широкое распространение по мере того как увеличивается количество предприятий.

2.3.4 Электроварка

Электрическая печь состоит из огнеупорного облицованного корпуса, поддерживаемого стальным каркасом с электродами, вставленными либо сбоку, либо сверху либо, чаще в нижней части печи. Энергия для стекловарения обеспечивается с помощью резистивного нагрева по мере того как, ток проходит через расплавленное стекло. Однако необходимо использовать органическое топливо при разжигании печи в начале каждой кампании. Печь работает непрерывно и имеет срок эксплуатации между 2 и 7 годами. Верхняя часть расплавленного стекла покрывается слоем сырьевого материала, который постепенно плавится снизу вверх, отсюда термин стекловаренная печь с холодным сводом. Новый сырьевой материал добавляется сверху печи, обычно системой конвейеров, которая пересекает всю поверхность. Большинство электрических печей снабжаются системами мешочных пылеуловителей, и собранный материал повторно используется в стекловаренной печи.

Данная технология обычно применяется в небольших стекловаренных печах, в частности для варки специального стекла. Главная причина этого состоит в том, что тепловой коэффициент полезного действия печей, работающих на природном топливе, уменьшается с размером печи, и тепловые потери в расчете на тонну расплавленного вещества в небольших печах может быть весьма высоким. Тепловые потери от электрических печей гораздо меньше, и для более малых печей различие в затратах на варку стекла между электрическими и нагреваемыми органическим топливом стекловаренными печами поэтому меньше, чем для больших печей. Иные преимущества электроварки для небольших стекловаренных печей включают в себя меньшие затраты на переоборудование, сравнительную простоту в эксплуатации и лучшую экологическую эффективность касательно прямых выбросов. Вместе с тем полная экономическая и экологическая экспертиза должна включать в себя косвенные источники выбросов. Имеется верхний предел для экономической целесообразности электрических печей, которая близко связана со сложившейся стоимостью электричества, по сравнению с органиче-

ским топливом. Электрические печи обычно могут достигать большей производительности расстекловарения в расчете на квадратный метр печи, и тепловой коэффициент полезного действия электрических печей (исходя из энергии, подаваемой печи, а не на основании первичной энергии, необходимой для генерирования электричества) в два - три раза выше, чем для печи, работающей на природном топливе.

Однако для больших печей, часто бывает недостаточно компенсировать более высокие затраты на электричество.

Отсутствие сгорания при электроварке означает, что объемы отработавшего газа чрезвычайно низки, что приводит к низкому механическому выносу макрочастиц и уменьшению размера оборудования для снижения вторичных выбросов. Выбросы летучих компонентов шихты, значительно ниже, чем в стандартных печах благодаря уменьшенному выделению газа и поглощению, и реакции газообразных выбросов в слое шихты. Основными газообразными выбросами являются диоксид углерода из углеродсодержащих сырьевых материалов.

Однако, если получено общее представление, экологические преимущества, связанные с использованием электроварки, должны рассматриваться по отношению к выбросам, возникающим на электростанции, и эффективности выработки и распределения электроэнергии.

Сложности с электроваркой заключаются в использовании нитрата натрия или нитрата калия в шихте. Общим в стекольной промышленности является то, что нитрат требуется в стекловаренных печах с холодным сводом, чтобы обеспечить необходимые окислительные условия для устойчивого, безопасного и эффективного производственного процесса. Проблема с нитратом состоит в том, что он разрушается в печи, высвобождая оксиды азота.

2.3.5 Комбинированная варка стекла с использованием органического топлива и электроварки

Имеются два основных подхода к использованию этой технологии: преимущественно разжигание органического топлива с дополнительным электроподогревом; или преимущественно электрическое нагревание с поддержкой органическим топливом. Яс-

но, пропорция каждого типа подводимого тепла может меняться в зависимости от каждой технологии.

Дополнительный электроподогрев – это метод локального подвода дополнительного тепла к расплавленному стеклу в стекловаренной печи путем прохождения электрического тока через электроды, расположенные в боковых стенках (горизонтальные электроды) или через нижнюю часть (вертикальные электроды) ванны стекловаренной печи. Главным образом используются стержневые электроды, но пластинчатые электроды также применяются в стекольной промышленности. Технология широко используется в печах, работающих на природном топливе в стекольной промышленности. Традиционно, дополнительный электроподогрев используется для увеличения производительности печи, работающей на природном топливе, чтобы соответствовать периодическим колебаниям спроса, не подвергаясь фиксированным расходам по эксплуатации большой печи. Технология может быть применена во время работы печи, и она часто используется для поддержания скорости удельного съема стекломассы печи по мере того, как приближается конец срока ее службы, или при увеличении емкости существующей печи.

Дополнительный электроподогрев может также использоваться для уменьшения прямых выбросов печи путем замены сгорания электрическим нагреванием для данного удельного съема стекломассы. Обычно 5 – 20 % полной потребляемой мощности должны обеспечиваться дополнительным электроподогревом, хотя могут быть достигнуты и более высокие значения. Однако высокий уровень дополнительного электроподогрева не используется в качестве длительной опции для базового уровня производства из-за связанных с ним высокими эксплуатационными расходами. Переменные уровни дополнительного электроподогрева часто используются при производстве цветного стекла из-за недостаточной передачи теплового излучения зеленым и желтым стеклом. В случае дополнительного электроподогрева, электроды обеспечивают дополнительное тепло, особенно в нижних слоях расплавленного стекла в ванной стекловаренной печи.

Менее распространенной технологией является использование газа или нефтепродуктов в качестве поддерживающего топлива преимущественно для электрической печи. Она просто предусматривает факелы пламени над поверхностью сырьевого материала для подвода дополнительного тепла к материалам и поддержки стекловарения. Технологию иногда называют с пережогом и часто используют, чтобы устранить неко-

торые из эксплуатационных затруднений, встречающихся при 100 %-ной электроварке стекломассы.

2.3.6 Периодическое стекловарение

Там, где требуются меньшие объемы стекла, особенно, если химический состав стекла регулярно изменяется, может быть невыгодным использовать печь непрерывного действия. В этих вариантах используются горшковые печи или ваннные печи периодического действия для стекловарения небольших порций шихтовых смесей.

Большинство процессов этого типа не должно подпадать под действие данного справочника, потому что они способны обеспечивать производительность стекловаренной печи менее чем 20 тонн в сутки. Однако имеются несколько примеров в секторах в сортового стекла и специального стекла, когда существуют объемы выше этого уровня, в частности там, где на одной и той же установке выполняется более одной операции.

Горшковая печь обычно делается из огнеупорного кирпича для внутренних стен, силикатного кирпича для сводчатого свода печи и теплоизоляционного кирпича для внешних стен. В основном котловая печь состоит из нижней секции для предварительного подогрева воздуха для системы сгорания (либо регенеративной, либо рекуперативной системы), и верхней секции, которая удерживает стекловаренные горшки и служит в качестве стекловаренной камеры. Верхняя секция удерживает шесть-двенадцать стекловаренных горшков из огнеупорной глины, в которых могут плавиться различные типы стекла.

Имеются два типа стекловаренных горшков: открытые стекловаренные горшки и закрытые стекловаренные горшки. У открытых стекловаренных горшков нет верхней части, и стекломасса открыта для атмосферы печи. Закрытые стекловаренные горшки закрытого типа, и единственный проход через наборное окно. При использовании открытых стекловаренных горшков температуру контролируют, регулируя разогрев печи; при использовании закрытых стекловаренных горшков разогрев происходит с постоянной скоростью, и температуру контролируют с помощью открывания или закрывания наборного окна. Емкость каждого стекловаренного горшка обычно колеблется в интервале 50 - 500 кг, со сроком эксплуатации 2 - 3 месяца при условии непрерывной работы.

Печь нагревается в течение 24 часов каждый день, но температура изменяется (температура стекломассы только для закрытых стекловаренных горшков) в зависимости от фазы производственного цикла. Обычно шихта загружается в стекловаренные горшки поздно днем и плавится вечером; температура поднимается всю ночь, чтобы очистить расплавленное вещество, таким образом, стекло можно обрабатывать следующим утром. Во время стекловарения температура поднимается до значений, лежащих между 1200 и 1600 °C, в зависимости от состава синтезируемого стекла, а во время выработки стекломассы, температура в печи может находиться в интервале 900 - 1350 °C.

Ванные печи периодического действия получили дополнительное усовершенствование на основе горшковых печей для получения большей емкости, равной приблизительно 10 тонн в сутки. Конструктивно они очень напоминают четырехугольник обычной печи, но, тем не менее, пополняются шихтой каждый день. Варка стекла обычно выполняется ночью, и стекломасса поступает в производство на следующий день. В указанных печах возможно за короткий срок изменять состав стекломассы и прежде всего они используются для варки различных цветных, хрустальных и оптических стекол, специальных составов и фритт (керамическая и эмалевая фритта).

2.3.7 Конструкции специальных печей

Внимание, уделяемое ограничению выбросов оксида азота, привело некоторых проектировщиков печей к тому, чтобы предложить стекловаренные печи типа "стекловаренная печь с активным перемешиванием стекломассы", которые объединяют в себе различные конструктивные особенности, позволяющие использовать более низкие температуры пламени. Самой известной печью этого типа является стекловаренная печь LoNOX®.

Стекловаренная печь LoNOX® является печью рекуперативного типа, с которой используется комбинация очистки мелкой ванны и предварительного нагрева исходного материала для достижения пониженных уровней окиси азота, потенциально без опасности снижения тепловых характеристик. Зона осветления мелкой ванны вытесняет критически важный путь потока почти к поверхности стекольной шихты, вследствие этого

уменьшая температурный перепад между ней и верхней конструкцией печи. Печь может работать при более низких температурах, чем аналогичная стандартная печь.

Печь с другой конструкцией – это стекловаренная печь Flex®, которая преимущественно продается в качестве решения альтернативного котловым печам и ванным печам периодического действия. В ней используется комбинация нагрева с помощью электричества и природного газа, которая привела к созданию компактной печи с низкими рабочими температурами и малым потреблением энергии. Печь разделяется на зоны стекловарения и освещения, которые соединяются пережимом свода печи. Зона освещения состоит из мелкого откоса, за которым идет более глубокая область. Варочная часть нагревается с помощью электричества, а зона освещения – с помощью газа, но могут быть добавлены электроды на входе. Отработавшие газы из зоны освещения проходят через варочную часть печи и над шихтой. Несколько низких сводов предотвращают достижение излучением более холодных областей из более горячей части печи, для того чтобы большая часть энергии в отработавших газах передавалась шихте.

Разделение варочной части и зоны освещения стекловаренной печи является основной гибкости печи. Во время периодов простоя температура понижается, и испарительный перенос от процесса освещения уменьшается. Нет необходимости в дренаже, и благодаря малому объему стекломассы быстро восстанавливается необходимая рабочая температура. Малый объем также помогает более оперативно изменять химический состав синтезируемой стекломассы.

2.4 Стеклянная тара

Этот раздел посвящен изготовлению стеклянной тары. Изготовление других продуктов обеспечивается в секторах сортового стекла и секторах специального стекла. Типичный состав стеклянной тары приводится в Таблице 2.3. Из-за разнообразия сектора, почти все технологии варки стекла, описанные в Разделе 2.3, можно найти в производстве стеклянной тары.

Таблица 2.3:

Компонент	Массовая доля, %
-----------	------------------

Оксид кремния (SiO_2)	71 - 73
Оксид натрия (Na_2O)	12 - 14
Оксид кальция (CaO)	9 - 12
Оксид магния (MgO)	0.2 - 3.5
Оксид алюминия (Al_2O_3)	1-3
Окись калия (K_2O)	0.3 - 1.5
Трёхокись серы (SO_3)	0.05 - 0.3
Красители, осветлители и обесцвечиватели	0,2-3

Наиболее важные параметры, которые необходимо принимать во внимание при проектировании процесса: тип и емкость печи (включая регенераторы), сочетание используемых источников энергии (нефтепродукты, газ, электроэнергия), прогнозируемое использование стекольного боя и необходимая универсальность (цвет, вес и форма готовых изделий и т.д.).

Самая типичная и широко используемая технология стекловарения для промышленности стеклянной тары – это стекловаренная ванная регенеративная печь с торцевым направлением пламени, благодаря широкому спектру производительности и многофункциональности стекловаренной печи, необходимой для соответствия рыночному спросу и к хорошей эффективности использования энергии. Интервал наиболее часто используемых емкостей стекловаренных печей составляет 300 - 350 т/сутки.

Стеклянные емкости выпускаются в результате двухступенчатого процесса стекловарения путем использования технологий прессования и выдувания стекла. В автоматическом производстве бутылок имеется пять стадий существенных условий:

1. получение части расплавленного стекла (капля) соответствующей массы и температуры;
2. формование исходной формы в первой пресс-форме (черновая форма) давлением от сжатого воздуха (выдувание), или металлического плунжера (прессование);
3. передача исходной формы (пулька) в окончательную пресс-форму (чистовая форма);
4. завершение процесса придания формы путем выдувания емкости сжатым воздухом к форме до придания окончательной формы;

5. снятие готового изделия для процессов последующего формования.

6. Отжиг стеклоизделий.

Расплавленная стекломасса вытекает из печи вдоль подогревательной камеры в расположенный на завершающей стадии накапливающий резервуар (переливной брус). Из нижней части накапливающего резервуара формируются от одного до четырех параллельных потоков стекла с помощью отверстий с определенными размерами. Эти потоки стекла, модулированные механической системой плунжеров, режутся на отрезки точной длины механическими ножницами, формируя примитивные, в форме сосиски стеклянные 'капли'. Полную систему для формирования "капель" называют 'подающим механизмом'. Капли отрезаются одновременно в параллельных стеклянных потоках и формуются одновременно в параллельных пресс-формах на формующем устройстве. Эти устройства называют стеклоформирующими машинами с одно-, двух-, трех- и четырехкапельным питанием, последняя из них адаптирована к крупносерийным производствам небольших емкостей. Стеклоформирующие машины с двухкапельным питанием являются наиболее распространенными. Печи для варки стеклянной тары снабжают двумя и более такого рода формовочными машинами, каждую при помощи специально предназначенной подогревательной камеры.

На ножницы распыляется смесь воды и растворимого масла. Это гарантирует, что они не будут перегреваться, и на них не будет налипать стекло. От подающего механизма капли направляются системой спускных желобов в черновые формы на формовочной машине.

Процесс формования выполняется в две стадии, как показано на рисунке 2.5. Исходное формование из заготовки может быть выполнено либо прессованием с помощью плунжера, либо выдуванием сжатым воздухом, в зависимости от типа емкости. Окончательная операция формования всегда выполняется выдуванием, чтобы получить законченную полную форму. Эти два процесса называют "прессовыдувное формование" и "формование выдуванием" соответственно. Сформированные емкости предназначаются для этапов производства для последующего формования на непрерывном конвейере. Прессовыдувное формование в частности адаптируется к производству банок, но также широко используется для производства облегченных стеклянных бутылок. Формование выдуванием более универсально и предпочтительно для производства бутылок стан-

дартного веса и более сложных форм. Упрощенные схемы двух основных процессов формования показаны на рисунке 2.5.

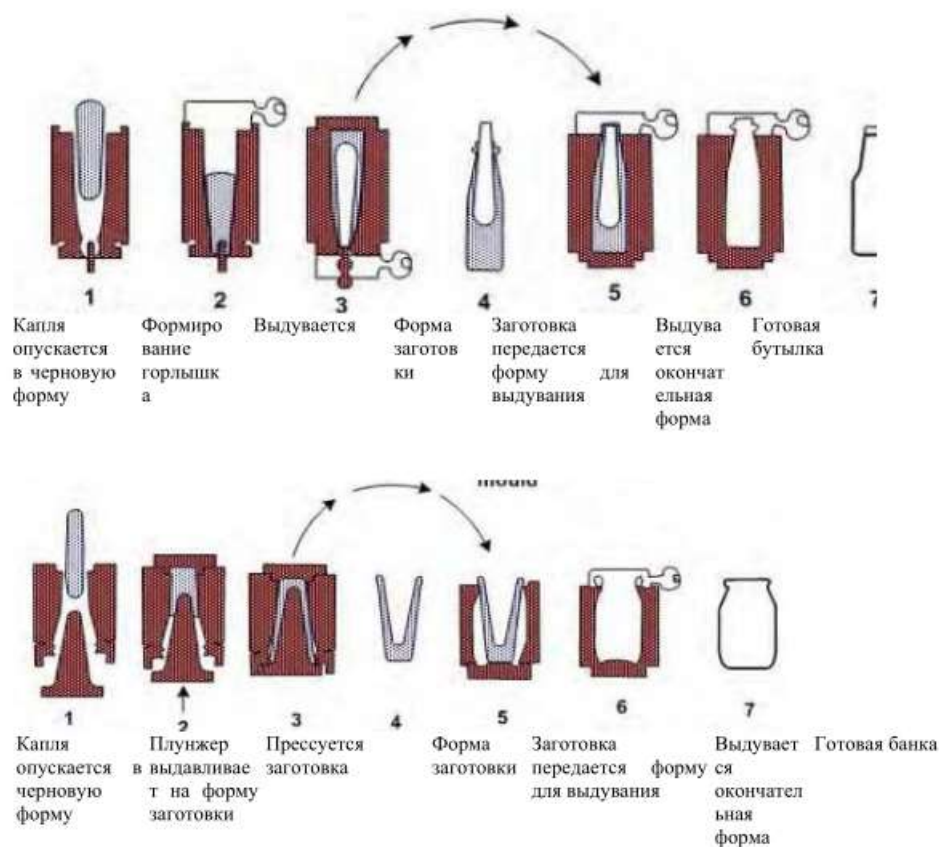


Рисунок 2.5: Формование выдуванием и прессовыдувное формование

Во время процесса формования температура стекломассы уменьшается вплоть до 600 °С, что гарантирует достаточное отвердевание при снятии их конвейером. Отвод тепла достигается с помощью больших объемов воздуха, продуваемого через стеклоформы. Чтобы не допускать прилипания стекла к стеклоформам, различные высокотемпературные графитовые разделительные смазки наносятся вручную и автоматически на определенные детали стеклоформы. Стеклоформы требуют периодической чистки и технического обслуживания.

Поток стекломассы из подогревательной камеры должен удерживаться на постоянном уровне для того, чтобы поддерживать необходимую температурную стабильность, вязкость и однородность стекломассы, подаваемой для использования в процессе

формования. Если процесс формования прерывается в одной из секций, капли горячего стекла переводятся спускными желобами в подвал, где они охлаждаются водой, фрагментируются и возвращаются в цех подготовки шихты вместе со всем прочим производственным браком для повторного использования в качестве стекольного боя.

Самые ранние автоматы имели вращающуюся конструкцию, и, хотя формовочные машины для столовой посуды все еще используют этот принцип, производство стеклотары выполняется почти исключительно более гибкими совместно работающими стеклоформирующими машинами. Стеклоформирующая машина состоит из нескольких отдельных устройств для изготовления полой посуды (секций), собранных рядом. Каждая секция имеет гнезда стеклоформы, соответствующие количеству капель, которые будут формироваться параллельно. Капли подаются последовательно в различные секции через систему ковшеобразных лотков (распределитель и доставщик капель). Как правило, стеклоформирующие машины составлены из 6 - 20 секций, в зависимости от объема и типа обслуживаемого рынка. Одно главное преимущество стеклоформирующих машин – возможность независимой остановки секций для регулировок или замены деталей стеклоформы.

Автоматическое изготовление полой посуды может использоваться для производства бутылок и банок почти любого размера, формы и цвета. Чем более простая форма, тем быстрее ритм выпуска; облегченные стеклянные круглые пивные бутылки выпускаются с скоростью 750 шт/минуту на 12-секционных стеклоформирующих машин с четырехкапельным питанием.

Быстрое охлаждение наружной поверхности полой посуды создает высокие дифференциальные напряжения в стекле и, как результат – хрупкость. Чтобы это устранить, полую посуду пропускают через печь отжига непрерывного действия (печь для отжига стекла), где они повторно нагреваются до 550 °С, затем охлаждаются в контролируемых условиях, чтобы предотвратить дополнительные напряжения. Печи для отжига стекла нагреваются газом или электричеством, но как только они доводятся до рабочей температуры, тепло от поступающей полой посуды обеспечивает большую часть тепловой энергии. Как только полая посуда будет достаточно охлаждена, вся она автоматически проверяется с автоматической отбраковкой на наличие изделий, не соответствующих установленным допускам, и прочих проблем с качеством. После проверки изделия со-

бираются на поддоны либо в картонных упаковках, упаковываются и хранятся перед транспортированием пользователю.

Общая производительность технологической линии измеряется как коэффициент выхода готовой к упаковке продукции, то есть тоннаж упакованной поллой посуды (для транспортирования) как процентное отношение к тоннажу стекла, плавившегося в печи. Установка, производящая полую посуду для продовольствия и напитков обычно достигает коэффициентов выхода готовой к упаковке продукции между 85 и 94 %. Более дорогие духи и фармацевтические продукты подвергаются более строгому контролю, и коэффициент выхода готовой к упаковке продукции в среднем равняется 70 %.

Чтобы улучшить характеристики изделий, могут быть нанесены поверхностные покрытия либо сразу же за формованием, в то время как изделия все еще находятся при температуре выше 500 °C (нанесение покрытия на входе в печь для отжига стекла, часто с SnO_2), либо после отжига (нанесение покрытия на отождённые стеклоизделия после выхода из печи для отжига стекла, полимерное покрытие). Фактически всегда используется комбинация этих методов обработки. Как правило, покрытия наносятся на наружную поверхность поллой посуды.

Стеклотара проходит различные проверки, упаковку, распаковку, системы закладки и переупаковки. Чтобы предотвратить повреждение поллой тары и позволить перемещать их через системы направляющих без повреждений, на продукт в холодном конце печи для отжига стекла может наноситься смазочные средства. Используемые материалы являются совместимой с пищевыми продуктами олеиновой кислотой и продуктами на основе полиэтилена, которые наносятся с помощью распыления в виде разбавленной водной суспензии или контакта с парами. Эти методы обработки, как правило, не влекут за собой значительных выбросов.

Горячие поверхностные покрытия, обычно тонкослойные и состоят из оксида олова или оксида титана, могут наноситься на стеклянные емкости, сразу же после выхода из формовочной машины. В сочетании с последующим смазочным покрытием холодной поверхности, это предотвращает стеклянную поверхность от повреждения во время последующего обращения. Металлооксидное покрытие выступает в качестве основы, удерживающей смазочные органические молекулы на поверхности стекла, и это позволяет получить высокий уровень сопротивления царапанию с простыми смазочны-

ми веществами, совместимыми с пищевыми продуктами. Обработка "горячего" изделия также улучшает его механическую прочность.

Нанесенные покрытия сами по себе должны быть невидимыми и, таким образом, являются чрезвычайно тонкими. Толщина горячей обработки поверхности обычно составляют $<0,01$ мкм. Чтобы получить однородные покрытия этой толщины, обработка выполняется с помощью химического парофазного осаждения (CVD), с использованием безводных хлоридов олова или титана, или определенных металлоорганических соединений. Количество связанного материала низкое, приблизительно 2 - 10 кг/сутки в расчете на поточную линию в зависимости от рабочей скорости.

Сразу после изготовления стеклянные емкости, в определенных случаях, могут проходить через вспомогательный процесс для добавления художественного оформления и опознавательных признаков перед отправкой заказчику. Это оформление может быть в виде самоклеющейся, термоусадочной этикетки или изготовлено с помощью трафаретной печати.

2.5 Листовое стекло

Термин 'листовое стекло' строго включает в себя все стекла, имеющие плоскую форму независимо от вида изготовления. Однако, в связи с тем, что в настоящее время в России используется только одна технология производства листового стекла, применительно к целям настоящего документа, он используется для описания производства флоат-стекла. Большинство других коммерчески произведенных листовых стекол либо охвачены в секторе специального стекла (например, керамические пуансоны), либо масштаб производства менее 20 т/сутки, определенных в данном справочнике. Другие методы производства больших количеств листового стекла для зданий и применения в автомобилях считаются в России устаревшими. Для выпуска большей части листового стекла используется рецептура на основе оксида кремния и смеси едкого натра и оксида кальция; стандартный состав листового стекла приводится в Таблице 2.4. Флоат-стекло выпускаются почти исключительно с использованием стекловаренных ванн регенеративных печей с поперечным направлением пламени.

Таблица 2.4: Стандартный состав листового силикатного стекла

Компонент	Массовая доля, %
Диоксид кремния (SiO_2)	72,6
Оксид натрия (Na_2O)	13,6
Оксид кальция (CaO)	8,6
Оксид магния (MgO)	4,1
Оксид алюминия (Al_2O_3)	0,7
Окись калия (K_2O)	0,3
Трехокись серы (SO_3)	0,17

Основной принцип флоат-процесса заключается в литье расплавленного стекла на поверхность расплавленного олова и формировании полосы с верхними и нижними поверхностями, которые становятся параллельным под влиянием силы тяжести и поверхностного натяжения.

Флоат-ванна (или ванна) состоит из стального корпуса, поддерживаемого стальным каркасом, и выровненного с помощью огнеупорных блоков, который содержит расплавленное олово. Флоат-ванна имеет приблизительно 55 - 60 м в длину, 4 - 10 м в ширину и разделена на 15 - 20 отсеков. Резервуар воздухонепроницаем, и слегка восстановительная атмосфера поддерживается путем вдувания смеси азота и водорода. Имеет большое значение предотвращение окисления поверхности олова, которое может повредить крайне важную поверхность соприкосновения между стеклом и оловом. Расплавленное олово используется в качестве жидкости ванны, потому что это единственное вещество, имеющее плотность больше плотности стекломассы, которое остается жидкостью и без значительного давления паров в необходимом интервале температур.

Расплавленное стекло вытекает из печи вдоль канала с огнеупорной футеровкой, который может нагреваться для поддержания соответствующей температуры стекломассы. В конце канала стекло выливается в ванну расплава через специальный огнеупорный фланец ('переливной брус'), который обеспечивает правильное распространение стекломассы. Поток стекломассы управляется посредством регулируемого подвесного огнеупорного затвора в канале (передний 'занавес'). В месте, где стекло первоначально соприкасается с оловом, температура металла равняется приблизительно 1000 °C, охла-

ждаясь приблизительно до 600 °С на выходе ванны. По мере того, как стекломасса проходит поверхность ванны, стекло достигает однородной толщины и принимает почти идеальную ровность литого олова.

На Рисунке 2.6 показано представление процесса изготовления флоат-стекла в схематическом виде.

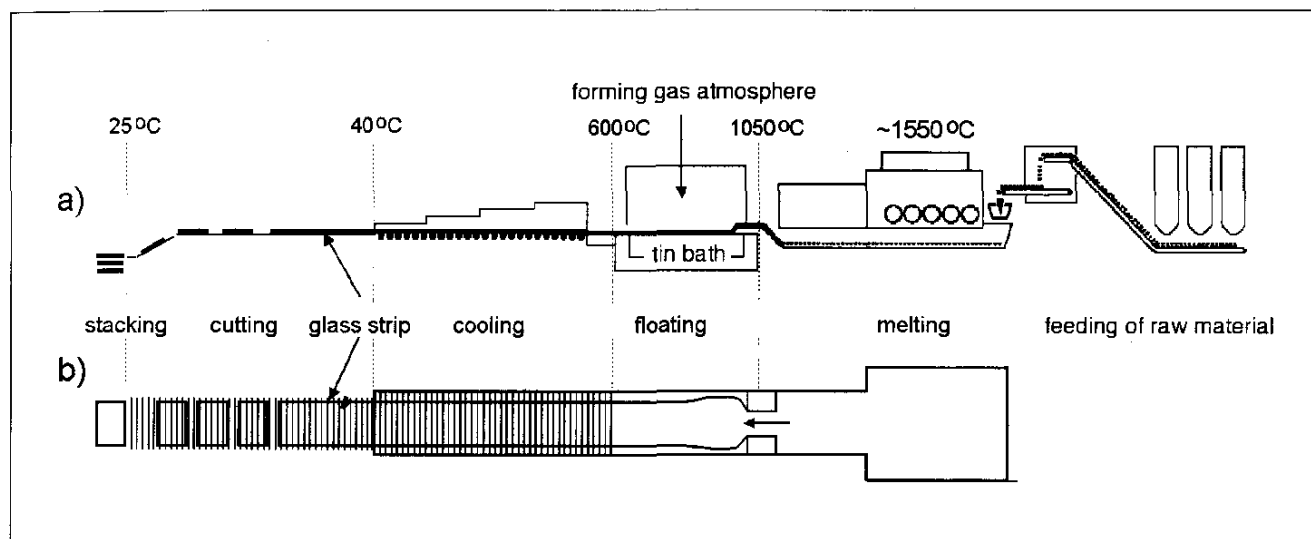


Рисунок 2.6 - Схема производства листового стекла методом термического формования на расплаве металла: а) вид сбоку, б) вид сверху

forming gas atmosphere - защитная газовая атмосфера; tin bath - ванна с оловом; stacking - упаковка; cutting - резка; glass strip - лента стекла; cooling - охлаждение; floating - формование ленты стекла; melting - варка стекломассы; feeding of raw material - подготовка сырьевых материалов

Во флоат-ванне расположены несколько пар верхних роликов с водяным охлаждением, регулируемых по направлению, высоте, проникновению и углу (см. рис. 2.7). Эти ролики захватывают стеклянный лист с обоих краев зубчатыми колесиками и протягивают его в длину и ширину. Скорость потока стекломассы и скорости вращения роликов помогают регулировать толщину стекла, которая обычно составляет от 1,5 до 19 мм. Стекло имеет максимальную толщину в необработанном виде на поверхности олова около 6,5 мм, и для того, чтобы производить более толстые стекла, могут быть установлены графитовые барьеры.

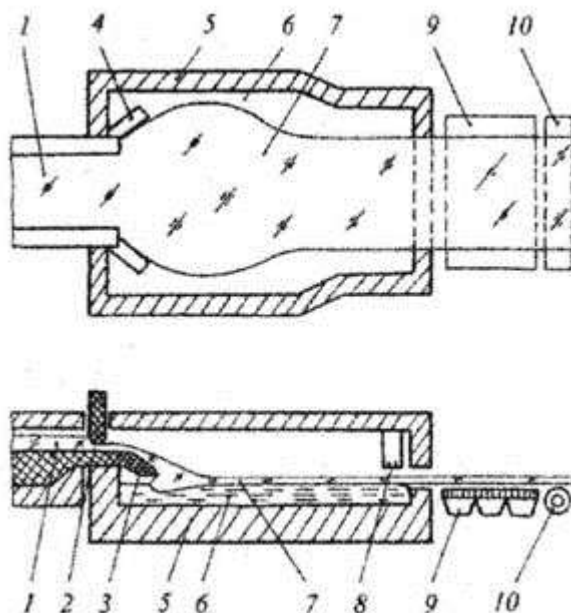


Рис. 2.7. Способ формирования флоат-стекла.

1 - жидкая стекломасса; 2 - дозирующий шибер; 3 - сливной лоток; 4 - рестрикторы; 5 - ванна расплава; 6 - расплав олова; 7 - лента стекла; 8 - индуктор; 9 - газовоздушная подушка; 10 - приемные валы печи отжига

На выходе флоат-ванны лента стекла вынимается подъемными роликами, и проходит через терморегулируемый туннель, печь для отжига стекла, чтобы быть отоженной. В начале печи для отжига стекла с обеих сторон ленты распыляется SO_2 , обеспечивая обработку поверхности для защиты стекла от контакта с роликами. Печь для отжига стекла разделена на секции, в которых имеется нагрев и косвенное или прямое охлаждение с помощью принудительной и естественной конвекции. Стекло, таким образом, постепенно охлаждается с 600 до 60 °С, для уменьшения остаточных напряжений, которые возникают во время процесса формования, до приемлемого уровня. Для этой работы необходимо время и пространство, и от места заливки стекла на флоат-ванну до линии разреза, имеется непрерывная лента стекла длиной 200 м.

Охлажденная лента стекла режется по длине перемещающимся режущим инструментом; угол режущего инструмента к линии зависит от скорости линии (90 °, если она не движется). Края ленты, на которых находятся отпечатки вала, отрезаются и повторно используются в печи в качестве стекольного боя. Стекланные листы затем проверяют, упаковывают и хранят, либо для продажи, либо для вторичной обработки.

Для улучшения характеристики изделия (например, энергосберегающее остекление) может быть применено прямое нанесение покрытия. Процессы прямого нанесения покрытия присущи определенному случаю и общее количество предприятий в промышленности, на которых имеется оборудование для прямого нанесения покрытия, очень мало. На движущуюся ленту стекла покрытие наносится, в то время как она находится в горячем состоянии, путем падения на его поверхность соединений кварца или олова, где они реагируют, формируя необходимую пленку. Процесс обычно состоит из двух отдельных стадий нанесения покрытий, грунтовки на основе кремния и отдельного верхнего слоя, например, легируемого фтором оксида олова. Вследствие природы используемых химических веществ могут возникать выбросы нефтяных газов, содержащих сероводород, и микрочастиц, которые обычно перерабатываются в специально предназначенной системе сокращения выбросов.

2.6 Непрерывное стекловолокно.

Наиболее широко используемым составом для производства непрерывного стекловолокна является стекло марки Е, которое составляет более 98 % выпускаемой продукции сектора. Типичный состав стекла марки Е для общего применения приводится в Таблице 2.5.

Для производства нитей для стекловолокна предпочтительно использовать состав, показанный в Таблице 2.6. Другие составы также используются для производства непрерывных нитей, но только очень небольшое количество выпускаются в России. Технологии варки стекла, используемые для этих иных рецептур, очень специфичны и обычно не являются представителями технологий, используемых в секторе в целом. Применительно к целям настоящего документа рассматривается только производство стекла марки Е.

Таблица 2.5: Типичный состав стекла марки Е для продуктов из стекловолокна используемый приложениях общего назначения

Компонент	Содержание % по весу
B ₂ O ₃	От 0 до 10

CaO	От 16 до 25
Al ₂ O ₃	От 12 до 16
SiO ₂	От 52 до 56
MgO	От 0 до 5
Общее количество оксидов щелочных металлов	От 0 до 2
TiO ₂	От 0 до 1,5
Fe ₂ O ₃	От 0,05 до 0,8
Фториды	От 0 до 1,0

Таблица 2.6: Типичный состав стекла марки Е для продуктов из стекловолокнистой пряжи, используемых в печатных платах и космосе

Компонент	Содержание % по весу
B ₂ O ₃	От 5 до 10
CaO	От 16 до 25
Al ₂ O ₃	От 12 до 16
SiO ₂	От 52 до 56
MgO	От 0 до 5
Na ₂ O и K ₂ O	От 0 до 2
TiO ₂	От 0 до 0,8
Fe ₂ O ₃	От 0,05 до 0,4
Фторид	От 0 до 1,0

Расплавленное стекло для непрерывного стекловолокна обычно производится в стекловаренных ваннах рекуперативных печах с поперечным направлением пламени, работающих на смеси воздух-органическое топливо. В то время как все еще имеются некоторые печи с дополнительным кислородным нагревом, основной тенденция является 100 % использование стекловаренных печей с горением топлива в кислороде. Как стекловаренные печи на смеси воздух-топливо, так и стекловаренные печи с использованием горения топлива в кислороде печи могут быть снабжены дополнительным электроподогревом. Регенеративные стекловаренные печи не используются.

2.7 Сортное стекло

Данный сектор является одним из наиболее диверсифицированных секторов в стекольной промышленности и охватывает широкий диапазон продукции, а также технологических процессов, начиная от сложных ручных операций по выпуску высокохудожественных изделий из хрусталя и хрустального стекла, до больших объемов продукции с использованием высоко- механизированных методов для производства недорогих потребительских товаров массового спроса. Большая часть стеклянной посуды производится из натрий-кальций-силикатного стекла, имеющего состав подобный тарному стеклу. Однако его состав более сложный, ввиду специфических требований качества, и более разнообразных процессов формования.

Другие основные составы стеклянной посуды включают:

- опаловое и глушеное (непрозрачное) стекло, содержащее фтористые или фосфатные соединения
- свинцовый хрусталь и свинцовое стекло с официальным указанием состава и свойств для хрустального стекла
- боросиликатное стекло, содержащее оксид бора и пригодное для изготовления кухонной посуды, благодаря очень низкому термическому коэффициенту линейного расширения и высокой термостойкости
- стеклокристаллические материалы для изготовления кухонной посуды, панелей электроплит, имеющие более низкий термический коэффициент линейного расширения.

Широкий диапазон продукции и процессов означает, что на самом деле в рамках сектора могут использоваться все технологии стекловарения, описанные в Разделе 2.3, начиная от обычных горшковых печей до больших регенеративных печей. В отличие от производства стеклянной тары, не практикуется широкое применение внешнего (чужого) стеклобоя, ввиду ограничений по качеству, но внутренний стеклобой используется.

Процесс формования разделяется на две основные категории: автоматическая обработка и ручная работа, либо полуавтоматическая обработка. Автоматическая обработка стекломассы подобна той, что используется в секторе стеклянной тары. Стекло из пе-

чи подается через одну или более выработочных частей в формовочную машину, где изделия формируются с использованием металлических форм. Техника точности формования зависит от размера изделия, подлежащего изготовлению. Существует четыре основных метода формования: 'прессовыдувание', 'выдувание', прессование и вытягивание. Первые два метода по существу одинаковые применительно к сектору стеклянной тары (См. Раздел 2.4), поэтому здесь далее не описываются, хотя конструкция машин и условия работы (скорость, требования к качеству) отличаются.

Процесс прессования сравнительно простой, и он используется для совсем мелких изделий, у которых горлышко шире или равно ширине основания. Такой процесс прессования горячих комков стекла между формой и плунжером (поршнем) показан на Рис. 2.8. Входная температура расплавленного стекла изменяется в зависимости от состава, но для натрий-кальциевого стекла она обычно составляет 1150 °С.

На приведенном ниже Рис. 2.8 показано схематическое представление процесса прессования для формования стеклянных изделий.

Процесс вытягивания показан на рис. 2.9 и используется для получения изделий круглого сечения, таких как тарелки и мелкие чаши (миски). Горячие комки стекла опускаются в форму, которая затем вращается, и формируется изделие в результате действия центробежной силы.

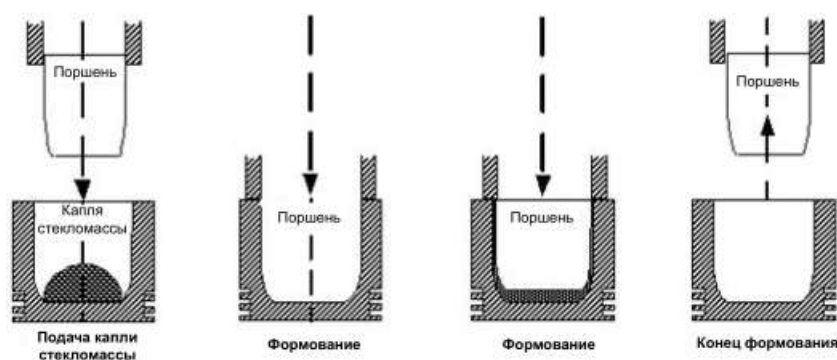


Рис. 2.8: Процесс прессования для формования изделий из стекла

1- ая стадия – подача комков; 2 – ая и 3-ья стадии - формование; 4 – ая стадия – конец формования

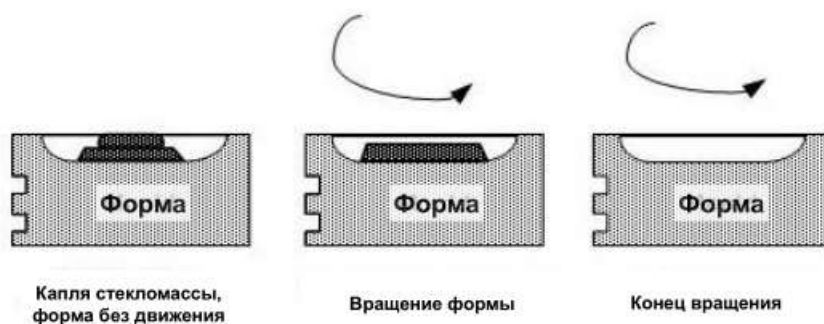


Рис. 2.9: Процесс вытягивания для формования изделий из стекла

Показаны три формы. 1 – комок стекломассы, форма без движения; 2 – вращение формы; 3 – конец вращения

Сформованные изделия обычно обрабатывают огнем и полируют (шлифуют) для придания требуемого качества поверхности. Необходимая очень высокая температура обеспечивается с помощью газокислородного или, в некоторых случаях, кислородно-водородного поджига. Преимущество этих процессов обусловлено более низким потреблением энергии, легкостью использования и сокращением объема отработанного газа. После поджига изделия пропускают через лер для отжига, и на их поверхности могут наноситься покрытия. Операции отжига и нанесения холодного покрытия подобны рассмотренным ранее для стеклотары, поэтому далее они здесь не рассматриваются (см. Раздел 2.4). В ряде случаев изделия пропускают не через лер для отжига, а через закалочную печь, чтобы повысить их механическую устойчивость и теплостойкость. В производство некоторых изделий с разделенными двумя и более частями используют переплав. Это относится к ручкам и основаниям стеклянных изделий – чашкам и стаканам. Такие изделия изготавливаются отдельно с помощью прессования, выдавливания и вытягивания. Часто ножки стеклянных изделий привариваются отдельно.

Для изделий ручной работы стекло комплектуется человеком с использованием полых трубок непосредственно из печи, либо подающего устройства. С помощью легкого дуновения в трубку получают небольшое полое тело (заготовку, пульку), которое для получения нужной формы формуется с использованием деревянных или металлических форм. Изделия переносят в лер для отжига, чтобы исключить любые внутренние натяжения (растяжения), охлаждают до комнатной температуры и подвергают огневой обработке, шлифованию и повторному нагреву. При полуавтоматическом производстве неко-

торые этапы процесса (комплектование, формовка и обработка) выполняются с помощью машин или роботов.

После того, как были получены основные изделия, далее они могут подвергаться отделке с использованием одной или более операций. Некоторые из них описываются ниже.

Огранка предусматривает нанесение заранее выбранного резного орнамента на изделия из простого стекла с помощью шлифовального круга, шаржированного алмазом. Это процесс может выполняться вручную, либо автоматически, в зависимости от изделия. В качестве охладителя при огранке используется вода (иногда с добавлением смягчающих компонентов), которая позволяет также удалить мелкие частицы стекла, возникающие в процессе огранки. Потом эта вода обрабатывается и выливается, либо повторно используется. Края изделий иногда грунтуются и шлифуются с использованием подобных, либо специальных методов обработки.

После огранки стекло приобретает серый цвет и его поверхность имеет необработанный вид. Поверхность стекла восстанавливается в ее первоначальном виде в результате погружения стекла в полировальную ванну с фтористоводородной и серной кислотами. Кислоты делают поверхность стекла более гладкой, поскольку чем больше поверхность участка, тем легче происходит растворение. На поверхности стекла образуется белый наружный слой 'корка' (состоящий из сульфата свинца). После ополаскивания в горячей воде стекло восстанавливается и имеет прежний блестящий вид.

С поверхности полировальной ванны происходит испарение фтористого водорода и SiF_4 . Эти пары обрабатываются в башенных скруберах. В процессе операции образуется гексафторкремниевая кислота (H_2SiF_6) обычной концентрации, достигающей 35 %, а кислая промывочная вода затем нейтрализуется. В качестве альтернативы возможно восстановление H_2SiF_6 и, где это допустимо, ее использование в качестве запаса для химической промышленности. Кислая промывочная вода также требует периодической нейтрализации. В настоящее время разрабатывается альтернативная технология кислотной шлифовки, например, механическая шлифовка и высокотемпературная шлифовка с помощью пламени или лазеров.

Для создания привлекательных узоров может использоваться большое разнообразие технических приемов. Они включают декорирование с использованием эмалей, об-

работку с помощью пескоструйных аппаратов, либо травления кислотой, а также гравирование. Объемы выбросов в результате этих операций небольшие в сравнении с основными производственными стадиями.

2.8 Специальное стекло

Производство специального стекла отличается большим разнообразием и охватывает широкий диапазон продукции, которая может существенно различаться по своему составу, способам изготовления и конечного использования. Можно считать, что многие изделия пересекаются с продукцией других секторов, в особенности сектора стеклянной посуды, в части боросиликатного стекла. В прошлом основная продукция сектора специального стекла была представлена электронно-лучевыми трубками; к настоящему времени этот тип продукции почти полностью исчез в России, в то время как основная продукция включает кварцевое, электровакуумное, светотехническое, оптическое, медицинское, термометровое, радиационостойкое и другие виды стекол.

Большая часть прочей производимой продукции имеет сравнительно небольшие объемы, часто менее 20 тонн в сутки. Однако, многие из этих изделий, выпускаемых небольшими объемами, производятся на тех предприятиях, где общий объем продукции по всем операциям превышает эти цифры. В Таблице 2.7 показаны составы основной стекловой продукции сектора специального стекла. Некоторые сочетания в приведенных составах могут широко изменяться, поэтому показанные в таблице цифры следует рассматривать, как ориентировочные. В данном разделе рассматриваются основные методы производства, используемые в рамках сектора специального стекла.

Ввиду диверсификации продукции, в секторе используется широкий ряд методов стекловарения, но производство небольших объемов продукции означает, что большая часть печей небольшого объема. Наиболее часто используемая техника – это рекуперативные печи, газокислородные печи, электрические стекловаренные и ванны печи. В некоторых случаях используются также регенеративные печи. Следует отметить, что температура стекловарения специального стекла может быть выше, чем для обычной массово производимой продукции. Боросиликатное стекло и ситаллы требуют особенно высокой температуры, превышающей 1650 °С. Такая высокая температура и сложный

состав изделий могут привести к более масштабным выбросам в окружающую среду на тонну производимой продукции, например, для щелочесодержащей стекломассы. Меньшие объемы продукции в сочетании с высокой температурой означают также меньшую энергоэффективность и более короткий 'срок жизни' печей в данном секторе.

Высокие требования к качеству продукции, такой как оптическое, электровакуумное и светотехническое стекло, ситаллы, означают необходимость введения в состав шихтовых смесей особо чистых материалов, и во время варки использовать коррозионностойкие плавильные емкости, например, платиновые тигли для предотвращения загрязнения стекломассы элементами, переходящими в расплав при коррозии керамических или шамотных горшков и из огнеупоров стекловаренной печи.

Что касается других секторов, то после стекловарения и осветления стекло вытекает из печи вдоль температурно-контролируемой выработочной части в аппарат для последующего формования. Основными техническими методами, используемыми для формования в рамках сектора специального стекла, являются:

- процесс прессовыдувания (боросиликатное стекло, столовая и кухонная посуда)
- процесс роторного формования (боросиликатное стекло, компоненты для ламп)
- процесс выдувания (боросиликатное стекло, стеклянная посуда)
- процесс прокатки (плоское стекло, ситаллы)
- процесс прессования (стекло электротехническое — колпаки, рассеиватели, светотехническое и т.д.)
- процесс непрерывного вытягивания листового стекла, трубы (колбы для ламп)
- процесс вытягивания (боросиликатное стекло)
- процесс горячей экструзии (прессования) труб по методу Даннера и Веллоу (стеклянные трубки (дроты), включая осветительные приборы)
- процесс отливки (блоки оптического стекла и некоторые специальные изделия)
- процесс вытягивания (тонкопленочные стекла, например, стекла для дисплеев, боросиликатное стекло)
- процесс полирования листового стекла (боросиликатное стекло)

Процессы прессовыдувания и выдувания по существу такие же, как это описано для сектора стеклянной тары (см. Раздел 2.4).

В процессах прессования стекло находится в контакте со всеми частями металлической формы. Прессуемая форма состоит из трех частей: полая форма, плунжер, который вводится в форму, оставляя пространство, которое определяет толщину стеклянной стенки и уплотнительного кольца, направляющего плунжер, когда его удаляют из формы. Комок стекломассы вводится в форму и прессуется гидравлически и пневматически с помощью плунжера, направляемого уплотнительным кольцом до тех пор, пока стекломасса не будет запрессована во все участки формы. Плунжер и форма отводят от стекла значительную часть тепла, и после затвердевания плунжер удаляется. Большинство прессующих машин работают на поворотных столах, которые имеют от 4 до 20 форм, а максимум – 32 формы. Поворотный стол принимает стекло, поэтапно выполняя операции загрузки, прессования, охлаждения и удаления.

Колбы для ламп изготавливают на основе процесса непрерывного вытягивания листового стекла. Лента стекла образуется путем прокатки текущей стекломассы между двумя валиками, охлаждаемыми водой. После прохождения между валиками стеклянная лента пропускается через машину с мерной диафрагмой, где формируется непрерывная лента с продавленными отверстиями (лунками). Поскольку лента движется вперед, то она проходит мимо последовательной цепочки выдувных головок, находящихся сверху, причем каждая головка совпадает с лункой в ленте. Путем выдувания головка обдувает стекло, находящееся в лунке, и стекло формуется в колбу внутри вращающейся формы и охватывает ее снизу по окружности. Двигаясь вперед по ленте, образованная колба освобождается из своей формы, охлаждается воздухом, а затем снимается с ленты и переносится на конвейерную ленту. Колба проходит лер для отжига и снятия напряжений, и далее следуют охлаждение, технический контроль и упаковка. Можно достичь объема производства свыше 1000 колб в минуту.

В целях производства изделий с точным допуском на размеры, применительно к стеклам, имеющим крутую кривую вязкости, либо тенденцию к кристаллизации, можно использовать экструзию. Такой метод экономичен для производства различных типов полных и полых профилей с острыми краями в поперечном сечении, необходимых для промышленных нужд. Используя методы экструзии слоистых материалов, можно соче-

тать два или три типа стекол для производства, например, различных компонентов в оболочке химически стойкого стекла.

Для непрерывного вытягивания стеклянных труб наиболее часто используют метод Даннера. Непрерывный поток стекломассы протекает через слегка наклоненный медленно вращающийся огнеупорный сердечник, называемый раскаткой Даннера. В нижней части раскатки образуется полый баллон, из которого извлекается трубка (тюбинг). Сам сердечник обдувается воздухом, трубка поддерживает полое пространство в стекле. После перевода в горизонтальное положение затвердевающая трубка перемещается на роликовый транспортер к подъемному устройству, за которым она разрезается на отдельные части длиной 1.5 м, а иногда длиннее. Такие машины могут производить более 3 м стеклянных труб в секунду.

Процесс Веллоу – второй наиболее широко распространенный процесс, имеющий такую же производительность, что и процесс Даннера. Стекломасса из печи течет вдоль камеры подогрева вниз через отверстие (кольцо); пустое пространство в стекломассе поддерживается с помощью трубки с конусообразным отверстием (раструбом), расположенным внутри кольца. Неподвижная мягкая трубка переводится в горизонтальное положение и вытягивается вдоль роликового транспортера, охлаждается и разрезается, как было описано в процессе Даннера.

Разновидностью процесса Веллоу является процесс вытяжки вниз, который можно использовать для производства труб диаметром до 360 мм. Стекло протягивается вниз через вакуумную камеру, и пропускается через уплотненную ирисовую диафрагму, вращающийся затвор которой может быть отрегулирован для различных апертур (отверстий). Четвертый процесс – это процесс вертикального вытягивания, при котором стеклянная трубка вытягивается вертикально вверх из вращающейся чаши. Область вытягивания защищена вращающимся керамическим цилиндром, один конец которого погружен в стекло. Полое пространство образуется с помощью воздушного сопла, расположенного ниже поверхности стекла. Этот метод особенно эффективен для производства толстостенных трубок большого диаметра.

Оптическое стекло может вырабатываться в виде блоков, пластин или дисков, либо прессоваться в виде цилиндров для создания заготовок (полуфабриката), которые затем подвергаются дальнейшей механической обработке, путем

шлифовки и полировки в соответствии с чертежами заказчиков.

Таблица 2.7: Химический состав основных продуктов сектора специального стекла, масс. %

Ком- понент	Стекло для ЭЛТ		Стекланные трубки		Бороси- ликатное стекло, напр. для химич. посуды	Др. стекло для ламп		Стекло- керами- ка	Квар- цевое стекло	Оптическое стекло				Дру- гое, напри- мер, диоды
	Панель	Трубка	Натрий- кальций- силикат- ное	Бороси- ликатное		Не- прозрач. стекло	Колбы для ламп			крон	Оптич. стекло	Фтори- стофос- фатное	Редко- земель- ное	
SiO ₂	60 – 63	53 – 55	69	67 – 81	70 – 81	63 – 68	73 – 75	55 – 70	99.9	35 – 70	25 – 60		0 – 28	35
Al ₂ O ₃	2 – 3.4	1 – 5.2	2 – 4	2.0 – 7	2.3 – 5.5	3 – 3.5	1 – 4	15 – 25	0.005	0 – 10	0 – 15	0 – 15	0 – 3	
Fe ₂ O ₃			0 – 1	0.01 – 2	0.01– 0.03	0.15		0 – 0.2						
CaO	0 – 3.2	0.9– 3.8	4 – 5	0.01– 1.5	0.01 – 1	1.4 – 8	0.5	0 – 4.0	0.001	0 – 10		0 – 10	0 – 25	
PbO		14 – 23									25 – 70			60
Sb ₂ O ₃	0.15–0.8	0 – 0.35	0 – 0.9					0 – 2		0 – 0.3	0 – 0.1	0 – 0.1	0 – 0.2	
As ₂ O ₃	0 – 0.3	0 – 0.3	0 – 0.06	0 – 0.06				0 – 1.5		0 – 0.3	0 – 0.3	0 – 0.1	0 – 0.1	
MnO ₂				0.01 – 5										
MgO	0 – 1.2	0.6– 2.2	2 – 3	0.01– 0.5	0.01 – 0.5	1.4 – 4	0.5	0 – 1.0	0 – 3			0 – 5	0 – 1	
Na ₂ O	6.6 – 9.4	5.8– 6.7	9 – 16	3.5 – 12	3.4 – 6.5	9 – 10	3 – 4	0.5– 1.5	0 – 2	0 – 10	0.5– 10			
K ₂ O	6.6 – 8.4	7.8– 8.1	1 – 11	0.01– 2.5	0.5 – 1.5	6	1.5– 2.5		0 – 2	0 – 20	0.5 – 8			5.0
SO ₃						0.2								
F						4.0 – 5.4				0 – 10		0 – 35		
B ₂ O ₃			1	5 – 13	8 – 13	0 – 1.6	12 – 17	0 – 3		5 – 20		0 – 10	10 – 40	

Ком- понент	Стекло для ЭЛТ		Стеклянные трубки		Бороси- ликатное стекло, напр. для химич. посуды	Др. стекло для ламп		Стекло- керами- ка	Квар- цевое стекло	Оптическое стекло				Дру- гое, напри- мер, диоды
	Панель	Трубка	Натрий- кальций- силикат- ное	Бороси- ликатное		Не- прозр. стекло	Колбы для ламп			крон	Оптич. стекло	Фтори- стофос- фатное	Редко- земель- мель- ное	
Ta ₂ O ₅													0 – 20	
Gd ₂ O ₃													0 – 15	
WO ₃											0 – 10		0 – 3	
GeO ₂											0 – 20			
Bi ₂ O ₃											0 – 60			

2.9 Минеральная вата

Подготовка минеральной ваты включает три основных этапа: подготовка сырьевого материала; стекловарение; фибриллирование расплава для связующих материалов; мативирование волокон, охлаждение и окончательная обработка продукта. Минеральные ваты делятся на две основные категории: стеклянная вата и каменная вата. Эти продукты используются практически для одних и тех же целей и отличаются в основном по составу сырьевых материалов и методам стекловарения. После этапа стекловарения все вопросы, связанные с процессом, а также окружающей средой главным образом идентичны. Химический состав минеральной ваты приведен в Таблице 2.8. Следует обратить внимание на то, что оксиды железа, TiO_2 и P_2O_5 не предусмотрены рецептом или не являются необходимыми компонентами стекла, а появляются как случайные примеси. Поэтому их уровни, получаемые в стеклянной и каменной вате, зависят от качества и чистоты сырьевых материалов, и значения, указанные в таблице, являются экстремальными из найденных диапазонов.

Таблица 2.8: Типовой состав минеральной ваты

Минеральная Вата	SiO_2	Щелочн. оксиды	Щелочноземельн. оксиды	B_2O_3	Окись железа	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5
Стекловата	57 – 70	12 – 18	8 – 15	0 – 12	<0.5	0 – 5	Следы	0 – 1.5
Каменная вата	38 – 57	0.5 – 5	18 – 40	Следы	0.5 – 12	0 – 23	0.5 – 4	0 – 1.5
Шлаковая вата	38 – 52	0.5 – 3	30 – 45	Следы	0 – 5	5 – 16	<1	Следы

2.9.1 Стекловата

На Рис. 2.10 показана типовая линия по производству стекловаты



Рисунок 2.10: Типовая линия по производству стекловаты

Сырьевые материалы для производства стекловаты доставляются, в основном, в автоцистернах и пневматически загружаются в бункеры - накопители. В технологическом процессе используется ряд сырьевых материалов, и точный состав смеси в процессах может существенно различаться. Основные материалы для производства стекловаты включают: песок, соду, золу, доломит, известняк, сульфат натрия, нитрат натрия, а также минералы, содержащие бор и алюминий.

В большинстве процессов в качестве сырьевого материала используется также стеклобой. Это –стеклогранулят, получаемый путем отливки сваренной стекломассы в воду. Указанный стеклобой имеет точно такой же состав, что и конечный продукт и поэтому может повторно использоваться в печи. Другие виды стеклобоя, например, тарное стекло и натрий-кальций-силикатное плоское стекло также широко используются в качестве исходного продукта. Но этот вид материала использовать повторно труднее, поскольку его использование значительно зависит от стоимости, состава, чистоты и постоянства поставок. Что касается других видов стекла, то присутствие ситалла в повторно используемом стеклобое представляет все возрастающую проблему. Несколько производителей повторно используют также отходы производственных волокон и пыль, собранную из отходов печного газа для последующего стекловарения.

Волоконная природа большей части отходов делает процесс повторного использования непрактичным без дальнейшей обработки. Сырьевые материалы, загружаемые в

печь, имеют вид порошка, либо гранул. Это обычно осуществляется с помощью операции размельчения. Сырьевой продукт и отфильтрованное сырье содержат значительные уровни органических вяжущих веществ. Для стеклостекловаренной печи присутствие углерода в отходах представляет ряд потенциальных проблем, включающих: сокращение передаваемого тепла; пенообразование; дестабилизация условий стекловарения, а также изменение химического режима печи. Эти проблемы можно минимизировать, но существует предел количества отходов, которые могут повторно использоваться в печи. Более того, может оказаться необходимым добавление натрия или нитрата калия в качестве окисляющего агента, а разложение этих материалов может существенно повысить выбросы окиси азота.

Для того, чтобы приготовить точно установленный состав, разные сырьевые материалы автоматически взвешиваются и смешиваются до состояния однородной массы. Взвешенная смесь затем поступает в промежуточный бункер - накопитель, прежде чем она попадает в печь.

В качестве печи используются (за редким исключением) электронагреваемая, традиционная рекуперативная печь на газе или реже – печь на газокислородной основе. Это оборудование описано выше в Разделе 2.3.

Поток расплавленной стекломассы, вытекая из печи, направляется вдоль камеры подогрева с огнеупорной футеровкой и выливается через несколько (обычно от одного до десяти) отверстий в специально созданные центрифуги - формователи. Первичное фибриллирование происходит путем вращения с дальнейшим ослаблением скорости волокон с помощью горячих газов пламени обжиговой печи. Так образуется оболочка волокон различной длины и диаметра, произвольно переплетенных. Далее следует прохождение через кольцо распылителя связующих веществ, который выпускает на волокна раствор фенольных связующих веществ на основе смолы и минеральное масло, чтобы обеспечить их сохранность, эластичность, прочность и качество обработки для конечного продукта.

Связующие вещества сильно разбавлены водой, что позволяет наносить требуемое покрытие волокон, имеющих большую поверхность. Вода действует как средство доставки связующего вещества и затем испаряется.

Покрытые смазкой волокна вытягиваются под вакуумом на движущемся конвейере-

ре, образуя ковры (маты) волокон. Затем они проходят через газоподжигаемую печь при температуре приблизительно 250 °С, которая высушивает продукт и обеспечивает отвердевание связующих веществ. Далее продукт подлежит воздушному охлаждению и нарезанию, прежде чем он будет упакован. Крошка обрезанных краев может измельчаться и выдуться обратно в покрытие волокон, либо она может соединяться с побочным продуктом, образуя рыхлую минеральную вату. Некоторые продукты производят без печной вулканизации (отвердевания). К ним относятся, например, продукты, получаемые путем СВЧ вулканизации, горячего прессования, а также продукты, не требующие затвердевания и связующих веществ. С помощью нанесения покрытий, например алюминиевой фольги или стеклоткани, наряду со связующими веществами, изготавливают также многослойные продукты.

Вода впрыскивается во многих последующих процессах для защиты создающихся волокон и резинового материала, от возможного возгорания или блокировки каналов, а также удаления присоединившихся компонентов из дымового газа. Вода используется также для очистки ленты конвейера и других частей установки. Системы обработки воды представляет обычно замкнутый контур, т.е. она собирается, фильтруется и повторно используется для распыления (пульверизации), очистки и растворения связующих веществ. Типовая схема обработки воды в производстве стекловаты показана ниже на Рис. 2.11. Значительная часть воды испаряется в результате следующих производственных операций: распыления, очистки оборудования, связующих веществ, очистки газовых отходов, а также охлаждения.

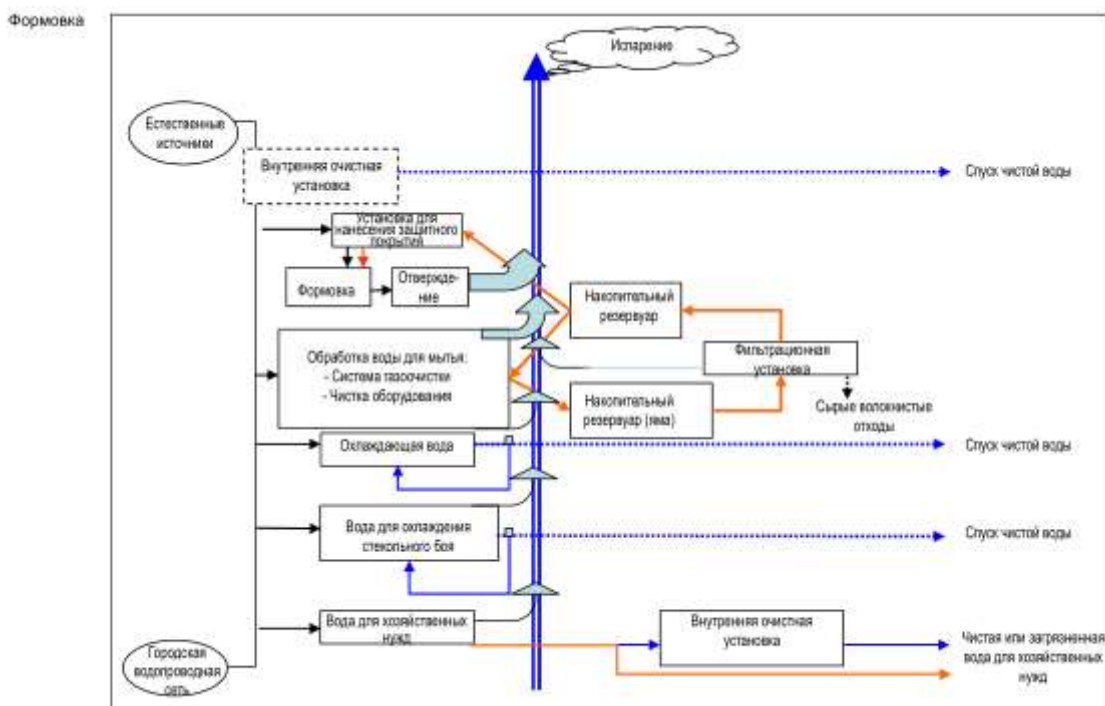


Рис. 2.11: Типовая схема циркуляции воды в производстве стекловаты

Водный баланс для обычного завода по производству стекловаты в нормальных условиях составляет от 3 до 5 м³ воды на тонну производимой стекловаты. Почти вся эта вода выходит с предприятия в качестве пара, либо капелек взвешенных в воде газов через выводную трубу, либо в виде общего испарения.

Однако вода постоянно рециркулирует в системе очистки таким образом, что внутренний поток воды, используемый в процессе получения стекловаты намного больше и достигает 100 м³ на тонну стекла. Большая часть этого потока (обычно 70 %) используется в отделах формования и связанных с ними оборудованием контроля загрязнений. Эта вода, используемая в процессах промывания, содержит растворенные органические и твердые вещества (в основном волокна). Нерастворимые твердые вещества удаляются с помощью использования циклонных сепараторов, фиксированных или вибрирующих сетчатых фильтров, центрифугальных фильтров, либо подобного оборудования. Для предотвращения избыточной концентрации растворимых органических веществ часть воды, отобранной из общей системы, повторно фильтруется и вводится в смесь

связующих веществ для соединения с продуктом. Так устанавливается баланс содержимого растворимых твердых веществ, как для данного состава связующих веществ, так и для содержимого связующих веществ в продукте.

Технические показатели промывочной воды подвергают периодическому мониторингу, в частности потому, что очистка дымового газа зависит от концентрации растворенных твердых частиц, а эти изменения очень важны и зависят от таких параметров, как состав и качество используемых связующих веществ и сезонного времени года.

При использовании воды для других нужд применяют системы обработки, такие как охлаждение воздухом, обратноосматические, ионного обмена и обезжиривания (удаления масел).

Сточные воды появляются в результате очистки оборудования, содержащего связующие вещества, резервуаров для хранения, либо операций вторичной очистки, которые могут повторяться в режиме внутреннего цикла. Операции очистки могут проводиться до стока в коллектор, в зависимости от местных условий. Часто сброс сточных вод не производится, за исключением согласованных чрезвычайных ситуаций, либо этот сброс в засоренные сточные трубы в соответствии с допустимыми условиями. Обычно максимальный выброс в воду составляет 50 тонн в сутки.

В процессе производства стекла может образоваться ряд вторичных продуктов. Сюда входят: гранулированная изолирующая вата для установок обдува, необработанная вата, пакуемая для поставки заказчикам в целях последующей обработки, а также многослойные и отделанные продукты. Вторым важным продуктом является изоляция для труб, когда незатвердевшее стекло извлекается из основного процесса и перенаправляется на прессование в форме и затверждение. В другом случае стекло может разрезаться на убираемые нагретые оправки для формования отверстий, и подлежать термообработке с целью формирования наружной стенки до начала этапа полного затвердевания.

Связующее вещество готовится путем смешивания частично полимеризированной смолы с определенными добавками, которые улучшают эффективность ее использования, повышают вязкость со стеклом, препятствуют образованию пыли, придают водостойчивость и способствуют растворению связующего вещества. До использования в покрытии связующее вещество разбавляют большим количеством воды (при наличии,

производственной воды)

Наиболее часто используемая смола представляет собой отверждаемый нагреванием продукт, включающий фенол, формальдегид и катализатор химической реакции. Смола имеет водную основу и обычно содержит до 50 % твердых частиц. Импорт смолы может осуществляться специализированными производителями, либо смола может изготавливаться непосредственно на месте производителем минеральной ваты. Производство смолы на месте обычно представляет серийный производственный процесс, при котором термическая реакция сырьевых материалов проходит под контролем, в целях обеспечения требуемой степени полимеризации и твердости. Производство смолы относят к химическим процессам, и поэтому оно не описывается в данном документе.

2.9.2 Каменная вата

На Рис.2.12 показана типовая линия по производству каменной ваты

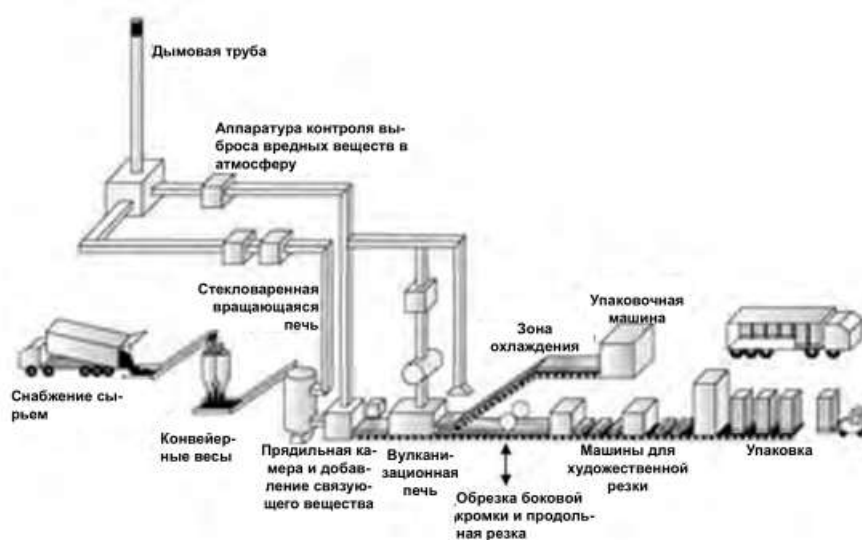


Рисунок 2.12: Типовая линия по производству каменной ваты

Наиболее распространенной технологией в производстве традиционной каменной ваты является использование вращающейся печи на коксе с подогревом дутья, что можно сравнить с работой доменной печи в сталелитейном производстве. Данная технология предусматривает стекловарение алюмосиликатной породы (обычно базальта) с известняком или доломитом, а иногда – с доменным шлаком. Порода имеет форму куска, что позволяет формирование воздухопроницаемых колонн материала в печи, и таким образом поддерживать процессы теплообмена. В обрабатываемой партии технологический цикл может повторяться, либо производственные отходы собираются в брикеты приблизительно такого же размера, что и куски породы. Вращающаяся печь имеет цилиндрическую металлическую обшивку (трубу), которая может быть с огнеупорной футеровкой, и находится непосредственно у основания. Схема вращающейся печи с подогревом дутья показана на Рис. 2.13.



Рис. 2.13: Типовая вращающаяся печь с подогревом дутья

Вся поверхность печи охлаждается водой с помощью открытого контура конвекционного охлаждения. Сырьевые материалы, брикеты и кокс в форме кусков загружаются сверху в печь чередующимися слоями, либо в смешанном виде, заполняя печную трубу. Кокс, находящийся на дне печи воспламеняется и образует зону горения, в которой плавятся куски горной породы. Воздух, заранее подогретый теплообменником нисходящего тепла, а иногда и обогащенный кислородом, накачивается в зону горения печи (на расстоянии от 1 до 2 метров от основания) через трубки (воздушные фурмы) в стенке печи. Это самая горячая часть печи, имеющая температуру приблизительно 2000 °С.

Расплавленный материал собирается на дне печи, вытекает через желоб и течет через машину для вытягивания. Материал, находящийся сверху зоны горения и заранее нагретый выходящими из печи газами, попадает в зону горения и на его место вверху печи загружается новый сырьевой материал. Таким образом вращающаяся печь может почти непрерывно производить расплавленный базальт в течение двух или трех недель, прежде чем из нее удалят материалы, и она вернется к исходному состоянию. Базальт и, в меньшей степени, доменный шлак содержат окисное железо (Fe^{3+}) и закись железа (Fe^{2+}). При восстановительных условиях в некоторых областях печи окисное железо/закись железа доводятся до металлического железа. Оно собирается на дне печи и может повредить дорогостоящую машину для вытягивания, если ситуация доведена до того, что идет вытекание из желоба. Для того, чтобы этого избежать, железо периодически выпускают через отверстие, пробиваемое в основании печи. Это железо можно собрать с помощью специальной формы, которая может быть соответствующим образом установлена для того, чтобы собирать железо, прежде чем оно попадет в зону отходов, находящуюся внизу вращающейся печи, и смешается с отходами породы. Таким образом, можно облегчить последующее использование выделенного железа.

В печах с подогревом любое рыхлое волокно или порошкообразный материал может выноситься из верхней части печи посредством поднимающегося горячего воздуха, после того, как была произведена загрузка. Как было указано ранее, сыпучие материалы могут неблагоприятно влиять на пористость основания (слоя) и прерывать поток вдуваемого воздуха. Принятое решение для таких ситуаций – это измельчить материал и изготовить брикеты, сравнимые по своим размерам с размером других сырьевых материалов. Обычным связующим веществом для брикетов является цемент, но его использование может привести к увеличению выбросов сернистого газа, ввиду присутствия в цементе серы. Однако, изготовление брикетов имеет другие преимущества, например, уменьшение потребляемой энергии, и возможность добавки в партию исходных материалов минеральной обсыпки, в частности, других отходов, таких как формовочный песок. Расплав попадает на быстро вращающиеся колеса машины для вытягивания и выбрасывается в виде тонких волокон, производимых путем распыления (пульверизации). Вдуваемый под давлением позади колес воздух расслабляет волокна и направляет их на сборочный конвейер для формирования матрасов. Волокна покрываются водным раствором фенолфор-

мальдегидной смолы, с помощью ряда распыляющих форсунок, находящихся в машине. Сборочный конвейер находится под действием сильного вытягивания и выполняет три основные функции: он вытягивает волокна на ленту, удаляет загрязненный воздух в измельчающей камере и содействует рассеиванию фенолформальдегидных связующих веществ на матрасы. Фенолформальдегидная смола придает продукту прочность и форму, необходимую для стекловолоконистой изоляции. Основной матрас изготавливается послойно, чтобы обеспечить необходимый вес продукта на единицу площади. Можно также использовать процесс длительного формования в автоклаве, одна стадия которого достаточна для получения специфического для продукта веса, но этот процесс применяется намного реже.

Мат проходит через печь на природном топливе, при температуре приблизительно 250 °С, которая формирует толщину продукта, высушивает его и содействует затвердеванию. Затем продукт охлаждается воздухом и разрезается по размерам до стадии упаковки. Производство продуктов изоляции труб и некоторых вторичных продуктов может осуществляться с помощью процессов, описанных для стеклянной ваты в Разделе 2.9.1.

Вода может впрыскиваться в трубопровод с целью защиты от накопления смолы и волокон, сокращения риска возгорания, а также устранения последствий действия дымного газа. Вода используется также для различных очистных операций. Так же, как и при производстве изолирующего стекловолокна вода, которая использовалась в технологическом процессе, собирается, фильтруется и используется снова.

Каменная вата может производиться также с использованием пламенных и погружных электродуговых печей. Другие технологические операции, включая измельчение, в основном такие же. Конструкция и функционирование пламенных печей, используемых для производства каменной и шлаковой ваты, в основном сопоставимы с пламенными печами для производства стекловаты. Печь состоит из огнеупорного резервуара, нагреваемого топливными горелками (природным топливом) – поперечное или подковообразное направление пламени. Площадь стекловарения может достигать 100 м². Кроме того, необходимо сокращение выделения металлического железа из сырьевых материалов, а также выпуска железа, что возможно, например, за счет установки вкладыша в отверстие на дне печи.

Погружная электродуговая печь для производства каменной ваты состоит из ци-

линдрической металлической трубы, возможно, с огнеупорной футеровкой, охлаждаемой с помощью масла или воды. Электроды погружены в расплавленную массу сверху печи, обеспечивая энергию для стекловарения посредством резистивного нагревания. Сырьевые материалы вводятся сверху, чтобы образовать холодное покрытие поверхности расплава – "холодный верх". Однако, благодаря расположению электродов, вокруг них всегда имеется открытая ванна стекловарения. Электрическая печь может работать также только с частичным покрытием поверхности расплава – "горячий верх". В результате использования графитовых электродов сокращается небольшое количество свободного металлического железа, выделяемого из сырьевых материалов. Выпуск железа необходим, но намного реже (один раз в неделю или даже реже), чем в случае использования вращающихся печей.

2.10 Фритты

Стеклянные фритты используются в качестве сырьевого материала в производстве керамической глазури. Это стеклообразное покрытие накладывается на керамическую поверхность и наплавляется с помощью нагрева. Кроме того, эмалевые фритты являются также сырьевым материалом для производства эмали. Их используют для нанесения на металлы в целях декоративного оформления и/или защиты от действия внешней среды. Глазури и эмали могут наноситься как сухими, так и влажными; последние являются предпочтительными и бывает обычно в форме суспензии.

Процесс фриттирования включает встекловарение водорастворимых сырьевых материалов в нерастворимое стекло, что облегчает их равномерное распределение в глазури или эмалевой суспензии в процессе последующей обработки. Кроме того, некоторые сырьевые материалы, используемые в производстве глазури или эмали, являются одновременно токсичными и растворимыми. Превращение этих материалов в нерастворимое стекло минимизирует растворение токсичных веществ, а поэтому и возможность их попадания в окружающую среду.

2.10.1 Процесс производства фритт

Фритты изготавливают путем стекловарения смеси сырьевых материалов в стекловаренной печи при высокой температуре, достигающей 1550 °С. Выработку расплавленных фритт осуществляют путем отливки в проточную воду, а в случае стекловарения в небольших емкостях, например, огнеупорных тиглях стекломас-су отливают в емкости с холодной водой. Таким образом получается стеклограну-лят – небольшие кусочки стекла от 2 мм до 10 мм. Затем гранулят подвергают сушке с дальнейшей упаковкой в мешки.

При производстве фритт используются различные сырьевые материалы для формирования основного состава (глина, полевой шпат, кварцевый песок), для стекловарения и содействия формированию стекла (кальцинированная сода, углекислый калий, бура, доломит, мел и т.д.). Кроме того, для придания желаемого внешнего вида эмалям используются красители в виде оксидов переходных элементов и глушители - соединения фтора и фосфора).

Производство керамических фритт (стеклянных фритт) составляет около 95 % общего производства данного сектора (керамических фритт и эмалей). Схематическое представление процесса производства фритт показано на Рис. 2.14.

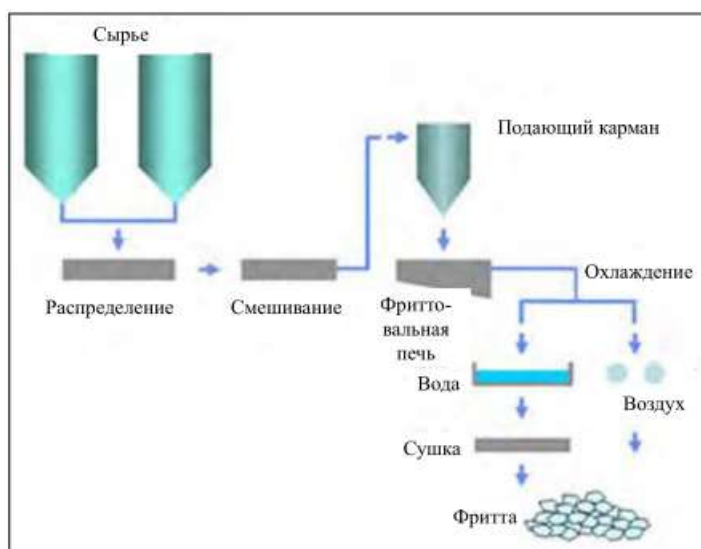


Рисунок 2.14: Схематическое представление процесса производства фритт

2.10.2 Плавильные печи, используемые в производстве фритт

В производстве керамических фритт используют главным образом плавильные печи непрерывного действия (см. рис. 2.15), в то время как печи периодического действия используются редко. Выбор печи зависит от масштабов производства и химического состава продуктов. Обычный процесс предусматривает производство широкого диапазона фритт различного состава в небольших плавильных печах, от которых требуется высокая гибкость, позволяющая адаптировать печь к частой смене продукции. Большинство современных небольших печей обычно работают на натуральном газе, и имеются различные возможности горения, в зависимости от содержания кислорода, используемого при горении. Кроме традиционного горения на основе натуральной воздушно-газовой смеси, в значительном количестве печей используют кислородно-топливное горение. Обогащение процесса горения воздухом с различным содержанием кислорода, практикуется с целью повышения температуры в стекловаренной печи, а следовательно производительности. Выбор среди различных способов горения зависит от состава продукта и необходимой для стекловарения температуры.

Печи для производства фритт обычно работают при слегка отрицательном давлении, в целях обеспечения окисляющей атмосферы и потока расплавленной массы. Такое условие позволяет прохождение паразитного воздуха, что затрудняет оптимизацию соотношения дымный газ/воздух (кислород) для устранения последствий загрязнения окружающей среды.



Рис. 2.15: Схематическое представление типовой стекловаренной печи для производства фритт с кислородным обогащением воздушно-топливного горения и восстановлением тепла

Большинство печей снабжены системой восстановления тепла, кроме печей, использующих горение топлива в кислороде. Воздух горения предварительно нагревается до температуры 470 – 570 °C. После теплообменника температура дымных газов все еще слишком высокая для их ввода в устройство для очистки окружающей среды (обычно это мешочный фильтр для воздуха), поэтому для охлаждения требуется дополнительный свежий воздух.

В большинстве случаев дымные газы, выпускаемые плавильными печами, собирают в одну очистительную систему, либо их группируют на основе характеристик состава используемых материалов и распределяют по нескольким очищающим устройствам, имеющимся на предприятии. Сочетание дымных газов от различных печей, использующих разную технологию горения (кислородное топливо, обогащенное кислородом, воздушно-топливное) приводит к тому, что дымный газ в дымовой трубе имеет высокую концентрацию кислорода, обычно составляющую от 14 до 19 %, но может быть и выше.

Обычные плавильные печи для производства фритт – обогащаемые кислородом, на воздушно-топливной основе горения, с тепловосстановлением, а также кислородном и кислородно-топливном горении показаны на Рис. 2.15 и 2.16.

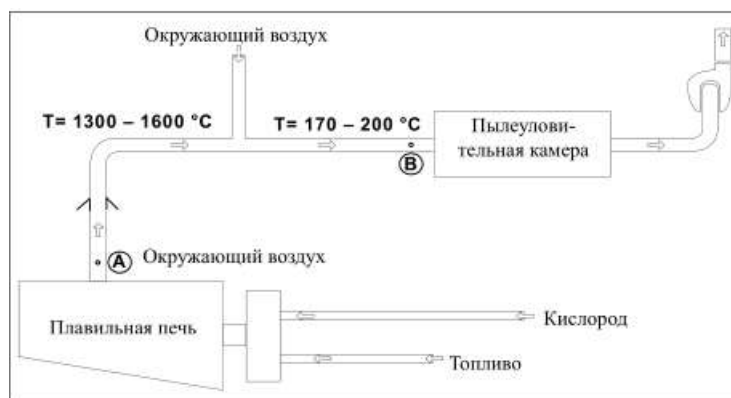


Рисунок 2.16: Схематическое представление типовой стекловаренной печи на кислородном топливе для производства фритта

Сырьевые материалы, используемые для подготовки состава обрабатываемой партии, могут храниться в бункерах - накопителях и направляться на участок взвешивания пневматически, либо механически. Только в некоторых случаях, ввиду сравнительно небольшого производства, имеющиеся материалы хранятся в мешках и взвешиваются вручную на весовых аппаратах. Различные сырьевые материалы автоматически и точно взвешиваются и смешиваются для получения необходимого продукта, который становится химически и физически однородным, прежде чем загружается в печь.

В плавильную печь непрерывного действия сырьевой материал загружается с использованием шнека, образуя горсть в месте загрузки. Горелки, расположенные вдоль сторон печи, обеспечивают необходимые температурные условия стабильности, позволяя непрерывно расплавлять порции подаваемого продукта. Более мелкие плавильные печи требуют подачи топлива на одном конце с помощью обычной горелки. Как только материал расплавляется, в основании печи образуется тонкий слой, который вытекает через выходное отверстие на другом конце стекловаренной печи. Производство остается постоянным благодаря непрерывной подаче сырьевого материала на входе печи.

Для производства фриттированного материала расплавленный материал может вводиться непосредственно в ванну с водой, либо охлаждаться при прохождении между специальными охлаждаемыми водой приспособлениями для вытягивания.

Плавильные печи имеют форму коробки или цилиндра с обложенным в линию огнеупорным кирпичом, приподнятым на поддерживающем основании таким образом,

чтобы имелась возможность небольшой степени вращения. Во избежание возникновения примесей печи обычно специализируются в соответствии с типами составов, имеющих аналогичные характеристики.

Обычная температура стекловарения находится в диапазоне 1350 – 1550 °С, при этом более низкие температуры используются для керамических фритт с низкой точкой стекловарения и содержащих в своем составе плавленые флюсы. Время выдержки в печи определяется временем, необходимым для полного доведения до стекловарения компонентов используемых материалов.

2.10.3 Фритты, как сырьевой материал в производстве глазури и эмалей

Глазури производятся путем смешивания сырьевых материалов с одной или более тщательно измельченными фриттами. Измельчение производится обычно с водой в шаровых мельницах в фарфоровых барабанах с помощью уралитовых мелющих тел – шаров или цилиндров.

На разных стадиях измельчения необходимо добавлять также другие компоненты глазурей, такие как каолин, красители, электролиты и глушащие компоненты. Временные циклы при измельчении имеют продолжительность от 6 до 16 часов. После завершения операции измельчения и смешивания смесь материалов поступает на сетчатый трафарет над магнитом, чтобы удалить металлические примеси.

Для сухих продуктов полученный материал необходимо высушить, либо можно использовать процесс сухого измельчения.

3. Современное потребление сырьевых материалов и энергии и уровни выбросов

3.1. Введение

Данная глава предоставляет информацию о диапазонах потребления энергии и уровнях выбросов, которые встречаются в стекольной промышленности в технологиях и технических приемах, описанных в главе 2. Затраты и выпуск обсуждаются для всей

промышленности в целом, а далее приводятся более специальные рассуждения о каждой отрасли.

В данной главе указаны ключевые характеристики выбросов, источники выбросов и вопросы энергозатрат. Информация, содержащаяся в настоящей главе, нацелена на то, чтобы дать возможность рассмотреть цифры выбросов и потребления для каждой конкретной установки на предмет разрешения, которое следует рассматривать в контексте относительно процессов в данной отрасли или в стекольной промышленности в целом.

Большинство сырьевых материалов для стекольной промышленности представляет собой природные минералы или синтетические неорганические вещества. Большинство этих минералов обычно встречаются в природе в изобилии, и, в общем, не возникает крупных вопросов защиты окружающей среды, связанных с обеспечением указанными материалами. Однако одно из соображений разработки данного справочника заключается в том, чтобы минимизировать потребление сырьевых материалов пропорционально НДТ (наилучшей доступной технологии). Синтетическое сырье обычно изготавливается в отраслях промышленности, которые попадают под отдельно действующие регламенты. Технологические отходы и отходы от использованных изделий являются очень важными сырьевыми материалами сырья для стекольной промышленности, особенно в отрасли стеклянной тары и минерального (стеклянного) волокна.

Основные опасения в отношении защиты окружающей среды для стекольной промышленности в целом заключаются в выбросах (эмиссиях) в воздух и потреблении энергии. Производство стекла представляет собой высокотемпературный, энергоемкий процесс, а энергия предоставляется либо прямо за счет горения ископаемых видов топлива, либо за счет электронагрева, либо за счет комбинации обоих указанных способов. В общем, самые значительные выбросы включают в себя оксиды азота, пылевидные вещества, двуокись серы, галиды (фториды и хлориды), в некоторых случаях металлы. Загрязнение воды не является основным вопросом для большей части установок внутри стекольной промышленности, хотя понятно, что есть исключения. Вода, в основном, используется для очистки и охлаждения и, как правило, легко обрабатывается, или используется повторно. Уровни технологических отходов сравнительно низки, учитывая, что основные потоки твердых отходов возвращаются в цикл повторно в ходе процесса.

Стекольная промышленность является очень разнообразной, и совершенно ясно, что представленный обзор представляет собой очень широкое обобщение. Существуют исключения для специальных технологических опций или для отдельных производств, при этом приоритеты защиты окружающей среды могут различаться для этих отраслей. Если эти исключения свойственны для конкретной отрасли, то они обсуждаются в соответствующей отрасли. Однако если невозможно охватить все особенности всех производств и некоторые выбросы не попадают под рассмотрение в этом документе, но могут встретиться на конкретной установке. Тем не менее, предоставленную информацию о технологических выбросах не следует считать исчерпывающей. Информация, представленная в этом разделе, относится ко всему диапазону размеров производств и операций, но не включает в себя специальные режимы пуска и закрытия. Некоторые самые маленькие величины выбросов относятся к работе только одного производства, которое пришло к этим цифрам из-за причин специфичных для своего местоположения, и результаты не обязательно являются показательными для всех НДТ (наилучших доступных технологий) для данной отрасли.

Выбросы могут значительно различаться между отраслями и между отдельными установками. Основными факторами для этого являются: трудности свойственные сырьевым материалам и продукции каждой отрасли, выбор технологии (особенно выбор стекловаренной печи), применяемая технологическая шкала и степень борьбы с загрязнениями. Если рассматривать выбросы в разных отраслях и установка, важно, рассматривать в качестве добавки к концентрации вредных примесей общее количество любого выбрасываемого вещества и выбрасываемую массу на тонну продукта или расплава.

Некоторые данные выбросов представленные в этой главе, являются, безусловно, достаточно общими и не содержат, достаточно широких диапазонов. Эти диапазоны являются типичными, но, тем не менее, предоставляют достаточно данных для сравнения с конкретными рассматриваемыми производствами. По этой причине ряд исследований таких примеров остается типичным для данных диапазонов или предоставляют примеры рабочих характеристик в пределах конкретной отрасли, и указаны во всем документе для соответствующих разделов.

3.2 *Общий обзор стекольной промышленности*

Этот раздел содержит качественный анализ этих вопросов, которые остаются общими для большинства процессов и отраслей в пределах стекольной промышленности. Специальные вопросы, относящиеся к каждой отрасли, охвачены в остальных разделах, в которых, по возможности, представлена количественная информация потребления и уровней выбросов.

3.2.1 Технологические сырьевые материалы

Основное технологическое сырье можно разделить на четыре главные категории: сырьевые материалы (такие материалы, которые формируют часть продукта), энергия (сорта топлива и электроэнергия), вода и вспомогательные материалы (технологические добавки, материалы для чистки, химикаты для очистки воды и т.д.). Вопросы энергозатрат рассматриваются отдельно в Разделе 3.2.3.

Стекольная промышленность, описанная в рамках этого документа, включает в себя много разных процессов с широким диапазоном продуктов, сырьевых материалов и технологических опций. В рамках документа такого типа невозможно, охватить все технологические сырьевые материалы даже в рамках разделов по специальным отраслям. Таким образом, этот документ сосредотачивает внимание на наиболее общих сырьевых материалах в рамках данной промышленности и таком сырье, которое оказывает самое большое влияние на окружающую среду.

Сырьевые материалы для стекольной промышленности в основном представляют собой твердые неорганические смеси, либо из природных минералов, либо из синтетических продуктов. Они варьируются от кусковых, очень крупнозернистых материалов до тонкодисперсных порошков. Также широко используются жидкости и газы, как в качестве вспомогательных материалов, так и в качестве топлива. Некоторые составы стекол варятся на основе жидких шихт, в частности, некоторые фосфатные стекла варятся с использованием ортофосфорной кислоты.

Таблица 3.1 содержит списки наиболее распространенных сырьевых материалов, используемых для производства стекла. Учитывая широкий диапазон потенциальных

сырьевых материалов, эта таблицу надо рассматривать только как ориентировочную, а не как исчерпывающую. Сырьевые материалы, используемые для формирования продукта и других работ ниже по технологической цепочке (т.е., для покрытий и связующих материалов) являются более специальными в каждой отрасли, и они анализируются в разделах ниже. Сырьевой материал, имеющий растущую важность для расплава, представляет собой пыль, возвращающуюся в цикл повторно, из технологических систем борьбы с загрязнением. Состав этой пыли зависит от природы процесса, и от применения каких-либо абсорбентов.

Таблица 3.1: Обычные сырьевые материалы, применяемые в стекольной промышленности

Сырьевые материалы	Форма	Описание	Источник/ комментарии
Материалы, формирующие стекло			
Кварцевый песок	Гранулы	Основной источник SiO_2	Добывается в карьере в виде, либо гранулированного песка, либо в виде песчаника, который соответственно размалывается, сортируется и обрабатывается, чтобы удалить примеси. Требуется высокая чистота
Технологический стеклянный бой (внутренний стеклянный бой)	Гранулы	Стекло	Стекло, возвращается в цикл повторно из процесса производства. Состав стекла идентичен с изготавливаемым стеклом
Стекланный бой, от использованных изделий (стеклянный бой, подаваемый извне производства)	Гранулы	Стекло	Стекло возвращается в цикл от сборщиков стекла. Обычно нужна предварительная очистка и сортировка стекла, от использованных изделий. Может варьироваться чистота и однородность цвета стеклянного боя.
Промежуточные и модифицирующие материалы			
Кальцинированная или безводная сода - Na_2CO_3	Гранулы	Основной источник Na_2O	Изготавливается из природной соли с использованием метода Сольвея в России, и содержит некоторое количество NaCl . Также кальцинированная сода импортируется из других стран.
Известняк (CaCO_3) и обожженная известь	Гранулы	Основной источник CaO	Природный материал добывается в карьере/шахте, размалывается и сортируется. В отрасли по производ-

Сырьевые материалы	Форма	Описание	Источник/ комментарии
			ству каменного волокна, известняк используется в виде более крупных гранул/кусков, обычно >50 мм в диаметре
Доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) и обожженный доломит	Гранулы	Источник CaO и MgO	Природный материал, который добывается в карьере, размалывается и сортируется. В отрасли по производству каменного волокна, доломит используется в виде более крупных гранул/кусков, обычно >50 мм в диаметре
Нефелиновый сиенит ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$)	Гранулы	Основной источник окиси алюминия в чистом стекле	Добывается в карьере, размалывается и сортируется. Небольшое содержание в железе. Основной источник Карелия
Оксиды алюминия	Порошок	Источник Al_2O_3	Используется в специальных стеклах
Оксид циркония	Гранулы	Источник ZrO_2	Используется в специальных стеклах
Карбонат калия	Гранулы	Источник K_2O	Используется в специальном стекле (свинцовый хрусталь, стекло для телевидения и т.д.) и является синтетическим продуктом
Колеманит	Порошок	Источник бора	Используется для непрерывных стеклонитей
Бура	Гранулы	Источник бора	Синтетический борат натрия
Борная кислота (H_3BO_3)	Порошок	Источник бора	Синтетический продукт, в основном используемый для непрерывных стеклонитей

Сырьевые материалы	Форма	Описание	Источник/ комментарии
Полевой шпат	Гранулы	Источник Al_2O_3	Основной источник глинозем в цветных натрий-кальциевых стеклах. Природный продукт
Плавиковый шпат (CaF_2)	Гранулы	Источник фтора	Природный продукт, используемый в основном для опалового стекла
Оксиды свинца	Порошок	Источник PbO	Носители PbO в свинцово - хрустальном стекле и специальном стекле
Карбонат бария	Гранулы, комки	Источник BaO	Изготавливаемый продукт, используемый в основном для специального стекла
Базальт	Гранулы	Алюмосиликат	В каменном волокне используется в виде более крупных гранул/кусков, обычно >50 мм в диаметре
Безводный сульфат натрия	Гранулы	Осветлитель и окислитель, источник Na_2O	Изготовленный продукт
Сульфат кальция и гипс	Гранулы	Осветлитель и окислитель, вторичный источник CaO	Природный материал или изготовленный продукт
Китайская глина	Порошок	Источник глинозема	Природный продукт, используемый в основном для непрерывных стекловолокон
Нитрат натрия	Гранулы	Осветлитель и окислитель, источник Na_2O	Изготовленный продукт
Нитрат калия	Гранулы	Осветлитель и окисли-	Изготовленный продукт

Сырьевые материалы	Форма	Описание	Источник/ комментарии
		тель, источник K_2O	
Оксиды сурьмы	Порошок	Осветлитель и окислитель	Изготавливаемый продукт, используемый в основном для специальных формул
Трехокись мышьяка	Порошок	Осветлитель и окислитель	Изготавливаемый продукт, используемый в основном для специального стекла и формул специального хрусталя
Шлак (Ca, Al, Mg, Fe силикат и сульфид)	Гранулы	Источник оксидов алюминия, модифицирующих оксидов, осветлительных реагентов, флюсов и красителей	Субпродукты доменной печи. Следует регулировать размер гранул для сырьевых материалов стекла
Углерод	Гранулы или порошок	Восстановитель	Изготавливаемый или обработанный природный продукт, небольшие количества, используемые для производства стекла со сниженным состоянием окисления во время изготовления зеленого, янтарного и иногда прозрачного стекла. Используется для боросиликатных стекол
Хлорид натрия	Кристаллы	Осветлитель	
Красители			

Сырьевые материалы	Форма	Описание	Источник/ комментарии
Железистый хромит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$)	Порошок	Краситель	Добывается в карьере, размалывается и сортируется. Железистый хромит представляет собой краситель, используемый для производства зеленого стеклнной тары и окрашенного листового стекла
Оксид железа (Fe_2O_3)	Порошок	Краситель	Изготавливаемый продукт, используемый в основном в качестве красителя для зеленых и янтарных стекол
Оксид титана оксид ко- бальта	Порошок	Краситель	Изготавливаемый продукт, используемый в основном в качестве красителя для янтарного боросиликатного стекла
Селеновый метал/цинк или селенит натрия	Порошок	Краситель	Изготавливаемый продукт, применяемый как в качестве вещества для обесцвечивания, так и краситель, чтобы произвести голубое стекло

Стекольная промышленность в целом не является основным потребителем воды, основные виды ее использования сводятся к охлаждению, очистке и увлажнению партии продукта. Некоторые отрасли используют воду для других целей, которые будут проанализированы в разделах для специальных отраслей. Где это целесообразно, водяные контуры представляют собой замкнутые схемы с подпиткой воды, чтобы возобновить потери на испарение. Вода может поступать из центрального водопровода или из природных источников.

Термин «вспомогательные материалы» используется, чтобы описать вещества, которые применяются в производстве продуктов, но которые не формируют часть готового продукта; например, олово и водород, используемые в флоат-ваннах, кислород в кислородно-топливных системах горения, двуокись серы в обработке поверхности листового стекла (и иногда стеклянной тары), и в охлаждающих смесях и шлифовальных оксидах, применяемых для производства свинцового хрусталя. Эти типы материалов являются весьма специальными в каждой отрасли, и они анализируются в разделах ниже. Влияние этих материалов на технологические выбросы варьируется от случая к случаю. Влияние некоторых может быть значительным, т.е., в случае с кислотным полированием, а у других влияние слабое, как выбросы олова в флоат-ванне.

Производство стекла является энергоемким процессом, и, таким образом, сорта топлива представляют собой значительные сырьевые материалы для технологии. Основными источниками энергии в рамках стекольной промышленности являются природный газ и электричество. Вопросы энергии и топлива обсуждаются в разделе 3.2.3 и в разделах для специальных отраслей.

3.2.2 Технологические готовые продукты

Основные технологические готовые продукты можно разделить на пять главных категорий: продукты, выбросы в воздух, потоки жидких отходов, твердые технологические отходы и энергию. Совокупности жидких и твердых отходов можно вернуть в цикл для повторной переработки. В общем, стекольные установки не обладают значительной совокупностью побочного продукта или субпродукта. Тем не менее, становится все более общепринятой практикой, когда материал, которые нельзя утилизировать иным об-

разом, как только не в виде потока отходов, следует конвертировать в форму товарной продукции (даже бесплатной) для использования либо в форме исходного сырья для других процессов, либо для конечного продукта.

В общем, производство стекла предусматривает стекловарение значительного количества материалов, таких как оксиды металлов, карбонаты, сульфаты и нитраты. Во время стекловарения эти вещества разлагаются на составные части, испускают газы, такие как диоксид углерода, водяные пары и оксиды серы и азота. Компоненты шихты могут также содержать влагу (между 0 и 4 %, входящую в состав физически или химически), и при нагреве такого компонента освобождается водяной пар. В общем, между 3 и 20 % веса исходной смеси может испаряться в виде газообразных веществ. Если используются высокие уровни стеклянного боя, цифра может быть ближе к нижнему краю этого диапазона (1 тонна стеклянного боя заменяет примерно 1,2 тонны первичного сырья для производства натрий-кальций-силикатных стекол).

Технологии производства других продуктов могут включать в себя шум и запахи. Шум происходит от ряда работ, включая следующее: вентиляторы, электродвигатели, погрузку материала, конвейерные ленты для стекольной продукции, движение автотранспорта, инжиниринговые работы, и системы сжатого воздуха. Шум не рассматривается как конкретная проблема в стекольной промышленности. Тем не менее, ясно, что источники шума существуют и могут привести к проблемам в некоторой непосредственной близости к ним. В общем, любые проблемы можно решать с помощью хорошего проектирования, а при необходимости с помощью техники борьбы с шумом. Некоторые методы и средства борьбы с загрязнениями также требуют контроля за шумом, что может влиять на совокупную стоимость техники. Обычно запахи не являются проблемой в рамках стекольной промышленности, но они происходят от определенных работ, и могут потребоваться меры, чтобы не допустить проблем на стороне. Основные работы, которые могут быть связаны с проблемами запахов, включают в себя отжиг минерального волокна, предварительный нагрев стеклянного боя и иногда хранение.

3.2.2.1. Выбросы в воздух

3.2.2.1.1 Выбросы твердых примесей в атмосферу

Применительно к целям настоящего документа, термин 'твердые примеси в атмосфере' используется для обозначения всего материала, твердого в точке измерения, и для выбросов загрязняющего вещества от деятельности, связанной с варкой стекла, считается синонимичным с термином пыль. Оба этих термина используются взаимозаменяемо на всем протяжении данной главы. Термин 'суммарное содержание твердых примесей в атмосфере' используется для обозначения всех неорганических и органических твердых (без нижнего предельного размера) и жидких материалов (мелкие капли и аэрозоли), которые могут присутствовать в топочных газах. Температура в точке измерения особо важна для стекловаренных печей, потому что некоторые из формирующих пыль материалов (в частности бораты) могут быть летучим веществом при весьма низких температурах. Также природа пыли от этих процессов сильно осложняет выполнение точных измерений. Природа выбросов пыли из стекловаренных печей отличается для различных процессов, но зависит главным образом от конструкции и работы печи, и от состава стекла. Три первичных источника пыли от стекловарения:

- механический вынос компонентов шихты
- испарительный перенос и реакция веществ из компонентов шихты и расплавленного стекла
- металлические примеси в топливе.

Вторичный источник выбросов пыли относится к процессу стекловарения в виде твердых продуктов, выделяющимися при химической реакции между газообразными загрязнителями и щелочными реагентами, использованными для обработки отработавшего газа.

Для печей, работающих на органическом топливе, испарительный перенос и последующая реакция/конденсация летучих веществ выделяемых из горячей поверхности стекла, представляет собой, безусловно, наибольшую пропорцию общего количества выбросов пыли. Как правило, 80 – 95 % выбросов пыли выбрасываются таким образом. Поэтому важно следить за тем, чтобы какие-либо группы летучих соединений конденсировались до того, как отработавший газ будет обработан или измерен. Это не является проблемой для сульфата натрия (точка стекловарения приблизительно 884 °C), но является фактором, который необходимо учитывать, для топочных газов, содержащих бораты.

Механический вынос компонентов шихты обычно представляет собой менее 5 % окончательных выбросов загрязняющего вещества из современной, хорошо эксплуатирующейся печи. Эта пыль состоит из компонентов шихты, в которых преобладают самые легкие материалы.

Металлические примеси в топливе (ванадий и никель) способствуют выбросам пыли, но уровень их обычно значительно ниже 5 % от общего количества. Эти примеси привносятся главным образом мазутом, который может также добавлять небольшое количество золы к общему количеству загрязнений. Металлические примеси также имеются в стекольном бое и другом сырье.

Механизмы испарительного переноса материалов и химического состава твёрдых частичек полностью не поняты для всех типов стекла. В частности для богатых SO_2 топочных газов (печи, работающие на мазуте) механизм образования твёрдых частичек скорее является комплексным при температурах ниже 400°C , с различными соединениями, которые могут быть сформированы (кислый сернокислый натрий (NaHSO_4), пиросульфат натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$) и серная кислота (H_2SO_4)), которые могут оказывать сильное влияния на достоверность измерений концентрации твёрдых частичек, если их не принимать во внимание. Приблизительно 90 % всего стекла, произведенного в России, являются натрий-кальций-силикатным стеклом, и большинство информации доступно для этих составов. Пыль от печей для варки натрий-кальций-силикатного стекла преимущественно компонуется из сульфата натрия. До 98 % пыли состоит из растворимых материалов; из них – 80-90 % сульфат натрия. Оставшаяся часть будет зависеть от точного состава стекла, но будет содержать главным образом сульфаты, в частности сульфат калия (K_2SO_4). Нерастворимая фракция содержит главным образом кварц, с меньшими уровнями металл (например, Al, Fe и Cr). Если используется привозной стекольный бой, пыль может содержать другие компоненты (например, Pb). Диаметр частицы находится обычно в интервале от 0,02 до 1 мкм, но мелкие твёрдые частички легко собираются в большие частицы. Последние исследования показали, что твердые примеси в атмосферу в выбросах загрязняющего вещества из печи для варки листового стекла компонуются из частиц с диаметром в интервале от 0,02 до 2 мкм со средним диаметром 1,3 мкм в необработанном и в очищенном отработавшем газе. Можно различать несколько раз-

личных процессов испарительного переноса, и они обсуждаются в приведенном ниже Разделе 4.4.1.1.

Для стекол, в составе которых содержатся существенные уровни бора (например, стекловолокно из непрерывной нити, стекловата и боросиликатное стекло), бораты являются основным компонентом выделяемой пыли. Оставшаяся часть будет составлена из сульфатов, кварца и других соединений (например, доломит, окись кальция), зависящих от компонентов шихты и примесей.

Так как составы шихты могут значительно отличаться для различных типов стекол, возникающие выбросы пыли также разнообразны и имеют различные механизмы образования. Основные разновидности бора, испаряющиеся из расплавов стёкол, являются метаборнокислым натрием (NaBO_2), метаборнокислый калий (KBO_2) и метаборная кислота (HBO_2).

В производстве минеральной стекловаты состав шихты содержит высокие уровни окиси бора, а также большие количества оксида натрия, которые во время стекловарения испаряются, и впоследствии формируют твердый метаборнокислый натрий (NaBO_2) при температурах ниже $900\text{ }^\circ\text{C}$, вплоть до $650\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$. Небольшие количества бора выделяются в газообразной форме, главным образом в виде метаборной кислоты (HBO_2). Химический состав пыли главным представлен в виде щелочных боратов с более низкими уровнями борных кислот.

Ситуация отличается для других типов стекла, которые содержат бор. Для боросиликатных стекол с низкой щелочностью (например, стекло марки Е, которое содержит бор, для производства стекловолокна из непрерывной нити), низкая концентрация щелочных окисей (обычно около 1 % по массе) влияет на механизм образования пыли, приводя к доминирующему испарению метаборной кислоты (HBO_2). Во время охлаждения топочного газа, в то время как почти весь натрий и калий будут конденсироваться в форму сульфатов (вызываемую присутствием SO_2 при освещении расплавленного стекла с помощью сульфата натрия) и, в меньшей степени, щелочных боратов, газообразные соединения бора могут реагировать в форме другой разновидности, такой как борная кислота (H_3BO_3): $\text{HBO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3$. Борная и метаборная кислота демонстрируют низкие температуры конденсации, и они могут по-прежнему присутствовать (в частности борная кислота) в топочных газах в газообразной форме при температурах фильтра-

ции. В этом случае, большинство разновидностей борной кислоты будет присутствовать в топочном газе в виде газообразных соединений при температурах ниже 200 °С, но также уже и при 60 °С.

Что касается боросиликатных стекол, механизм образования пыли сильно влияет на производительность систем фильтрации по удалению разновидностей бора, присутствующих в топочном газе. Состав отработавшего газа, рабочая температура системы фильтрования, тип поглощающего агента и точка впрыска, расположенная выше системы фильтрования, чрезвычайно важны для улавливания газообразных соединений бора.

Во многих случаях, когда в топочном газе стекловаренной печи присутствуют газообразные соединения бора, содержание твёрдых частичек (по результатам измерений) сильно зависит от примененного метода измерения и от температуры отработавшего газа в месте отбора проб. По этим причинам, для того, чтобы провести различие между твёрдыми частичками и газообразными соединениями бора в топочном газе, должна быть применена специальная методика измерений.

В настоящее время имеется несколько текущих и запланированных научных исследований по вопросам уменьшения газообразных соединений бора в топочных газах боросиликатных стекол. В свинцовом стекле (стекло для кинескопов и хрустальное стекло), испарительный перенос свинца будет создавать окись свинца или иногда конденсаты сернокислого свинца.

В стекловаренных электрических печах с холодным сводом выбросы пыли гораздо меньше и возникают почти исключительно из механического выноса компонента шихты. Отсутствие высокотемпературной атмосферы сгорания устраняет образование твердых примесей в атмосфере вследствие реактивного испарительного переноса.

В стекловаренных вращающихся печах для варки базальтового волокна выбросы пыли являются комбинацией пыли исходного материала, продуктов горения, и конденсированных летучих веществ, выделяемых во время стекловарения.

Выбросы в воздух металлов от процессов варки стекла в значительной степени содержатся в твердых частицах. Поэтому в этой главе металлам уделяется внимание отдельно, а они обсуждаются применительно к выбросам пыли и, где необходимо, в других разделах приводятся списки литературы. Однако, при некоторых обстоятельствах могут быть значительные выбросы металлов в газообразном состоянии, например, селе-

на из бронзы или обесцвеченных стекол, свинец при некоторых процессах производства свинцового хрусталя или специального стекла, или от примесей в привозном стекольном бое (в частности свинец, см. ниже).

Основными источниками металлов являются примеси в сырье, стекольном бое и топливе, и использовании определенных веществ и добавок в химическом составе шихты, используемом, чтобы придать стеклу определенных свойств (например, окиси свинца, и красители/обесцвечивающие средства). Привозной стекольный бой является существенным источником металлических примесей в частности свинца (стекольный бой тарного стекла представляет собой первоначальное загрязнение от свинцовых стекол), но также и для прочих металлов; например, ртутное загрязнение может возникнуть, если стекольный бой содержит люминесцентные лампы с парами ртути. Информация об уровнях выброса металлов предоставлена в относящихся к конкретному сектору производства стекла разделах в Главе 3 и в Таблице 3.5.

Имеются три основных подхода для контроля выбросов металлов либо в пыли, либо в виде газообразных компонентов:

1. Выбор сырья для минимизации загрязнения и, при наличии возможности, для использования альтернативных добавок. Выбор сырья включает в себя спецификации на качество стекольного боя. Там, где используется только собственный стекольный бой вследствие ограниченной доступности привозного стекольного боя, выбросы металлов контролировать намного легче.

2. Технологии снижения запыленности, в частности системы мешочных пылеуловителей и электростатические пылеуловители. Там, где выбросы загрязняющего вещества содержат значительную концентрацию металлов, до 70 – 80 % от общего количества пыли (то есть производство свинцового хрусталя), высокоэффективные системы снижения запыленности могут обычно уменьшить и количество пыли, и количество выбросов металлов.

3. Выбросы металлов в газообразном состоянии (например, селена) могут быть значительно уменьшены путем применения технологии сухой или полусухой газоочистки в сочетании со снижением запыленности (см. Раздел 4.4.3.3).

В некоторых случаях, и в частности в Германии, главным фактором в движущей силе для установки оборудования для снижения запыленности в сочетании с сухой или полусухой газоочисткой, был уменьшение выбросов металлов.

Факторы, используемые при определении наилучших имеющихся технологий для обеспыливания в стекловаренных печах, следующие:

- воздействие пыли на окружающую среду
- технологии для снижения первичных и вторичных выбросов в связи с наилучшими имеющимися технологиями
- экономия за счет роста производства и связанные вопросы стоимости.

Воздействие пыли на окружающую среду

Соответствующие аспекты выбросов пыли с экологической точки зрения являются выбросами пыли в целом, потенциальными выбросами (тяжелых) металлов и выбросы мелких твердых частиц.

Как сообщалось выше, в натриево-кальциево-силикатных стеклах основным компонентом пыли является сульфат натрия (до 95 %). Сам по себе сульфат натрия не считается вредным. Однако, выброс частиц с диаметром менее чем 10 мкм (PM_{10}) и менее чем 2.5 м (PM_{25}), который обычно является выбросами загрязняющего вещества из стекловаренных печей, представляет собой потенциальную угрозу для здоровья и вред окружающей среде и, поэтому, ему уделяется возрастающее внимание от директивного органа, определяющего экологическую политику.

Несколько разновидностей металла также могут оказаться в твердых частицах из стекловаренных печей. Основными представляющими интерес компонентами являются селен (Se), свинец (Pb), хром (Cr), медь (Cu), ванадий (V), никель (Ni), сурьма (Sb), мышьяк (As), кадмий (Cd), цинк (Zn) и марганец (Mn). Выбросы этих компонентов сильно зависят от количества и качества используемых утилизируемых отходов стекла (стекольный бой), независимо от того используется ли топочный мазут или нет, и добавления металла в состав шихты для того, чтобы окрасить и/или обесцветить стекло.

Конечным пунктом рассмотрения является потенциальная конденсация газообразных компонентов после дымовой трубы, которая может возникнуть главным образом в содержащих бор стеклах, при этом часть газообразных соединений бора может пройти

через оборудование снижения запыленности и конденсироваться после попадания в атмосферу.

Методы борьбы с выбросами пыли

Описание применимых методов борьбы с первичным и вторичным загрязнением для уменьшения выбросов пыли из стекловаренных печей приводится в Разделах 4.4.1.1 - 4.4.1.6.

В рамках стекольной промышленности широко применяются методы борьбы с вторичным загрязнением (например, электростатические пылеуловители и мешочные фильтры), и 100 % печей в некоторых государствах-членах снабжены оборудованием для борьбы с вторичными выбросами в виде пыли. На настоящий момент потребность в уменьшении выбросов мелких твердых частиц, кислотных компонентов и (тяжелых) металлов сделала применение мер борьбы с вторичным загрязнением наилучшим вариантом с точки зрения выбросов загрязнителей в воздух. С другой стороны, внедрение вспомогательных мер предусматривает существенные финансовые затраты, и определенные затраты на мероприятия по защите окружающей среды.

Вообще говоря, положительные аспекты мер борьбы с первичным загрязнением в техническом смысле отодвигаются на задний план намного лучшим выполнением мер борьбы с вторичным загрязнением и отсутствием перспективы достижения такого рода низких значений в мерах борьбы с первичным загрязнением в ближайшем будущем. Кроме того, исключительное использование мер борьбы с первичным загрязнением для уменьшения выбросов пыли могло ограничить гибкость эксплуатационного режима печи с точки зрения качества загружаемый материал (малое количество загрязняющих веществ: фториды, хлориды, тяжелые металлы), типа топлива (малое количество серы и тяжелых металлов) и изменения продукции (окрашенные или обесцвеченные стекла).

Экономия за счет роста производства и связанные вопросы стоимости

Как правило, меры борьбы с вторичным загрязнением для пыли в стекольной промышленности считаются доступными, технически жизнеспособными и, в подавляющем большинстве случаев, экономически целесообразными.

Однако, как и в случае с какой-либо вспомогательной технологией, экономия за счет роста производства является важным аспектом. Это значит, что для небольших печей, а именно для малой или очень малой печи для производства столовой посуды (сортовое стекло), производящей менее 80 т/сутки высококачественной стеклянной посуды из натриево-кальцево-силикатное стекла, у которой содержание металлов в выбросах загрязняющего вещества очень низкое, относительная стоимость (стоимость в расчете на м³ при нормальных условиях обработанного топочного газа или в расчете на тонну расплавленного стекла) обычно выше, чем для больших печей. Затраты зависят от варианта применения и, в том числе, от объема отработавшего газа. Определенные затраты в расчете на тонну расплавленного стекла могут значительно измениться в зависимости от типа произведенного стекла и размера печи. Экономия за счет роста производства, вероятно, придется принять во внимание, определяя наилучшие имеющиеся технологии в общих чертах вместе с экологическими выгодами: удаление мелких твердых частиц, металлов (если они присутствуют) и очистка газа, содержащего сероводород (если они присутствуют), и влияние загрязнения одной среды на другую в результате образования отходов (если вторичная переработка невозможна), потребление энергии и косвенные выбросы от использования электроэнергии и щелочных реагентов.

3.2.2.1.2 Пылевые выбросы от движения сырьевых материалов

Все отрасли в рамках стекольной промышленности используют порошкообразные, гранулированные или порошкообразные сырьевые материалы. Хранение и погрузка указанных материалов представляет собой значительный потенциал для пылевых выбросов. Движение материалов внутри систем, включающих в себя силосы (бункеры) и смесительные камеры приводит в результате к перемещению воздуха, который при отсутствии контроля, может содержать очень высокие концентрации пыли. Это особенно верно, если используются системы пневматической передачи. Передача материала с использованием конвейерных систем и ручная погрузка может также вести к значительным пылевым выбросам.

Многие процессы в стекольной промышленности несут использование стеклянного боя (или внутреннего, или полученного извне), который может требовать сортировки

и размола перед подачей в печь. Как и другие аналогичные процессы, эта работа обладает потенциалом для пылевых выбросов. Уровни выбросов зависят от факторов, таких как планировка производства, от наличия вытяжки с фильтром до выпуска в воздух, от того, насколько герметично здание и т.д. Некоторые процессы включают в себя использование летучих жидкостей, что может вести к испусканию в воздух из резервуара, т.е., потери от испарения, и от перемещения паров во время передачи жидкости.

Стекловарение

Среди многих процессов, попавших в объем данного документа, самым большим потенциалом для возникновения загрязнения окружающей среды являются плавильные работы. В общем, основными загрязняющими веществами для окружающей среды являются следующие:

- ∞ Продукты горения ископаемого сорта топлива и высокотемпературное окисление азота в атмосфере горения (т.е., двуокись серы, диоксид углерода и оксиды азота).
- ∞ пылевидные вещества, образующиеся в основном из свойства летучести (испаряемости) и последующей конденсации летучих компонентов шихты.
- ∞ Газы, исходящие при разложении сырьевых материалов и из расплава во время процессов стекловарения.

В случае использования 100 % электронагрева с холодным верхом, выбросы продуктов горения и термически создаваемых веществ NO(x) (оксидов азота) удалены, и конкретные выбросы возникают в принципе из-за механических перемещений шихты. Частичное замещение сжигания ископаемого топлива на электроподогрев снижает прямые выбросы от установки в зависимости от уровня замены и конкретных условий горения. Кислородное сжигание топлива сильно снижает уровень азота в печи и, соответственно снижает потенциал для образования NO(x) (оксидов азота). Обычно существуют выбросы вне площадки предприятия, связанные с производством электричества и кислорода, что надо учитывать во время оценки общего влияния на окружающую среду.

Печи, встречающиеся в рамках стекольной промышленности, и в пределах каждой отрасли значительно варьируются по размеру, мощности, технике стекловарения, компоновке, возрасту, применяемым сырьевым материалам и средствам борьбы с загрязнением. Таким образом, существует значительный разброс в сообщениях о выбро-

сах. Есть также значительные различия в методологиях, используемых для замеров выбросов, и это может сделать прямые сравнения некоторых фактических данных такими, что они будут создавать ложные представления. Минимальные величины не всегда являются показательными для самых лучших рекомендаций и могут только отражать более благоприятные эксплуатационные условия (т.е., стабильные высокие объемы производства, или смеси с низкими выбросами) или производства с более низким количеством готовой продукции. Ясно, что многие производства с небольшим количеством выпускаемой продукции представляют собой такие современные предприятия с продвинутыми мерами по борьбе с загрязнением, или «чистые» технологии.

Выбросы в воздух обычно представляются в качестве концентраций (мг/м^3) или в качестве массовых выбросов (кг/т стекла). Все величины, данные в виде концентраций, относятся к стандартным условиям: сухой газ, температура 273 К, давление 1013 ГПа. Если иного не указано, стандартные условия для чисел, представленных в разделах главы 3 и в следующих главах, даны в Таблице 3.2.

Таблица 3.2: Эталонные условия данных выброса

Эксплуатационные условия	Единица измерения	Эталонные условия
Работы по плавлению		
Обычные печи (плавильные печи непрерывного действия)	мг/м^3	8 % кислорода по объему
Обычные печи (плавильные печи прерывистого действия)	мг/м^3	13 % кислорода по объему
Печи на кислородном топливе	кг/т расплавленного стекла	Использование специальных массовых выбросов (кг/т расплавленного стекла) является более подходящим. Однако если есть сообщения о концентрациях вредных примесей, то не применяется корректировка эталонного кислорода.

Электрические печи	кг/т расплавленного стекла или мг/м ³	Корректировки концентраций вредных примесей для эталонного кислорода не применяется
Печи для стекловарения фритты (керамики) (1)	кг/т расплавленного стекла или мг/м ³	Концентрации относятся к 15 % кислороду по объему. Специальные массовые выбросы относятся к одной тонне расплавленной фритты.
Все типы печей	кг/т расплавленного стекла	Специальные массовые выбросы относятся к одной тонне расплавленного стекла.
Работы, не относящиеся к плавлению		
Все процессы	мг/м ³	Нет корректировок кислорода
Все процессы	кг/т стекла	Специальные массовые выбросы относятся к одной тоне изготовленного стекла.
(1) Использование концентраций (мг/м³) или массовых выбросов (кг/т стекла) зависит от эксплуатационных условий (сжигание кислородного топлива, обогащенное кислородом сжигание смеси воздух/газ). Основные выбросы, происходящие от плавильных работ в рамках стекольной промышленности, приведены в порядок в Таблице 3.3.		

Таблица 3.3: Обзор выбросов в атмосферу, происходящих при стекловарении

	Источник/ комментарии
Пылевидные вещества	Испарение/летучесть компонентов шихты из расплавленного стекла и последующая конденсация в субмикронные пылевидные частицы.

	Источник/ комментарии
	Механические перемещения тонкого материала в продукте шихты для сгорания некоторых ископаемых сортов топлива
Оксиды азота	Нагретый NO(x) из-за высоких температур стекловарения и быстрое образование веществ NO(x). Разложение смесей азота в компонентах шихты. Окисление азота, содержащегося в сортах топлива.
Оксиды серы	Сера в топливе Разложение смесей серы в компонентах шихты до частиц от процесса горения с сульфатами. Окисление сульфида водорода в ходе работ в печи на горячем дутье.
Хлориды /HCl	Присутствует в качестве загрязнения в некоторых сырьевых материалах, особенно синтетической кальцинированной соде и стеклянном бое, получаемом и вне. NaCl используется в качестве сырья (осветлителя) в некоторых специальных стеклах
Фториды /HF	Присутствует в качестве небольшого загрязнения в некоторых сырьевых материалах, включая стеклянный бой, получаемый извне. Добавляется в качестве сырьевого материала в производство эмалевой фритты, чтобы обеспечить определенные свойства готовому продукту. Добавляется в качестве сырья в отрасли по производству непрерывного стекловолокна, чтобы влиять на процесс формирования (натяжение на поверхности) и в некоторые виды стекольной шихты, чтобы улучшить осветление расплава или придать глушащие свойства. Если в смесь добавляются фториды, обычно это плавиковый шпат, криолит или кремнефтористый натрий, то появляется высокая вероятность неконтролируемой утечки.
Тяжелые металлы (т.е., V, Ni, Cr, Se, Pb, Ti, Co, Sb, As, Cd)	Присутствует в качестве небольших загрязнений в некоторых сырьевых материалах, стеклянном бое, от использованных изделий, и сортах топлива. Используется во флюсах и красителях в отрасли фритты особенно для эмалевых фритт (в основном свинец и кад-

	Источник/ комментарии
	мий). Используется в некоторых специальных составах стекла (т.е., свинцовый хрусталь и некоторые цветные стекла). Селен используется в качестве красителя (бронзовое стекло) или в качестве обесцвечивающего средства в некоторых прозрачных сортах стекла, а также может генерировать, как газообразные, так и твердые выбросы.
Диоксид углерода	Продукт горения Испускается после разложения карбонатов в компонентах шихты (т.е., поташа, известняка).
Монооксид углерода	Продукт неполного сгорания, особенно в печах горячего дутья.
Сульфид водорода	Формируется из сырьевого материала или серы топлива в печах горячего дутья из-за условий восстановления, существующих в частях этой печи.
Оксиды бора	Образуются при высокотемпературном разложении борной кислоты и других соединений бора. Испаряется от 2 до 10 % от общего введенного в шихту количества в зависимости от объема стекловаренной печи и температурно- временных параметров варки.

Концентрации тяжелых металлов и рассеянного элемента в выбросах могут быть значительными из-за некоторых процессов и обычно присутствуют в пыли. Таблица 3.4 дает классифицирующие группы, обычно используемые для выбросов металлов на основе их оценки относительно потенциального влияния на окружающую среду.

Таблица 3.4. Классификация металлов и их смесей

Группа 1 металлов и их смесей	Группа 2 металлов и их смесей
Мышьяк	Сурьма
Кобальт	Свинец
Никель	Хром III

Группа 1 металлов и их смесей	Группа 2 металлов и их смесей
Селен	Медь
Хром VI	Марганец
Кадмий	Ванадий
	Олово

Некоторые практические примеры уровней выбросов представлены в Таблице 3.5, которая показывает достижимые максимумы величин для тяжелых металлов.

Таблица 3.5: Потенциальные выбросы тяжелых металлов производства стекла без борьбы с загрязнением

Металл	Тарное стекло, мг/м ³	Листовое стекло, мг/м ³	Стекло свин- цовый хру- сталь, мг/м ³
Ванадий (если сжигается мазут)	До 4	До 2	
Никель (если сжигается мазут)	До 0.5	До 0.4	
Хром, всего (зеленое стекло)	До 3		
Селен, всего (зеленое, тарное стекло)	До 0.8		
Селен, газообразный (оптическое полое стекло)	До 14		
Селен, всего (оптическое (флинт) полое стекло)	До 25		
Селен, всего (флоат бронзовое стекло)		До 80	
Свинец	До 4	До 1	До 700
Кадмий	До 0.3	До 0.1	
Сурьма			До 10
Мышьяк			До 20

Работы дальше по технологической цепочке.

Этот термин используется, чтобы описать работы, выполняемые после стекловарения, например, формование, отжиг, нормализация, нанесение покрытия, обработка и т.д. Выбросы от работ дальше по технологической цепочке могут сильно варьироваться между разными отраслями, причем их анализ дается в разделах для специальных отрас-

лей. Хотя многие отрасли используют некоторые похожие техники стекловарения, работы дальше по технологической цепочке имеют тенденцию оказаться эксклюзивными для каждой отрасли. В общем, выбросы в воздух могут происходить от следующих работ:

- нанесения покрытия и/или сушки;
- любых работ, выполняемых на материалах, таких как резание, шлифование;
- вторичная обработка;
- некоторые операции по формированию продукта.

Диффузионные выбросы и непредусмотренные выбросы газа в атмосферу

Диффузионные выбросы и непредусмотренные выбросы газа в атмосферу могут быть связаны с разными операциями процесса изготовления стекла; однако, в общем, они не представляют собой основной озабоченности для отрасли. Основными источниками диффузионных/непредвиденных выбросов, общих для всех отраслей стекольной промышленности являются следующие области:

- хранение и погрузка материала
- зона загрузки печи (загрузочный/засыпной карман)
- Стекловаренная печь.

Хранение и погрузка материала

Твердые выбросы могут возникать от песка и/или стеклянного боя, сложенного в открытых местах и утечек (просыпок) из бункеров хранения. Газообразные выбросы могут происходить от хранения и погрузки летучих жидких и/или газообразных химикатов в основном относящихся к работам ниже по технологической цепочке или к обработке топочных газов (т.е., резервуар хранения аммиака). В общем, влияние диффузионных/непредвиденных выбросов в рабочих зонах попадает под регулирование/законодательство о защите здоровья и обеспечении безопасности на работе, что включает в себя информирование и соответствие.

Зона загрузки печи (загрузочный карман)

Твердые и газообразные выбросы могут происходить от механических перегрузок, испарений и реакций разложения во время загрузки порций шихты в стекловарен-

ную печь. В общем, зона загрузки (загрузочный/засыпной карман) по возможности со-
держится в закрытом положении, чтобы не допустить проникновение воздуха и диффу-
зионные выбросы. В некоторых случаях зону загрузочного/засыпного кармана можно
оборудовать системами вытяжной вентиляции с выгрузкой снаружи или менее часто
выгружать внутри здания ближе к кровле: в других случаях для специальных типов пе-
чей загрузочный/засыпной карман делается полностью герметичным.

Стекловаренная печь

Диффузионные выбросы могут происходить от горения газов ископаемого топли-
ва и от явления испарения/конденсации летучих компонентов состава шихты. Плавиль-
ная печь не может быть полностью герметичной из-за смотровых отверстий, отверстий
для горелок/форсунок, и зазоров между огнеупорными кирпичами. Оценку объема не-
предусмотренных выбросы газа в атмосферу можно выполнить с помощью баланса мас-
сы значительного загрязняющего вещества, т.е., двуокиси серы, показав, что количество
отходящих газов, ускользающих из печи достаточно невелико по сравнению с общим
объемом газа, производимым во время стекловарения.

3.2.2.2. Выбросы в воду

Выбросы в водную среду при производстве стекла относительно низки и суще-
ствует несколько основных вопросов, которые специфически относятся к стекольной
промышленности. Вода используется в основном для очистки и охлаждения, и ее можно
легко вернуть в цикл повторно или очистить с использованием стандартной техниче-
ских приемов.

Для многих работ нужны некоторые жидкости часто ограниченные химикатами
очистки воды, смазками и мазутом. Все жидкие сырьевые материалы несут потенциа-
льную угрозу окружающей среде из-за протечек или невозможности устранить угрозу
окружающей среде. Во многих случаях лучшие рекомендации и проектирование явля-
ются достаточными средствами, чтобы контролировать потенциальные выбросы. Спе-
циальные вопросы, относящиеся к водным выбросам, анализируются в разделах для
специальных отраслей. В качестве примера типичная карта технологического потока для

распределения воды промышленности по изготовлению стеклянной тары представлена на Рисунке 3.1.



Рисунок 3.1: Типичное распределение воды при производстве стеклянной тары

3.2.2.3. Выбросы других отходов

Характеристика большинства отраслей стекольной промышленности представляет собой значительное большинство стекольных отходов, создаваемых внутренним образом с последующей переработкой/возвращением их в цикл и обратно в печь. Основным исключением является отрасль производства непрерывных стеклонитей и предприятия по производству очень высококачественных продуктов из специального стекла и отрасли производства сортовой посуды. Отрасли минерального (стеклянного) волокна и фритты показывают широкие вариации по количеству отходов, проходящих переработку/возвращение в цикл и в печь в диапазоне от 0 до почти 100 % для некоторых производств каменного волокна. Производство прочих отходов включает в себя отходы, начиная от подготовки и погрузки сырьевых материалов, отложение отходов (обычно сульфатов) в отходящих печных газах и отходы огнеупоров в конце срока службы печи.

В некоторых отраслях стекольной промышленности огнеупоры, которые содержат хром, используются для строительства верхних частей стен, венцов и печак-

регенераторах. Если хром соединяется с магнием, чтобы создать магниевый - хромистый кирпич, который обладает сопротивлением к механическим перегрузкам шихты и продуктам горения при высоких температурах, которые существуют в камерах печей регенераторов. Хром используется для подготовки этих материалов, Cr^{3+} , является важным безопасным материалом с низкой растворимостью и представляет собой небольшой риск. Однако при высоких температурах в щелочных и кислотных условиях небольшие количества хрома конвертируются в Cr^{6+} во время работы/кампании печи. Смеси с Cr^{6+} , являются очень растворимыми, токсичными и канцерогенными.

Как и в случае со всеми печными отходами, прилагаются все усилия, чтобы к концу кампании (цикла работы) печи иметь все материалы переработанными/возвращенными в цикл. Если это невозможно, то содержание Cr^{6+} , использованное для магниевых-хромовых огнеупоров, определяется, чтобы обеспечить их правильную классификацию и утилизацию, как это общепринято. Промышленность постепенно снижает количество огнеупоров, которые содержат хром за счет развития и перепроектирования.

Может быть использован небольшой тоннаж высокочистых хром-оксидных огнеупоров. Обычно их покупают при условии, что после цикла работы печи, их забирает изготовитель для переработки. Большие количества этого материала используются для производства в печах непрерывных стеклонитей.

3.2.3 Энергия

Производство стекла является энергоемким производством и выбор источника энергии, способа нагрева и рекуперации тепла является центральным вопросом проектирования печи. Аналогичный выбор также относится к большинству важных факторов, влияющих на характеристики окружающей среды и энергоэффективность плавок. Таким образом, одним из наиболее важных типов сырьевых материалов для процесса производства стекла является энергия, и два основных источника энергии представляют собой природный газ и электричество. Исключением здесь является изготовление каменного волокна, в котором доминирует техника стекловарения в виде печей горячего дутья с топливом в виде кокса. Тип используемой энергии обладает прямым влиянием на вы-

бросы загрязняющего вещества в воздух (т.е., SO(x) от топлива, содержащего серу, или NO(x) (оксиды азота) от природного газа, содержащего значительные количества азота и т.д.). Это также влияет на то, насколько выбросы могут исходить напрямую с площадки или непрямым образом из-за пределов площадки.

За последние десятилетия доминирующим топливом для производства стекла стал природный газ. Многие крупные печи оборудованы так, чтобы работать, как на природном газе, так и на мазуте, и нет ничего необычного, если в печах с доминирующим сжиганием газа будут одна или две горелки, использующие мазут. Также становится все более обычным смешивать мазут и газ в одной горелке.

Вторым общепринятым источником энергии для производства стекла является электричество, которое может быть использовано, как один источник энергии, либо в сочетании с ископаемым топливом. Электронагрев представляет собой единственный способ, который оказался распространенным коммерческим техническим приемом в рамках стекольной промышленности. Только не прямой электрический нагрев можно использовать для очень маленьких резервуаров и тигельных печей или в виде нагревающей части резервуара (т.е., как выработочная часть или форкамера).

В общем, энергия необходимая для стекловарения стекла насчитывает более 75 % от всего потребления энергии стекольного производства. Другими значительными областями использования энергии являются форкамеры, процесс формования, нагрев оборудования и общие службы. Типичное использование энергии для отрасли стеклянной тары, которое насчитывает примерно 53 % готовых продуктов стекольной промышленности, составляет для печи 79 – 82 %; для форкамер 6 %; сжатого воздуха 4 %; леер для отжига 2 %; и прочее 6 %.

Следует отметить, что на протяжении всего этого документа данные по энергии относятся к энергии в точке использования, но они не скорректированы в отношении первичной энергии.

Хотя существуют заметные различия между отраслями и отдельными производствами, пример стеклянной тары можно рассматривать вполне характерный для этой промышленности. Основным исключением из указного обобщения является отрасль

минерального (стеклянного) волокна, в которой операция волокнообразования и печь термофиксации (сушки) также представляют собой потребителей энергии. В рамках отрасли стеклянной тары производство флаконов представляют собой специфический случай с примерно 50-процентным общим потреблением энергии, используемой на стекловарение, из-за конкретных требований по качеству к конечному продукту.

Как было проанализировано ранее, природный газ является доминирующим источником энергии для стекловарения с небольшим процентом электричества. Форкамеры и леры отжига обогреваются газом или электричеством, а электроэнергия используется для привода воздушных компрессоров и вентиляторов, которые необходимы для работы. Общие услуги включают в себя перекачку воды, генерирование пара для хранения топлива и нагревания трубопроводов, увлажнения/нагрева шихты и обогрева зданий. Некоторые печи оборудованы бойлерами нагрева отходов, чтобы производить часть или весь необходимый пар.

Чтобы обозначить базовую отметку для эффективности технологической энергии, будет полезно рассмотреть теоретические энергетические требования к плавлению стекла. Теоретические энергетические требования к плавлению самого обычного стекла, начиная от формул шихты без переработки стеклянного боя, представлены в Таблице 3.6. Расчет предполагает, что все имеющееся в наличии тепло полностью используется и его условно можно разделить на три составляющих:

- теплота реакции, необходимой для формирования стекла из сырьевых материалов;
- теплота, необходимая для подъёма температуры стекла от 20 до 1500 °C;
- содержание тепла газов (в основном CO₂), испускаемое из шихты во время стекловарения.

Теоретические уровни, представленные в Таблице 3.6, относятся только к энергии, необходимой, чтобы расплавить состав стекла. Потребуется дополнительная энергия, чтобы осветлять (рафинировать), формовать и делать финишную отделку стекла и для других вспомогательных услуг, таких как производство сжатого воздуха.

Таблица 3.6. Теоретические энергетические потребности при плавлении обычного стекла из рецептов шихты без переработки стеклянного боя

Тип стекла	Тепловой эффект реакции	Энтальпия стекла	Энтальпия выделяемых газов	Теоретическая энергетическая потребность
	ГДж/ т	ГДж/ т	ГДж/ т	ГДж/ т
Натрий-кальций-силикатное стекло (листовое стекло/ тарное стекло)	0.49	1.89	0.30	2.68
Боросиликатное стекло (8 % B_2O_3)	0.41	1.70	0.14	2.25
Боросиликатное стекло (13 % B_2O_3)	NA	NA	NA	2.4
Хрустальное стекло (19 % PbO)	0.40	1.69	0.16	2.25
Хрустальное стекло (24 % PbO)	NA	NA	NA	2.1
Стеклокерамика с барием	1.02	1.91	0.31	3.24

NA = Нет данных (НД)

Фактические потребности в энергии в процессе стекловарения, которые наблюдаются в различных секторах, заметно различаются от 3.3 до свыше 40 ГДж/т стекла. Этот показатель в существенной степени зависит от проекта печи, масштаба, способа эксплуатации и типа стекла. Однако большая часть стекла производится в печах большого размера и потребность в энергии при плавке, как правило, составляет менее 8 ГДж/т. Потребление энергии будет рассмотрено далее для каждого сектора, при условии наличия информации.

Как правило, стекловаренная печь снабжается энергией за счет:

- Сгорания топлива
- Предварительного нагрева воздуха, поступающего в камеру сгорания
- Электроэнергии
- Удельной теплоты топлива, кислорода или избыточного воздуха
- (предварительного нагрева) шихты

Поскольку производство стекла – энергозатратный, высокотемпературный про-

цесс, очевидно, что существует большой потенциал тепловых потерь. За последние годы достигнуты значительные успехи в области энергоэффективности, и некоторые процессы (например, крупные регенеративные печи) достигают теоретически минимального энергопотребления при выплавке стекла, принимая во внимание внутренние ограничения процессов.

Современная регенеративная печь для стеклянной тары имеет общий тепловой КПД около 50 % (максимально 60 %), при этом потери в виде отработанных газов составляют 30 %, а теплотери через поверхность конструкций – подавляющую часть остальных потерь. Эта эффективность вполне сопоставима с прочими широкомасштабными процессами сгорания, в частности, электрогенерацией, которая обычно имеет эффективность в диапазоне 35-45 процентов. Структурные потери обратно пропорциональны размеру печи, основной причиной при этом является соотношение изменения площади поверхности к объему. Печи, нагреваемые электричеством и кислородным топливом, обычно, имеют более высокие характеристики энергоэффективности, чем печи, работающие на ископаемом топливе, но с этим связаны и их недостатки, которые обсуждаются далее в настоящем документе. Характерное распределение энергоемкости при производстве наиболее распространенных видов промышленного стекла приводится в Таблице 3.7

Таблица 3.7: Примеры распределения энергоемкости при производстве наиболее распространенных видов стекла

Тип стекла	Плоское стекло	Тарное стекло
Тип печи	Флоат, регенеративный, с перекрестным направлением пламени	Регенеративный, ванная печь с подковообразным пламенем
Удельный съем стекломассы	600 т/сутки	260 т/сутки
Стекольный бой	25 %	83 %
Суммарное потребление энергии	6.48 ГДж/т	3.62 ГДж/т
(ГДж/т)	Сваренного стекла	сваренного стекла
Испарение воды (влажность шихты)	1 %	1.5 %

Эндотермические реакции	6 %	2.4 %
Удельная теплота плавления стекла (чистая)	33 %	44.2 %
Потери стекла на стенку	15 %	18.3 %
Теплопотери при охлаждении и растекании	9 %	3.7 %
Потери отходящего газа от регенератора дна	32 %	27.6 %
Теплопотери регенератора (структура)	4 %	2.3 %

Некоторые из наиболее общих факторов, затрагивающих энергопотребление печей на ископаемом топливе, описаны ниже. Для любой определенной установки важно принимать во внимание различия характеристик объекта, которые затрагивают применимость общей информации, приведенной ниже. Эти факторы также влияют на выбросы в пересчете на тонну стекла тех веществ, которые относятся непосредственно к количеству сгораемого ископаемого топлива, в частности CO_2 , SO_2 и NO_x . Основные факторы, зависящие от местных условий, перечислены и ниже.

а. Емкость печи в значительной степени затрагивает потребление энергии на тонну сваренного стекла, поскольку более крупные печи, по сути, имеют более высокий КПД в силу меньшего соотношения площади поверхности к объему.

б. Пропускная способность печи также имеет большое значение, при том, что большинство печей достигают наибольшего КПД производства при максимальной нагрузке. Различия в объемах загрузки печи в значительной степени зависят от рыночной конъюнктуры и могут быть широкими, в частности, для некоторых продуктов из стеклянной тары и сортового стекла.

с. По мере увеличения срока эксплуатации печи, ее тепловой КПД обычно падает. К концу срока службы печи, энергопотребление на тонну сваренного стекла может быть на 20 % выше, чем в начале ее эксплуатации.

д. Использование дополнительного электроподогрева повышает энергоэффективность печи. Однако если принимать во внимание стоимость электричества и эффективность генерации и распределения электроэнергии, общее улучшение снижается (или даже становится отрицательным). Электроподогрев обычно используется для улучшения производительности печи, а не для повышения энергоэффективности.

е. Использование стекольного боя может заметно сократить энергопотребле-

ние, поскольку химическая энергия, которая требуется для стекловарения сырья, уже затрачена. Как правило, каждое увеличение на 10 % использования стекольного боя приводит к экономии энергии на 2-3 % в процессе стекловарения.

f. Сгорание топлива в кислороде тоже может сократить потребление энергии, в особенности для небольших печей. Устранение большей части азота из атмосферы сгорания сокращает объем отработанных газов, вырабатываемых в процессе стекловарения на 60-70 %. Таким образом, экономия энергии возможна, поскольку нет необходимости в нагревании атмосферного азота до температуры пламени, большая часть кислородно-топливных печей не оснащены системами рекуперации тепла.

Вопросы, зависящие от специфики местных условий, изложенные выше, не учитывают некоторые важные вопросы, не зависящие от местных условий, которые затрагивают применимость различных технологий стекловарения стекла, в частности стоимость электричества и эффективность генерации и распределения электроэнергии.

Энергоэффективность – очень сложный вопрос, который рассматривается в дальнейших разделах этой главы, касающихся местных условий. С 1960 гг. индустрия производства стекла, вместе взятая, сокращала удельное потребление энергии примерно на 1.5 % каждый год. Сегодня эта цифра ниже, поскольку почти достигнуты термодинамические пределы.

В таблице 3.8 приведены примеры удельного потребления энергии для диапазона современных, энергоэффективных печей для стекловарения стекла.

Таблица 3.8. Примеры энергоэффективных стекловаренных печей

Тип ванной печи	Тип стекла	Зона стеклова- рения С ¹) (м ²)	Варочная часть глуби- ны стеколь- ной шихты (мм)	Варочная часть ем- кости ре- зервуара (т)	Соотноше- ние длины/ ширины ва- рочного ре- зервуара	Объем стеклова- рения (т/сутки)	Удельная производи- тельность (т/м ² сутки)	Удельное энергопо- требление (²) (кДж/кг стек- ла)
печь с поперечным направлением пламени с регенеративным возду- хоподогревателем	Тарное стекло	15-155	1200 - 1700	50 - 500	1.9 - 3.0:1	40 - 500	2.5-4.0	4200
Регенеративная ванная печь с подковообразным пламенем	Тарное стекло	15-140	1200 - 1700	50 - 500	1.9 - 2.5:1	40 - 450	2.5-4.0	3800
Рекуперативная печь	Тарное стекло	До 250	1100- 1600	50-650	2.0-2.8: 1	40 - 450	2.0-3.0	5000
Кислородно-топливная печь	Тарное стекло	110-154	1300- 1700	390-600	2.0-2.4:1	350-425	2.3 -3.5	3050 - 3500(³)
печь с поперечным направлением пламени с регенеративным возду- хоподогревателем	Плоское стекло	100 - 400	1200 - 1400	300-2500	2.1 - 2.8:1	150 - 900	2.3 -2.7	6300

Тип ванной печи	Тип стекла	Зона стекловарения С ¹) (м ²)	Варочная часть глуби- ны стеколь- ной шихты (мм)	Варочная часть ем- кости ре- зервуара (т)	Соотноше- ние длины/ ширины ва- рочного ре- зервуара	Объем стеклова- рения (т/сутки)	Удельная производи- тельность (т/м ² сутки)	Удельное энергопо- требление (²) (кДж/кг стек- ла)
печь с поперечным направлением пламени с регенеративным возду- хоподогревателем	Стекло для телевизион- ных трубок (экранов)	70 - 300	900- 1100	160 - 700	2.0-3.0:1	100 - 500	1.1 - 1.8	8300
Печь с рекуперативным воздухоподогревателем	Столовая посуда	15-60	1100- 1300	40 - 180	1.8 - 2.2:1	15 - 120	1.0-2.0	6700- 11000(⁴)
печь с поперечным направлением пламени с регенеративным возду- хоподогревателем	Столовая посуда	30-40	800 - 1000	65 - 100	2.0-3.0:1	40-60	1.2- 1.6	8000- 11000
Регенеративная ванная печь с подковообразным пламенем	Столовая посуда	45-70	800 - 1800	100-250	1.8 - 2.2:1	120 - 180	2.0-3.0	5000 - 6000
Печь с рекуперативным воздухоподогревателем	Стекловата	15-110	800 - 1500	50 - 200	2.8:1	30-350	3.4	4300-6500

(*) Площадь поверхности стеклостекловаренной печи для стекловарения стекла и осветления стекломассы, обычно зона

3.2.4 Уровень шума

В процессе производства стекла, показатели уровня шума могут представлять собой существенный вопрос для некоторых секторов, в особенности для сектора производства штапельного стекловолокна, стеклянной тары и сортового стекла. Предотвращение и снижение уровня шума не всегда практически обоснованы, и обычно предпринимаются меры предосторожности для защиты рабочих, если уровень шума снизить невозможно. Уровни шума в пределах установки представляются главным образом вопросом охраны труда, вопрос о воздействии шума на операторов не является предметом рассмотрения в данном документе. Оценка экологического воздействия стекольного завода должна рассматриваться в связи с расстоянием между заводом и чувствительными рецепторами.

Существенные источники шумового воздействия – следующие:

- Сжатый воздух для охлаждения
- Вентиляторы для воздуха, поступающего в камеру сгорания
- Вентиляторы для вывода отходящих газов
- Формовочные машины (например, секторы тарного, сортового и специального стекла)
- Конвейеры для продукции из стекла
- Операции по резке (например, плоское и специальное стекло)
- Операции шлифовки и полировки (например, сортовое и специальное стекло).

Уровни шума (в децибелах) отличаются в зависимости от типа оборудования/ завода и могут превышать значение 85 дБА в некоторых зонах установки.

Наиболее распространенные техники снижения уровня шума – следующие:

- Применение специальных конструкций, ограждающих шумное оборудование или операции
- Использование ограждений, экранирующих от источника шума.

3.3 Тарное стекло

Как описано в Главе 1, тарное стекло является крупнейшим сектором стекольной индустрии России, составляя от 50 до 60 % всего объема производства. Типы печей включают печь с поперечным направлением пламени с регенеративные, ваннные печи с подковообразным пламенем регенеративные, рекуперативные, электрические и кислородно-топливные печи; объем производства варьируется в широком диапазоне от менее 50 000 тонн в год (10 000 для производства флаконов для духов) до более, чем 150 000 тонн в год. Производство одного завода с несколькими печами может составлять свыше 1000 тонн в год.

Очевидно, что такой крупный и разнообразный сектор обуславливает серьезные отличия объема и типов вводимых и выводимых факторов процесса, используемого сырья и продукции. Однако продукция этого сектора почти исключительно производится с использованием формул натрий-кальций-силикатного стекла или измененных формул натрий-кальций-силикатного стекла, так что различия в сырье для изготовления стекла являются ограниченными.

Соотношение вводимого фактора сырья для плавильного производства будет различаться в зависимости от уровня использованного стекольного боя, что затрагивает объем отходящих газов, составляющих выбросы при выплавке из сырья. Дегазация и сушка сырья может составлять в диапазоне от 3 до 20 % вводимого фактора и 1 тонна стекольного боя заменяет приблизительно 1.2 тонны первичного сырья. Коэффициент выхода готовой к упаковке продукции может варьироваться от менее 50 % для некоторых особо сложных продуктов из стеклянной тары для духов до более 90 % для объемной стандартной продукции из стеклянной тары, при этом большая часть отходов стекла перерабатывается обратно в печи.

В таблице 3.9 представлен обзор основных вводимых и выводимых факторов технологического процесса. Выбросы представляют типичные печи среднего диапазона. Значения, приведенные в таблице, следует рассматривать только как ориентировочные. Более точные данные об энергопотреблении и показателях выбросов в атмосферу приведены в Разделе 3.3.2.2.

Таблица 3.9: Обзор основных факторов ввода и вывода при производстве стеклянной тары (ориентировочные значения относятся к 1 тонне сваренного стекла)

Вводимые факторы	Ед./т (сваренное стекло)	Диапазон (среднее значение)		
Стеклянный бой после использования изделий	Тонна	0 -	0.85	(0.40)
Кварцевый песок	Тонна	0.04 -	0.66	(0.35)
Карбонаты	Тонна	0.02 -	0.40	(0.20)
Сопутствующие минеральные компоненты	Тонна	0.002 -	0.05	(0.02)
Огнеупорные материалы печи	Тонна	0.005 -	0.01	(0.008)
Упаковочные материалы	Тонна	0.040 -	0.080	(0.045)
Формы для отливки и т.п.	Тонна	0.004 -	0.007	(0.005)
Энергия, топливо/ газ суммарная (*)	ГДж	4 -	14	(6.5)
Суммарная электрическая энергия (*)	ГДж	0.6 -	1.5	(0.8)
Вода	м ³	0.3 -	10	(1.8)
Выводимые факторы				
Готовые упакованные продукты	Тонна	0.75 -	0.97	(0.91)
<i>Выбросы в атмосферу</i>				
CO ₂	кг	300 -	1000	(430)
NO _x	кг	0.2 -	4.4	(2.0)
SO _x	кг	0.2 -	4.1	(1.3)
Пыль (без использования средств борьбы со вторичными загрязнениями)	кг	0.2 -	0.6	(0.3)
Пыль (с использованием средств борьбы со вторичными загрязнениями)	кг	0.002 -	0.05	(0.017)
HCl без использования средств борьбы со вторичными загрязнениями)	кг	0.02 -	0.08	(0.029)
HCl (с использованием средств борьбы со вторичными	кг	0.005 -	0.06	(0.027)
HF без использования средств	кг	0.001 -	0.022	(0.007)

Вводимые факторы	Ед./т (сваренное стекло)	Диапазон (среднее значение)		
HF (с использованием средств борьбы со вторичными	кг	0.00005	0.007	(0.002)
Металлы (без использования средств борьбы со вторичными загрязнениями)	кг	0.0002 -	0.015	(0.004)
Металлы (с использованием средств борьбы со вторичными загрязнениями)	кг	0.00006 -	0.002	(0.001)
H ₂ O (испарение и горение)	Тонна	0.3 -	10	(1.8)
Сточные воды	м ³	0.2 -	9.9	(1.6)
Отходы для переработки	Тонна	0.002 -	0.006	(0.005)
Прочие отходы	Тонна	0.003 -	0.015	(0.005)

(*) Суммарная энергия (печь и т.п.) для стандартного завода, эксплуатирующего печи на ископаемом топливе.

3.3.1 Вводимые факторы технологического процесса

Сводная информация о материалах, используемых в секторе стеклянной тары, приведена в Таблице 3.10

Таблица 3.10: Материалы, используемые в секторе стеклянной тары

Описание	Материалы
Стеклообразующие материалы	Кварцевый песок, переработанный стекольный бой, стекольный бой после использования изделий
Промежуточные материалы и материалы-модификаторы стекла	Карбонат натрия, известняк, доломит, красители, полевой шпат, нефелиновый сиенит, карбонат калия, пыль от фильтров
Окислители стекла, восстановители и осветлители	Сульфат натрия, уголь, нитрат натрия или нитрат калия

Описание	Материалы
ли	
Окрашивающие и обесцвечивающие добавки к стеклу	Хромит железа, оксид железа, сульфид железа, оксид кобальта, оксид церия, селен или селенит цинка, сульфид и оксид кадмия, соединения марганца, селениды кадмия и свинца, сурьма.
Покрывающие агенты продукта (горячее покрытие)	Неорганические или органические хлориды металла. Преимущественно, хлористое олово, тетрахлорид титана и трихлорид монобутил олова
Смазки продукта	Смазки на полиэтиленовой основе и жирные кислоты (например, масляная кислота)
Топливо	Природный газ, электричество, мазут, бутан, пропан
Вода	Централизованное водоснабжение и местные природные источники (колодцы, реки, озера и т.п.)
Вспомогательные материалы	Упаковочные материалы, включая пластик, бумагу, картон и дерево. Смазочные материалы для пресс-формы, в общем и целом, высоко-температурные разделительные составы на основе графита. Смазочные материалы для машин, преимущественно минеральные масла. Технологичный газ, кислород, и диоксид серы Химические вещества для очистки воды для охлаждающей жидкости и отработанной воды.

Крупнейшие вводящие факторы технологического процесса – это кремний содержащие материалы (песок и стекольный бой) и карбонаты (кальцинированная сода, доломит и известняк). Сырье для шихты смешивается в правильной пропорции для производства широкого спектра стекольных составов, указанных в Разделе 2.4. В большинстве составов из стеклянной тары, кремний, натрий и кальций, обычно выраженные в форме оксидов, составляют более 90 % состава стекла (SiO_2 71 - 73 %, Na_2O 12 - 14 % и CaO 10 - 12 %). Диоксид кремния получается главным образом из стеклянного боя и

песка. Оксид натрия получается прежде всего из стеклянного боя и кальцинированной соды, а оксид кальция – из стеклянного боя, известняка и в меньшей степени доломита.

В большинстве технологических процессов производства стеклянной тары используется значительный уровень стеклянного боя, добавляемый в шихту, при этом средний показатель по сектору составляет примерно 50 %, которые приходятся на внутренний стекольный бой и стекольный бой ранее использованных изделий. Доля применения стекольного боя от ранее использованных изделий заметно различается (от 0 до >80 %), но почти все процессы основаны на переработке внутреннего стеклянного боя, в которых используется примерно 10 % шихты. Загрузка прочих материалов стекольного производства, в особенности, песка, кальцинированной соды, известняка и доломита, будет различаться, в зависимости от количества использованного стеклянного боя и его состава.

Использование материалов для обработки поверхностей продукта, т.е. покрытия и смазывающей обработки, различается от процесса к процессу. Однако объем использованных материалов является очень низким относительно сырья для изготовления стекла, обычно порядка нескольких килограммов в день на производственную линию (См. раздел 3.3.2.3).

Используемое топливо варьируется от процесса к процессу, но в целом используются природный газ и электричество для стекловарения стекла, либо по отдельности, либо в сочетании. Выработочная часть печи и лер для отжига нагреваются газом или электричеством, которые также используются для нагрева и общего обслуживания. Легкое дистиллятное топливо, мазут, пропан и бутан иногда используются как вспомогательное или резервное топливо.

Основные назначения воды в секторе производства стеклянной тары – для охлаждающего контура и очистки. Вода нередко используется (обычно в форме пара) для увлажнения материалов шихты (от 0 до 4 %) во избежание отделения сырья и для сокращения переноса пыли от печи. Охлаждающая вода используется обычно в закрытых или открытых контурах для охлаждения различных элементов оборудования и стекло-массы от производственного брака с соответствующими потерями от испарения и очистки. Фактическое потребление воды и выбросы водяного пара могут различаться в зависимости от местных условий (климат, географическое положение и жесткость во-

ды).

3.3.2 Выбросы в атмосферу

3.3.2.1 Сырье

В большинстве современных технологических процессов производства стеклянной тары, силос и резервуар для смешивания снабжены системами фильтрации, которые сокращают выбросы до менее 5 мг/нм³. Масса выбрасываемых загрязняющих веществ, как из систем, оборудованных фильтрами, так и из систем, необорудованных фильтрами, зависит от количества операций по перегрузке сырьевого/гранулированного материала из одной тары в другую, а также размера гранул и количества перегружаемого материала.

3.3.2.2 Стекловарение шихтовой смеси

В секторе стеклянной тары, наибольшие потенциальные выбросы в атмосферу сопряжены с операциями по варке стекломассы. Выделяемые вещества и связанные источники указаны в Разделе 3.2.2.1. Большинство печей в этом секторе нагреваются преимущественно с помощью ископаемого топлива, в основном, природного газа. Однако в силу больших масштабов и широкого распределения этого сектора, в эксплуатации имеется особенно широкий диапазон разновидностей печей, что влечет за собой существенные различия по уровню выбросов. Это четко указано в таблице, представленной в настоящем разделе, при этом в нем содержатся детальные характеристики печей и отчетные уровни выбросов на основе данных статистического обзора. В этих таблицах показатели выбросов разделены, в зависимости от ситуации, на те, в связи с которыми используются как основные экологические мероприятия и вспомогательные методы по минимизации выбросов, так и те, в связи с которыми они не используются.

Следует отметить, что сообщаемые данные о выбросах соответствуют анализам, проводимым в контексте требований к отчетности в регионах, где располагаются установки, и используемые техника отбора проб и измерений не являются равномерными. Они относятся к ограниченному графику, обычно менее 3 часов, и, таким образом, очень

чувствительны к переменным эксплуатационным условиям. Более того, при использовании стандартизованных методов, их неопределенность не принимается во внимание в конечных результатах. По этим причинам, данные, представленные в таблицах 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 могут рассматриваться только как ориентировочные с точки зрения информации о диапазоне фактических выбросов на время проведения статистического обследования. С тем, чтобы дать лучшее указание на репрезентативность сообщаемых показателей выбросов, данные приводятся как средние/ минимальные / максимальные значения по общему набору данных (100 % данных) и средние значения, соответствующие 90-му перцентилю (то есть от 5 до 95 %).

Ванные регенеративные печи с подковообразным пламенем представляют более 60 % выборки, покрывая практически весь диапазон нормы выработки. Значения указывают в частности различия в среднем количестве выплавленного стекла для печей, предназначенных для изготовления флаконов, что составляет 80 т/ сутки, по сравнению с основным производством стеклянных бутылок и банок, со средним показателем – 250 т/сутки.

В таблице 3.11 сообщаются статистические данные по общей норме стеклянного боя, использованного для различных цветов стекла.

Суммарная норма стеклянного боя, приведенная в Таблице 3.11, выражается как совокупность стеклянного боя на тонну выплавленного стекла.

Таблица 3.11: Статистические данные о совокупном коэффициенте (норме расхода) стекольного боя для печей для стеклянной тары

Расход стекольного боя	Совокупные нормы расхода стекольного боя в пересчете на одну печь (совокупный стекольный бой %/ тонна сваренного стекла (¹))		
	Средние (²)	Минимальные	Максимальные
Флинтглас (бесцветный)	33	5	74
Янтарный	49	15	81
Зеленый	72	30	96
Другие цвета	55	20	85

(¹) Совокупные параметры стекла в пересчете на одну печь выражены как суммарный стекольный бой в пересчете на тонну выплавленного стекла (внутренний + внешний).

(²) Средние приведенные значения представляют собой среднее арифметическое нормы расхода стекольного боя для отдельной печи и не отражают средние совокупные нормы расхода по стекольному бою.

Коэффициенты (нормы расхода) стекольного боя сильно различаются, составляя общий диапазон от 5 до 96 %, и ограничены практически только доступностью стекольного боя подходящего качества. В частности, так обстоят дела с бесцветным флинт-стеклом, для которого уровень примесей стекольного боя бесцветного стекла должен быть сопоставим со спецификациями цвета, требующимися для готового продукта. Некоторые рынки требуют бесцветного стекла высокой чистоты (которое именуется «экстра-флинт») для упаковки духов и некоторых алкогольных напитков премиум-класса, и это предполагает соответственно требования к высокой чистоте всего используемого сырья. Таким образом, в данном случае, параметры переработки ограничены внутренним боем, что соответствует низким наблюдаемым значениям (все цвета стекла и флинт). В большинстве случаев, зеленое стекло наименее чувствительно к таким ограничениям и, таким образом, требует наиболее высокой доли стекольного боя. Следует подчеркнуть, что коэффициент (норма расхода) стекольного боя определенной печи (или цвет стекла) должен (должна) рассматриваться в более широком региональном, национальном и международном контексте поставок и потребности в переработанном стекле, применяемом после использования изделий.

Коэффициент (норма) расхода стекольного боя оказывает серьезное систематическое воздействие на энергию стекловарения при любой технологии стекловарения или на размер печи, и, как уже указывалось, во многих случаях ограничен (а) внешними факторами, в частности, доступностью пригодного стекольного боя.

В таблице 3.12 представлена энергия стекловарения для различных типов печей и диапазонов размеров. Удельные значения энергии стекловарения, таким образом, были откорректированы до 50 % стекольного боя, используя соотношение, приведенное в другом месте в настоящем документе (- 2.5 % энергии при каждых 10 % увеличения сте-

кольного боя).

В целях корректировки совокупное потребление энергии стекловарения (E_M) от каждой печи (чистый тепловой коэффициент для ископаемого топлива + прямая электроэнергия) было помножено на фактор, соответствующий суммарному коэффициенту (норме) расхода стекольного боя (C_T) для получения энергопотребления, скорректированного на 50 % стекольного боя (E_{M50}). Ниже приведена приблизительная формула, используемая для расчетов:

$$E_{M50} = E_M / \{1 + [(50 - C_T) \times 0.025] / 10\}$$

где

E_{M50} (ГДж/т расплавленного стекла) = потребление энергии скорректированное по 50 % стекольного боя

E_M (ГДж/т расплавленного стекла) = совокупное энергопотребление

C_T (%) = суммарная норма расхода стекольного боя.

В целях проведения базового сопоставления кислородно-топливного сгорания и воздушно-топливного сгорания, электроэнергия, требуемая для производства кислорода, должна быть принята во внимание при определении удельной энергии стекловарения. В целях согласования с расчетом потребления электроэнергии в настоящем разделе, энергия, используемая для производства кислорода приведена как использованная на стекольном заводе. Соответствующее количество рассчитывается на основе (консервативного) фиксированного соотношения электроэнергии для выработки кислорода, эквивалентного 0.07 ГДж на 1 ГДж чистого теплового коэффициента от энергии ископаемого топлива, используемой печью. Этот расчет уже включен в расчет энергии стекловарения, скорректированной по 50 % совокупного стекольного боя. Однако следует отметить, что энергопотребление 0.07 ГДж в момент использования соответствует приблизительно 0.2 ГДж энергии от первичных источников, необходимой для генерирования этого количества электричества.

Таблица 3.12: Удельная энергия стекловарения для печей различных типов и диапазонов размеров

Размер печи по типу	Удельная энергия стекловарения, скорректированная по норме расхода
---------------------	--

		стекольного боя 50 % (ГДж низшая теплотворная способность/т стекла)		
	Единица	Среднее	Миним.	Макс.
ванная печь с подковообразным пламенем		4.8	3.4	10.7
<100	Тонн в сутки	6.9	5.5	11.7
100 - 250	Тонн в сутки	4.8	3.4	6.7
250 - 400	Тонн в сутки	4.3	3.4	9.5
>400	Тонн в сутки	4.1	3.4	5.1
печь с поперечным направлением пламени		4.6	3.3	6.6
<100	Тонн в сутки	-	-	-
100 - 250	Тонн в сутки	5.0	3.3	6.6
250 - 400	Тонн в сутки	4.5	3.7	5.8
>400	Тонн в сутки	4.4	3.5	5.2
Рекуперативная печь		6.3	4.1	11.6
<100	Тонн в сутки	9.1	5.9	11.6
100 - 250	Тонн в сутки	5.8	4.1	6.8
250 - 400	Тонн в сутки	5.6	4.3	7.3
>400	Тонн в сутки	-	-	-
Кислородо-топливное сгорание		4.4	3.5	5.2
Кислородо-топливное сгорание + выработка O ₂		4.7	3.8	5.5
Электрическая		3.3	2.9	3.6

(¹) Электроэнергия, которая требуется для выработки кислорода, принята во внимание, однако первичная энергия для производства кислорода во внимание не принята

Эквивалентные средние значения для удельной энергии стекловарения наблюдаются при сопоставлении ванной печи с подковообразным пламенем, печи с поперечным направлением пламени и кислородно-топливной печи. Для последних принимается во внимание оценка объема электроэнергии, который требуется для производства кислорода (не первичной энергии) (см. таблицу 3.12 и рисунок 3.4).

Как и предполагалось, более высокие значения удельной энергии стекловарения наблюдаются для печей меньшего размера и это особенно справедливо для производ-

ства флаконов, для которых кривые трендов совокупной энергии стекловарения приведены на рисунке 3.2. Кривые, представленные на этом рисунке, показывают, что потребление энергии стекловарения возрастает резко с сокращением размера печи. Печи для производства флаконов могут быть регенеративными, рекуперативными или кислородо-топливными в зависимости от различных факторов: инвестиционной емкости, наличия пространства, нагрузки на фундамент и прочих местных факторов.

На рисунке 3.2 средние, минимальные и максимальные значения приведены как сумма потребления ископаемого топлива (чистая теплотворная способность) плюс прямой электроэнергии (используемой для подогрева). Все электропечи не были включены.

Более того, следует принять во внимание, что графики, представленные на рисунке 3.2, не учитывают косвенное энергопотребление, необходимое для выработки кислорода или электроэнергии.

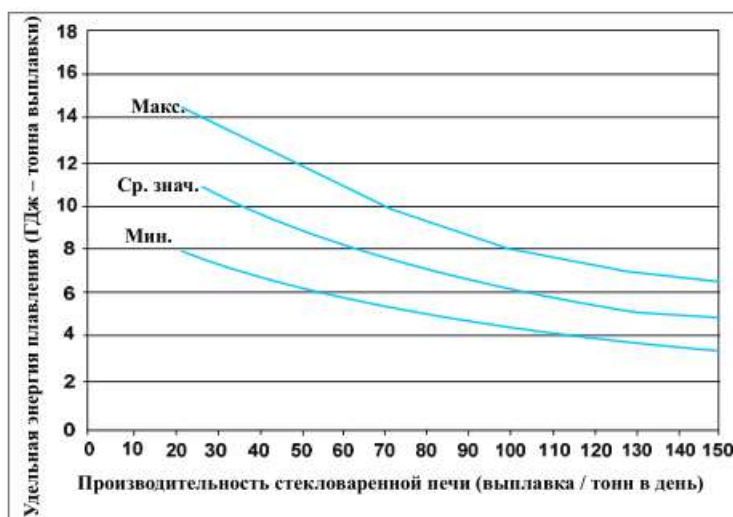


Рисунок 3.2: Графики изменения общей энергии стекловарения при производстве флаконов

Большинство печей для производства стеклянной тары оснащены функцией борьбы со вторичными загрязнениями окружающей среды (уменьшения количества отходов обработки). Во всех случаях, снижение объема вторичных отходов представляет собой технологию снижения запыленности посредством электростатического прибора для осаждения пыли или пылеуловителя с рукавными фильтрами, в общем, в сочетании со стадией десульфуризации назад по технологической цепочке для устранения загрязня-

ющих веществ, содержащих сероводород или углекислый газ (SO_x , HF, HCl), а также для избежания кислотных сульфатированных конденсатов, которые могут повредить фильтрующее оборудование. С этих пор в отрасли применяется установка электростатических приборов для осаждения пыли (ESP) или пылеуловителя с рукавными фильтрами.

Данные выбросов в атмосферу от печей обобщены в таблицах 3.13 - 3.17. Представленные данные следует оценивать, учитывая примечание, приведенное ниже.

1. Процитированные значения приведены на основе измерений реальных выбросов, представляющих определенные условия в каждом конкретном случае. Данные дискретных и непрерывных измерений, почасовых, среднесуточных значений, могут быть включены в результате обзора касательно 83 печей, на которые распространяются различные региональные положения, касательно мониторинга выбросов, следовательно, стратегии и технологии измерений не являются однородными и стандартизированными.

2. Сведения приводятся в каждом случае согласно отчетам (100 % значений) и согласно средним данным, приведенным по 90-му перцентилю (т.е. 5-95 % значений), при этом последние предназначены для исключения, в каких-то пределах, пунктов случайных данных.

3. Данные, выраженные как концентрации, скорректированные по 8 % O_2 , не включают кислородно-топливные и все электрические печи.

4. Данные выраженные как факторы выбросов, не включают все электрические печи. Для кислородно-топливных печей данные выбросов представлены как отчетные данные, в то время как для воздушно-топливных печей факторы выбросов рассчитаны с использованием коэффициентов конверсии, полученных из стандартных объемов сухих отходящих газов при 8 % O_2 , эквивалентных $385 \text{ нм}^3/\text{ГДж}$ для природного газа, с коррекцией на фактор выбросов технологического CO_2 к объему отходящего газа (обратно пропорционально суммарной норме расхода стекольного боя), составляющей $92 \text{ нм}^3/\text{т}$ стекла из первичного сырья (объем соответствующий $180 \text{ кг CO}_2/\text{т}$ стекла из сырья).

5. Для указанной концентрации выбросов, фактор выбросов увеличивается с увеличением потребления ископаемого топлива; таким образом, печи меньшего размера, в частности, производящие более низкий объем продукции (флаконы), обычно сопряже-

ны с более высокими факторами выбросов.

6. Когда две или более печи связаны с одним и тем же оборудованием для снижения выбросов, значение выбросов, указанное в концентрации, считается таким же для каждой печи. Факторы выбросов для такой печи оцениваются с использованием значения концентрации, помноженной на удельный объем отработавшего газа для печи, рассчитанный согласно номеру (4) выше.

В таблице 3.13 представлены значения касательно выбросов пыли для всего диапазона (100 % данных) и по средневзвешенные по 90-му перцентилю (5 % - 95 % данные)

Таблица 3.13: Выбросы пыли из печей для производства стеклянной тары, как оснащенных, так и не оснащенных системами для снижения выбросов

Выброс в атмосферу из плавильных печей	Выбросы, выраженные в виде концентраций				Выбросы, выраженные в виде факторов выбросов			
	Отчетные данные, %	мг/нм ³ сухого вещества, 8 % O ₂			Отчетные данные, %	Кг/т стекла		
		Сред.	Мин.	Макс.		Сред.	Мин.	Макс.
Снижение вторичной запыленности	100	150	17	430	100	0.31	0.03	1.48
	5 – 95	150	60	330	5 – 95	0.28	0.10	0.58
Со снижением вторичной запыленности	100	10	0.01	57	100	0.019	0.000014	0.11
	5 – 95	9.2	1.5	26	5 – 95	0.017	0.0016	0.050
Электростатический прибор для осаждения пыли	100	11.2	1.0	57	100	0.020	0.0020	0.106
	5 – 95	10.2	3.7	27	5 – 95	0.018	0.0046	0.053
Пылеуловитель с рукавными фильтрами	100	6.0	0.01	26	100	0.013	0.000014	0.050
	5-95	5.2	0.5	21	5 - 95	0.012	0.00063	0.048

Методики мониторинга выбросов пыли особенно подвержены ошибкам, как в плане используемых методик, так и в силу сложного характера равновесия между различными веществами серы, даже если измерения производятся официально признанными независимыми лабораториями. Например, стандартный метод EN 13284-1:2003 для

мониторинга низкого уровня запыленности демонстрирует неопределенность примерно равную 3 мг/нм^3 при измерении уровня концентрации в диапазоне $4\text{-}5 \text{ мг/нм}^3$. Несколько высоких или низких значений уровня концентрации пыли, указанные в таблице 3.13, таким образом, могут быть связаны с ошибкой измерений. Низкие значения, приведенные в таблице, в связи с печами, не оснащенными системами борьбы с выбросами, рассматриваются как нереалистичные даже при уровне 5 % и некоторые сомнения могут возникнуть в связи с высокими значениями, превышающими уровень 95 %. Значения $<100 \text{ мг/нм}^3$ для пыли могут наблюдаться без снижения вторичной запыленности / использования средств борьбы со вторичными загрязнениями в определенных обстоятельствах, но такие низкие значения наблюдаются нечасто. Системы снижения уровня запыленности эффективны для сокращения уровня выбросов пыли в диапазоне от среднего значения 150 мг/нм^3 без снижения запыленности до среднего значения примерно 10 мг/нм^3 при использовании электростатического осадителя (ESP) и среднего значения примерно 5 мг/нм^3 , достигаемого с помощью пылеуловителей с рукавными фильтрами. Важно подчеркнуть, что указанные значения взяты главным образом из данных официальных замеров, сделанных в течение ограниченного времени, в среднем составляющего несколько часов. Кроме того, низкие значения следует рассматривать осторожно, учитывая ограниченную точность методов мониторинга. Помимо возможных ошибок измерений, более высокие значения указывают на отклонения в эффективности оборудования для борьбы с загрязнениями.

В таблице 3.14 представлены значения касательно выбросов оксиды серы (SO_x) как для широкого диапазона (100 % данных) так и средних по 90-му перцентилю (5-95 % данных).

Выбросы SO_x от производства стеклянной тары следуют соображениям баланса серы, при этом вводимыми факторами являются содержащие серы в топливе (как, например, в тяжелом мазуте), сульфаты, добавленные в рецепт шихты и зависимости от типа стекла, сера, попадающая в печь с внешним стекольным боем. Только часть серы, добавленная в формулу шихты (сырье плюс стекольный бой) включается в продукты из стекла; избыток высвобождается с отводящими газами или откладывается в виде пыли от фильтров.

Данные выбросов, представленные в Таблице 3.14, таким образом, дифференци-

рованы на данные по печам на газовом и смешанном топливе, принимая во внимание, что выбор топлива рассматривается за пределами выбора НДТ, в зависимости от различных стратегий и энергетической политики.

Что касается печей на газовом топливе, содержание серы в топливе является незначительным, и выбросы SO_x фактически представляют результат формулы шихты (сырье плюс внешний стекольный бой) с широким диапазоном значений по выбросам, как можно наблюдать в Таблице 3.14. Однако, как минимальные, так и максимальные значения, сообщаемые по диапазону 100 % 3 и 2100 мг/нм³, соответственно, представляются явно ошибочными в связи с реалистическими соображениями по равновесию материалов. Как свидетельствуют данные, компонент шихты в равновесии существенно варьируется даже относительно диапазона среднего по 90-му перцентилю, от концентраций около 100 мг/нм³ до 1000 мг/нм³ при среднем значении около 500 мг/нм³.

Пыль от фильтров полностью (или более, чем на 90 %) перерабатывается в стекломассу для 80 % печей, оснащенных системами борьбы с вторичными загрязнениями (снижения вторичной запыленности), в то время как для остальных 20 %, переработка пыли вообще не применяется.

Переработка пыли от фильтров может быть ограничена пределами, устанавливаемыми химической совместимостью пыли с требуемым качеством стекла и возможными трудностями по обработке в силу физического характера пыли.

Из данных, представленных в таблице 3.14, можно также наблюдать, что когда устанавливаются системы снижения вторичной запыленности, минимальные значения выбросов, как видно, увеличиваются (с соответствующими последствиями для средних значений), даже в диапазоне среднего 90-го перцентиля. Этот тренд можно увязать с более высокими начальными уровнями выбросов SO_x для установок, оснащенных системой чистки, и частично, с эффектом переработки пыли от фильтров.

Таблица 3.14: Выбросы SO_x из печей, производящих тарное стекло, как оснащенных так и не оснащенных системами снижения уровня запыленности

Выбросы в атмосферу от плавильных печей	Выбросы, выраженные в виде концентрации	Выбросы, выраженные как фактор выброса
---	---	--

	Отчетные данные, %	мг/нм ³ сухого ве- щества 8 % O ₂			Отчет- ные дан- ные, %	Кг/т стекла		
		Сред.	Мин.	Макс.		Сред.	Мин.	Макс.
<i>На газовом топливе</i>	100	490	3	2100	100	0.80	0.00	2.00
	5-95	460	110	1100	5 – 95	0.88	0.20	2.00
Без системы снижения вто- ричной запыленности	100	470	3	1830	100	0.90	0.00	3.00
	5- 95	439	93	950	5 – 95	0.83	0.16	2.01
С системой снижения вто- ричной запыленности (²)	100	530	150	2100	100	0.90	0.00	3.10
	5-95	498	233	1050	5 – 95	0.86	0.25	2.23
<i>Смешанное мазутно-газовое топливо (³)</i>	100	705	84	1498	100	1.22	0.13	3.54
	5-95	749	139	1250	5 – 95	1.19	0.17	2.18
Без системы снижения вто- ричной запыленности	100	919	369	1498	100	1.59	0.63	3.54
	5-95	925	554	1250	5 – 95	1.54	0.94	2.18
С системой снижения вто- ричной запыленности (²)	100	456	84	1123	100	0.79	0.13	2.09
	5-95	575	139	1123	5 - 95	0.76	0.17	1.74

¹) Выбросы SO_x обычно выражаются как эквивалентное количество SO₂.

Оборудование для снижения вторичной запыленности (ESP или пылеуловитель с рукавными фильтрами) обычно включает очистку газа с сероводородом при помощи сухой или полусухой очистки для устранения выбросов газов с сероводородом и избежания засорения / коррозии системы фильтров. Пыль от фильтров перерабатывается в стекловаренной печи в большинстве случаев и, таким образом, не может рассматриваться как снижение SO_x как таковое. Кроме того, рецепт шихты может влиять на объем общих выбросов SO_x в соответствии с общим балансом массы серы.

Данные об использовании смеси природного газа/ мазута, указанные в обзоре, варьируются от 17 до 98 % природного газа (в противоположность расхождению от 83 до 2 % мазута) при совокупном среднем показателе (значений в пересчете на каждую печь) 65 % природного газа.

В таблице 3.15 представлены значения касательно выбросов оксидов азота (NO_x) как для общего диапазона (100 % данных) так и в среднем по 90-му перцентилю (5-95 % данных).

Таблица 3.15: Выбросы NO_x из печей для производства стеклянной тары с учетом различных типов топлива и технологии печей

Выбросы в атмосферу от пла- вильных печей		Выбросы, выраженные в виде концентрации				Выбросы, выраженные как факторы выбросов			
		Данные отчета, %	мг/Нм ³ сухого ве- щества, 8 % O ₂			Данные отчета, %	Кг/т расплава		
			Сред.	Мин.	Макс.		Сред.	Мин.	Макс.
Тип топлива	Тип печи								
Без мероприятий по снижению уровня запыленности (без определенных мер по первич- ному снижению)									
Все	Все	100	1211	384	3355	100	2.30	0.60	9.30
		5-95	1171	685	2100	5-95	2.15	1.05	4.40
На газовом топ- ливке	Все	100	1259	384	3355	100	2.46	0.57	9.32
		5-95	1222	700	2300	5-95	2.32	1.13	4.57
На газовой сме- си и мазуте	Все	100	1025	547	2324	100	1.87	0.91	5.13
		5-95	980	588	1687	5-95	1.75	0.93	2.97
Все	ванная с под- ковообразным пламенем	100	1165	384	3355	100	2.2	0.57	9.3
		5-95	1121	671	1993	5-95	2.0	0.96	4.0
Все	с поперечным направлением пламени	100	1391	650	2850	100	2.5	1.10	5.6
		5-95	1356	814	2324	5-95	2.4	1.43	4.5
Все	Рекуператив- ная	100	1037	725	1725	100	2.5	1.23	8.3
		5-95	1016	785	1699	5-95	2.3	1.50	4.0
Первичные меры (не включая кислородно-топливное горение)									
Все	Все	100	915	424	2112	100	1.83	0.65	5.57
		5-95	884	521	1680	5-95	1.72	0.83	3.85
Газовое топливо	Все	100	1000	420	2100	100	1.90	0.30	5.00
		5-95	977	605	1725	5-95	1.86	0.72	3.88

Выбросы в атмосферу от плавильных печей		Выбросы, выраженные в виде концентрации				Выбросы, выраженные как факторы выбросов			
		Данные отчета, %	мг/Нм ³ сухого вещества, 8 % O ₂			Данные отчета, %	Кг/т расплава		
			Сред.	Мин.	Макс.		Сред.	Мин.	Макс.
Тип топлива	Тип печи								
Комбинированное газомазутное	Все	100	852	427	1655	100	1.49	0.80	3.76
		5-95	830	543	1600	5-95	1.39	0.83	3.02
Все	ванная с подковообразным пламенем	100	925	424	2112	100	1.8	0.65	5.6
		5-95	902	543	1725	5-95	1.7	0.83	3.8
Все	с поперечным направлением	100	1029	643	1680	100	2.1	0.80	4.4
		5-95	1003	714	1600	5-95	1.9	0.99	3.7
Все	Рекуперативная	100	687	427	1256	100	1.7	0.95	3.4
		5-95	643	428	925	5-95	1.6	1.06	2.2
Снижение вторичных выбросов (SCR)		100	460	460	460	100	0.81	0.69	0.95
Кислородно-топливное горение						100	0.54	0.23	0.88
(¹) Выбросы NO _x , как правило, выражены в виде эквивалентного количества NO ₂ .									

Основные меры для сокращения выбросов NO_x (например, горелки с низким выходом азота, ступенчатое сжигание, рециркуляция топочных газов), сообщались для приблизительно 35 % печей в выборке данных. В общей сложности, явное сокращение выбросов при среднем значении (для всех печей и всех типов топлива) от около 1200 мг/нм³ до 900 мг/нм³ наблюдается по сравнению со значениями, указанными как с применением основных мер для сокращения выбросов, так и без применения указанных мер. Однако широкий диапазон отчетных данных в обоих случаях указывает на разнообразие ситуаций, встречающихся на практике. Некоторые печи в 100 % выборке данных, для которых не использовались основные меры для сокращения выбросов, таким образом, согласно отчетам, демонстрируют низкие значения менее 600 мг/нм³ или 1.0 кг

/т сваренного стекла, что может объясняться особыми, благоприятными условиями эксплуатации и конфигурацией печи, необязательно отражающей нормальную эксплуатацию.

Сравнение данных о выбросах для различных типов топлива и технологий печей демонстрирует тенденцию к подтверждению того, что мазут или смесь газа и мазута дает более низкие выбросы NO_x по сравнению с использованием природного газа, и, что ванные печи с подковообразным пламенем или рекуперативные печи имеют тенденцию к более низким выбросам NO_x , по сравнению с печами с поперечным направлением пламени.

Высокие значения ($>1500 \text{ мг/м}^3$) должны наблюдаться только в особых случаях, т.е. когда требуются нитраты в качестве осветлителя/ окислителя, или для определенных существующих конфигураций печей с высокой местной температурой пламени и/ или в которых трудно избежать неконтролируемых утечек воздуха в пламя.

В таблице 3.16 представлены показатели касательно выбросов HCl и HF как по всему диапазону (100 %) данных, так и в среднем по 90-му перцентилю (5-95 % данных).

Таблица 3.16: Выбросы HCl и HF из печей по производству стеклянной тары как с системами по снижению выбросов, так и без таких систем

Выбросы в атмосферу от плавильных печей	Выбросы, выраженные как концентрации веществ				Выбросы, выраженные как факторы выбросов			
	Отчетные данные, %	Мг/м ³ сухого вещества, 8 % O ₂			Отчетные данные, %	Кг/т расплава		
		Сред.	Мин.	Макс.		Сред.	Мин.	Макс.
HCl								
Все значения	100	17	1.0	107	100	0.03	0	0.17
	5-95	16	1.1	37	5 – 95	0.028	0.0023	0.071
Без снижения вторичной запыленности	100	17	1.0	48	100	0.030	0.0007	0.116
	5-95	17	1.4	39	5 - 95	0.029	0.0018	0.079
Со снижением вторичной	100	17	1.0	107	100	0.029	0.0018	0.170

Выбросы в атмосферу от плавильных печей запыленности ¹⁾	Выбросы, выраженные как концентрации веществ				Выбросы, выраженные как факторы выбросов			
	Отчетные данные, %	Мг/нм ³ сухого вещества, 8 % O ₂			Отчетные данные, %	Кг/т расплава		
		Сред.	Мин.	Макс.		Сред.	Мин.	Макс.
	5-95	16	3.7	29	5 - 95	0.027	0.0047	0.059
HF								
Все значения	100	3.0	0.00	74	100	0.0072	0.0002	0.267
	5-95	2.5	0.39	11	5 – 95	0.0046	0.00068	0.021
Без снижения вторичной запыленности	100	5.0	0.00	74	100	0.0103	0.00040	0.267
	5-95	3.7	0.41	14	5 – 95	0.0066	0.00074	0.022
Со снижением вторичной запыленности ¹⁾	100	2.0	0.00	13	100	0.0029	0.00004	0.028
	5-95	1.4	0.20	4	5-95	0.0024	0.00045	0.007

¹⁾ Оборудование по снижению уровня вторичной запыленности (ESP или пылеуловитель с рукавными фильтрами) обычно включает очистку газа, содержащего сероводород, посредством сухой или полусухой очистки для устранения выбросов сероводорода и/или избежания засорения/коррозии системы фильтрации. Абсорбция HCl и HF зависит от типа используемого реагента. Пыль от фильтра перерабатывается в стекловаренной печи в большинстве случаев и таким образом, не может, в общем и целом, рассматриваться как снижение выбросов HCl/HF как таковое.

Что касается HCl, низкие показатели (<10 мг/нм³) выбросов могут наблюдаться в том случае, если используются низкие уровни хлорида натрия (из природных месторождений) и высокий уровень содержания стекольного боя. Следует иметь в виду, что в случае высоких уровней местной переработки, связанных с переработкой отфильтрованной пыли, газообразный хлорид будет последовательно формироваться в неочищенный отходящий газ, в частности, когда печной (топочный) газ, содержащий HCl от обработки поверхности выработочной части печи обрабатывается вместе с печными газами в той же системе. В этом случае борьба со вторичными загрязнениями (электростатический осадитель (ESP) или пылеуловитель с рукавными фильтрами со стадией обработки отходящих газов оборудования, расположенного выше по технологической цепочке, с использованием щелочного реагента) не обязательно связан с минимальным

уровнем выбросов, в особенности, поскольку условия, используемые для удаления могут быть неоптимальными для снижения уровня выбросов HCl с помощью того же абсорбирующего реагента.

Фтористые соединения – случайная примесь, которая наблюдается в определенном природном сырье. Она может присутствовать в виде примеси в переработанном стекле (например, из матового стекла, который содержит фтористые соединения, которые, несмотря на то, что исключены по спецификациям стекольного боя, могут присутствовать в небольших количествах). Никаких общих закономерностей наличия низких концентраций фтористых соединений невозможно вывести, хотя они могут быть связаны как с низким уровнем переработанного стекла, так и/или со снижением вторичных выбросов. Что касается HCl, средства борьбы с вторичными загрязнениями, включающие в себя ESP (электростатический осадитель) или пылеуловители с рукавными фильтрами со стадией обработки выхлопных газов выше по технологической цепочке с использованием щелочного реагента и вторичной переработки отфильтрованной пыли, в зависимости от используемого абсорбирующего агента могут быть связаны с низким или высокими величинами HF (фтористоводородной кислоты), которые соответствуют особенно благоприятным или неблагоприятным случаям, и зависят от нескольких параметров (например, типа реагента, условий эксплуатации, уровня сырьевых материалов и т.п.).

В таблице 3.17 представлены значения, касающиеся выбросов металлов применительно как к полному диапазону (100 % данных) так и в среднем по 90-му перцентилю (5-95 % данных) как с системами снижения запыленности, так и без этих систем.

Низкие показатели содержания металлов ($<1 \text{ мг/м}^3$) могут наблюдаться в связи с отводящими газами, сжигаемыми без улавливания и хранения углерода, в благоприятных случаях, в частности, при низких показателях стекольного боя (для примесей свинца), сжигания мазута при низком содержании ванадия или сжигании газа при отсутствии селена в сырье (что справедливо для всех случаев, кроме определенного бесцветного стекла (флинтгласс)). Высокие показатели ($>5 \text{ мг/м}^3$) обычно связаны с высокой нормой расхода стекольного боя (свинец), сжиганием топлива или производством бесцветного стекла (селен).

Таблица 3.17. Выбросы металлов из печей для стеклянной тары, как оснащенных, так и не оснащенных системами снижения выбросов/снижения вторичной запыленности

Выбросы в атмосферу из пла- вильных печей		Выбросы, выраженные в виде концентрации				Выбросы, выраженные в виде фактора выброса			
		Отчетные данные, %	мг/нм ³ 8 % O ₂			Отчет- ные дан- ные, %	Кг/т расплава		
			Сред.	Мин.	Макс.		Сред.	Мин.	Макс.
Pb	Без снижения вторичной за- пыленности	100	1.7	0	22	100	0.0028	0	0.0296
		5-95	1.4	0.0001	9.5	5 – 95	0.0025	0.0000002	0.013
	Со снижением вторичной за- пыленности	100	0.2	0	2.0	100	0.0003	0	0.003
		5-95	0.21	0.000	0.90	5 – 95	0.00032	0.0000011	0.0012
Se	Без снижения вторичной за- пыленности	100	0.67	0	10.0	100	0.00133	0	0.0184
		5-95	0.55	0.008	3.75	5 – 95	0.0012	0.000010	0.0065
	Со снижением вторичной за- пыленности	100	0.13	0	1.88	100	0.0002	0	0.0030
		5-95	0.09	0.001	0.76	5 – 95	0.00014	0.000001	0.0012
Cd	Без снижения вторичной за- пыленности	100	0.04	0	1.10	100	0.00007	0	0.0015
		5-95	0.038	0.00001	0.13	5 – 95	0.03824	0.00001	0.1300
	Со снижением вторичной за- пыленности	100	0.014	0	0.15	100	0.00002	0	0.00027
		5-95	0.013	0.0001	0.08	5 – 95	0.000022	0.0000001	0.00010
As	Без снижения вторичной за- пыленности	100	0.284	0	20	100	0.00052	0	0.040
		5-95	0.13	0.0000	0.67	5 – 95	0.00024	0.00000001	0.0010
	Со снижением	100	0.04	0	0.47	100	0.00007	0	0.00078

Выбросы в атмос- феру из пла- вильных печей		Выбросы, выраженные в виде концентрации				Выбросы, выраженные в виде фактора выброса			
		Отчетные данные, %	мг/нм ³ 8 % O ₂			Отчет- ные дан- дан- ные, %	Кг/т расплава		
			Сред.	Мин.	Макс.		Сред.	Мин.	Макс.
	вторичной за- пыленности	5-95	0.036	0.0002	0.10	5 – 95	0.000062	0.0000004	0.00021
Ni	Без снижения	100	0.10	0	1.0	100	0.00021	0	0.0030
	вторичной за- пыленности	5-95	0.11	0.000009	0.37	5 – 95	0.0001931	0.00000002	0.0008
	Со снижением	100	0.03	0	0.27	100	0.000048	0	0.00048
	вторичной за- пыленности	5-95	0.022	0.0004	0.083	5-95	0.000038	0.000001	0.00022
Cr	Без снижения	100	0.31	0	6.60	100	0.0005	0	0.0103
	вторичной за- пыленности	5-95	0.22	0.000009	1.3	5 – 95	0.00038	0.00000002	0.0023
	Со снижением	100	0.03	0	0.4	100	0.00005	0	0.0007
	вторичной за- пыленности	5-95	0.025	0.00013	0.11	5 – 95	0.000044	0.0000004	0.00020

Применяются измерения как и для замеров уровня запыленности (уровня вторичных загрязнений). Нулевые значения, включенные в диапазон 100%, соответствуют значениям ниже пределов обнаружения.

3.3.2.3. Операции дальнейшей обработки

Применение покрытия горячей поверхности и обработки холодной поверхности может повлечь за собой выбросы дыма и паров, прежде всего HCl и соединений олова.

Обработка горячей поверхности стеклянной тары (стеклянных емкостей) (внешняя поверхность), как правило, производится тетрахлоридом олова, органическим оло-

вом (трихлорид монобутилолова) или тетрахлоридом титата, предназначенными для создания очень тонкого слоя оксида олова или оксида титана на поверхности стекла. В особых случаях производство тары, предназначенной для контакта с определенными фармацевтическими продуктами, к которым применяется обработка SO_3 с целью эффективного устранения ионов выщелачиваемого натрия/ калия с поверхности стекла. В прочих особых случаях, 1,1-дифлуорэтан вводится в бутылки/ флаконы непосредственно после формования для создания поверхности видоизмененного внутреннего контакта, действующей как барьер для миграции ионов. Эта мера в минимальной степени применялась, чтобы избежать образования налета (на внутренней поверхности) на определенной прозрачной стеклянной таре за длительный период хранения в климате с высокой влажностью. Количество используемого материала при этом очень низкое.

Уровни выбросов различаются в зависимости от процесса и зависят от многих факторов, в частности от количества воздуха, используемого в фартуках вытяжки, обычно используемых для улавливания избыточных паров. Характерные показатели выбросов, связанные с использованием операций по покрытию горячей поверхности хлоридом олова с использованием средств по борьбе с загрязнениями, в общем, укладываются в диапазон, сообщаемый в Таблице 3.18.

Таблица 3.18

Загрязняющее вещество	Характерные кон- центрации выбросов	Характерные фак- торы выбросов
	мг/м ³	г/т расплава стекла
Газообразные хлориды, как HCl	15 - 300	3 - 30
Общие твердые примеси	5 - 50	1 - 70
Олово в формуле Sn (газообразное + твердое)	1 - 30	0.2 - 0.8

Следует отметить, что в значительном количестве установок, выбросы от фартуков/ зонтов по обработке горячего изделия обрабатываются в той же системе борьбы с загрязнениями, которая используется для обработки печного отводящего газа.

В остальных случаях, когда выбросы от покрытия поверхности горячего изделия обрабатываются отдельно, типичные уровни концентрации составляют <10 мг/м³ для

вещества твердых частиц, $<5 \text{ мг/нм}^3$ для олова (Sn) и $<30 \text{ мг/нм}^3$ для HCl.

Характерные значения выбросов от деятельности по обработке внутренней поверхности стеклянной тары с SO_2/SO_3 , до проведения специальной обработки печного газа (как правило, влажной очисткой) обычно укладываются в диапазон значений, указанных ниже в таблице 3.19.

Таблица 3.19. Характерные значения выбросов без использования средств по борьбе с загрязнениями от обработки поверхности стеклянной тары SO_2

Загрязняющее вещество	Характерные концентрации выбросов	Типичные факторы выбросов
	мг/нм^3	г/т расплавленного стекла
Оксиды серы, такие как SO_2	200 - 900	100 - 600

Уровни концентрации SO_x после обработки, как правило, укладываются в диапазон значений $<100 - 200 \text{ мг/нм}^3$, выраженных в виде SO_2 .

Массовые выбросы от деятельности дальше по технологической цепочке, как правило, являются достаточно низкими, в силу низкого количества используемых веществ и концентрация будет находиться в сильной зависимости от количества используемого воздуха системе вытяжки.

3.3.2.4 Рассеянные выбросы

Основные источники рассеянных выбросов, характерных для сектора стеклянной тары, касаются загрузочного кармана (кессона) печи, каналов выработочной части печи, зоны формования и операций по обработке поверхности.

Особый вопрос зоны загрузочного кармана (кессона) связан с передачей состава шихты (выбросы пыли) и распадом органических материалов, которые могут присутствовать в стекольном бое.

Газы сгорания и продукты испарения могут выделяться из каналов выработочной части печи.

В зоне формования, формовочные машины высоко механизированы, что может

приводить к возникновению тумана (завесы) из смазочных масел. Газы горения могут возникать из-за термической обработки формы и от леера для отжига.

Обработка поверхности холодного изделия может приводить к возникновению тумана из органических соединений, т.е. полиэтилена и масляной кислоты.

Все указанные вопросы обычно регулируются положениями о гигиене и безопасности труда на рабочем месте, они контролируются согласно допустимым концентрациям в воздухе рабочей зоны и не представляют собой значительных выбросов в атмосферу.

3.3.3 Сливы в воду

Как обсуждалось ранее, основные виды использования воды в этом секторе – это системы очистки, охлаждающей жидкости, охлаждения горячего стекольного брака и увлажнение шихты. Водные выбросы ограничены системой охлаждающей жидкости, водой для очистки и поверхностными сточными водами. Вода для очистки не представляет никакого отдельного вопроса, который бы не был актуальным для какой-либо промышленной установки, в которой присутствуют инертные твердые вещества и потенциально мазут. Очистка системы охлаждения содержит растворенные соли и химические вещества для очистки воды. Качество поверхностной воды будет зависеть от степени отделения при водоотведении и чистоты рабочей площадки.

Для сектора характерен только контур для охлаждения и фрагментации горячего стекольного брака. Эта переработанная вода может содержать мелкие частицы стекла, полученные в результате фрагментации и действия механических скребковых механизмов, используемых для вычерпывания стекла из водяной ванны. Желоба, которые доставляют стекло в систему сбора, могут также нести с собой небольшие количества мазута от машин и масло, или растворимые смеси масла/ воды, используемые в механизмах резки и доставки. Контур, таким образом, обычно включает твердые вещества и сепаратор для очистки масла, который также служит для придания соответствующей тепловой инерции системе в ходе изменения формы или инцидентов в связи с формовочными машинами, когда требуется охлаждение больших количеств стекла. Отделенные твердые частицы стекла обычно перерабатываются в сырье. Охлаждение открытого кон-

тура, в общем и целом, используется для того, чтобы сократить до минимума серьезные происшествия, при которых требуется охлаждение больших количеств горячего стекла (крупные течи из печи или иные инциденты, вызывающие прекращение операций по формованию).

За исключением хозяйственно-бытовых сточных вод, в систему слива попадают только твердые частицы стекла, некоторые загрязнения масла и химические вещества, используемые для очистки системы охлаждающей жидкости. В секторе можно заметить использование таких обычных технологий контроля уровня загрязнения, как отстой, просев, использование сепараторов для отделения масла и нейтрализация.

3.3.4 Прочие отходы

Сектор стеклянной тары перерабатывает большую часть отходов технологического процесса непосредственно на объекте, в частности, сюда относится отбраковка стекла на стадиях формования и контроля качества, но также отходы от обработки сырья, пыль от оборудования для снижения уровня загрязнения, и отложения сульфатов в системе выведения по дымоходу отработанных печных газов. Однако поток отходов пыли от фильтров создается, если применяется требование общего сокращения уровня загрязненности SO_x указанное выше, что возможно при замещении пыли от фильтров для сырья, содержащего серу, либо если переработка пыли от фильтров представляет особые проблемы для качества стекла, или в силу (требований) химии стекла, или требований чистоты цвета. Это может быть справедливо и при очень высокой норме расхода стеклянного боя.

В конце срока эксплуатации печи, вся структура огнеупорных материалов демонтируется и заменяется. Эти операции приводят к образованию от 500 до 200 тонн отходов огнеупорных материалов, которые сортируются и в значительной степени перерабатываются. Только небольшая часть этих материалов признается непригодной к какой-либо переработке и направляется в отвал, если необходимо после соответствующей обработки. Некоторые материалы (например, огнеупоры) могут быть измельчены и переработаны через печь.

Сырье для стекла обычно доставляется навалом, и не приводит к образованию от-

ходов упаковки. Отходы от операций по упаковке продуктов (пластик, картон и дерево) обычно повторно используются или перерабатываются через поставщиков или по другим соответствующим каналам. Прочие отходы, не характерные для сектора, т.е. отработанное масло, барабаны и прочие упаковочные материалы, бумага, батареи, замасленная ветошь, и т.п. утилизируются обычными способами, и в зависимости от обстоятельств, перерабатываются внешней компанией по переработке отходов.

3.3.5 Энергия

Что касается основного сектора производства бутылок и банок, энергия, необходимая для стекловарения стекла составляет более 75 % общих потребностей в энергии для производства стеклянной тары. Что касается производства флаконов, энергия стекловарения может составлять только 50 % совокупной энергии, потребляемой на месте, в силу низкой скорости производства и веса, и применения специальных приемов, таких как полировка пламенем и украшение. Прочие существенные сферы использования энергии – это выработочная часть печи, процесс формования (сжатый воздух и воздух для охлаждения форм), леер для отжига, отопление помещений и затраты общего назначения. Характерные затраты энергии, используемые на каждом этапе производственного процесса, приведены на рис. 3.3.

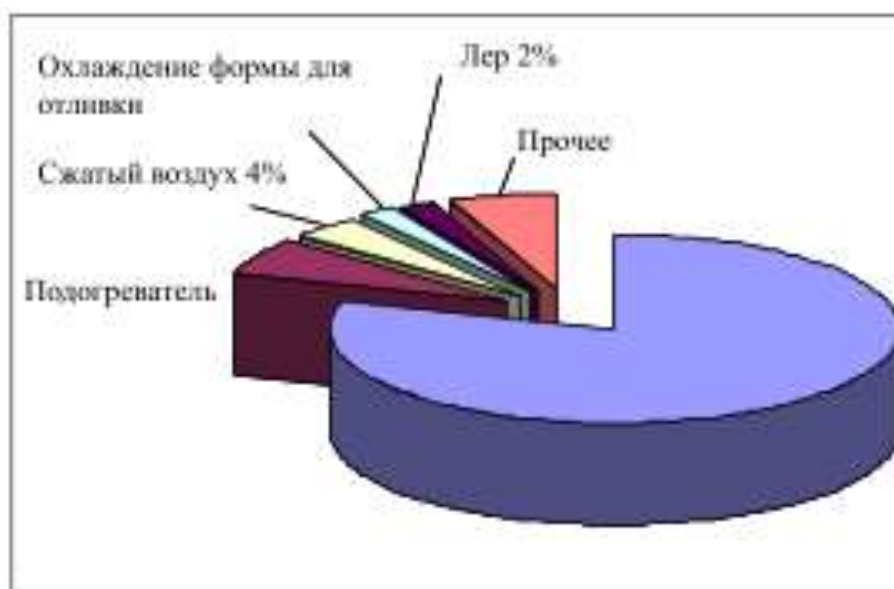


Рис 3.3: Использование энергии для обычного завода по производству стеклянной тары для бутылок/ банок (не обеспечивающего производство флаконов для парфюмерии/ косметики)

В процессе варки природный газ является основным источником энергии – иногда к нему добавляется некоторый процент электроэнергии для обогрева (до 5 %). Имеется несколько примеров, при которых электроварка производится на 100 %, но они крайне редки. Электричество или природный газ используются для обогрева выработочной части печи и лера для отжига. Электроэнергия используется для направления работы компрессоров воздуха и вентиляторов, необходимых для процесса. Энергия требуется для целей общего назначения, которые включают водоотлив и обычно парогенерацию для обогрева трубопроводов, увлажнения/ нагревания шихты и иногда для отопления зданий. В некоторых случаях, прежде всего для более крупных печей, котлы-утилизаторы устанавливаются для производства требующего пара – или полностью или частично.

Потребление энергии для технологического процесса будет зависеть от многих факторов, и основные из них охарактеризованы в Разделе 3.2.3.

В таблице 3.20 представлены данные по суммарному прямому энергопотреблению производственного процесса на чистую тонну продукта для производства бутылок/ банок и флаконов, как по всему диапазону (100 % данных), так и в среднем по 90-му перцентиллю (5-95 % данных).

Таблица 3.20: Суммарное прямое энергопотребление на одну чистую тонну продукта для производства бутылок/ банок и флаконов.

Тип продукта	Отчетные данные	Удельное совокупное энергопотребление (ГДж/чистая тонна продуктов)		
		Среднее	Мин.	Макс.
Все типы продуктов	100 %	8.7	3.7	31.5
	5-95 %	7.7	5.3	16.8
Производство бутылок и банок	100 %	6.9	3.7	13.4
	5-95 %	6.9	4.7	8.5
Производство флаконов	100 %	16.1	7.2	31.5
	5-95 %	15.5	8.3	30.9

Пределы энергопотребления, которые наблюдаются в секторе, исключительно широки. Флаконы (специальные бутылки и банки парфюмерного, косметического и фармацевтического назначения) имеют значительно более высокое удельное энергопотребление, чем обычные бутылки и банки. Более высокая температура и более длительный срок выдержки, требующийся для производства высококачественного стекла (флаконы или тара для парфюмерии) повышает энергопотребление. Эта продукция из стекла обычно производится в достаточно небольших печах, которые по своему характеру являются менее эффективными по сравнению с плавильными печами, имеющими большую вместимость. Кроме того, что касается этих продуктов, энергия требуется для особых отделочных операций, таких как полировка пламенем или покрытие эмалью, которые проводятся на заводе, но также учитывая низкую норму расхода стеклянного боя и меньшие размеры печи и более низкое соотношение чистого производства/ сваренного стекла, вызванное более высокими требованиями качества. Операции по финишной обработке могут также производиться в рамках основных заводов по производству стеклотары, в связи с которыми наблюдаются более высокие показатели энергопотребления. Более низкие значения относятся в частности к заводам, имеющим доступ к более высоким количествам пригодного стекольного боя, поступающего извне.

Аналогичный диапазон значений можно наблюдать в таблице 3.12 и на рис. 3.4, где указываются данные по энергозатратам, связанным исключительно с процессом

стекловарения.

Энергопотребление увеличивается по мере увеличения срока эксплуатации печи, в силу ухудшения изоляции и более низкой эффективности рекуперации тепла от отходящих газов печи. Для регенеративной печи, для которой проводится надлежащее техническое обслуживание, увеличение энергопотребления в силу повышения срока эксплуатации, может оцениваться в пределах 1.5-3 % ежегодно, при этом более низкий показатель связан с печами, для которых проводится более качественное техобслуживание.

На рисунке 3.4 показаны статистические данные по энергии стекловарения (ГДж на тонну сваренного стекла, скорректированные по 50 % стеклянного боя) с указанием типов печей и диапазона их размеров. Эта цифра четко указывает на более высокое энергопотребление для печей меньшего размера, в частности для скорости вытягивания (удельного съема стекломассы) менее 100 тонн в сутки, хотя этот эффект соединяется с типом продукта, который обычно ассоциируется с печами меньшего размера, т.е. производящими более качественное стекло для флаконов. Для данного диапазона размеров печей, ванны печи с подковообразным пламенем представляются несколько более энергоэффективными, чем печи с поперечным направлением пламени, что соответствовало в частности несколько большей площади поверхности для теплопотерь через поверхность ограждающих конструкций.

Данные для кислородно-топливных печей, включая электроэнергию, необходимую для выработки кислорода, указывают на энергоэффективность равную той, что характерна для регенеративных печей большего диапазона размеров.

Процент стекольного боя, используемого в составе шихты, оказывает значительное и систематическое влияние на энергопотребление печи. Для проведения сравнения различных типов печей при сопоставимых условиях, их показатели энергопотребления стандартизированы по 50 % стекольного боя (см. вводную часть к Таблице 3.12 для получения более подробной информации).

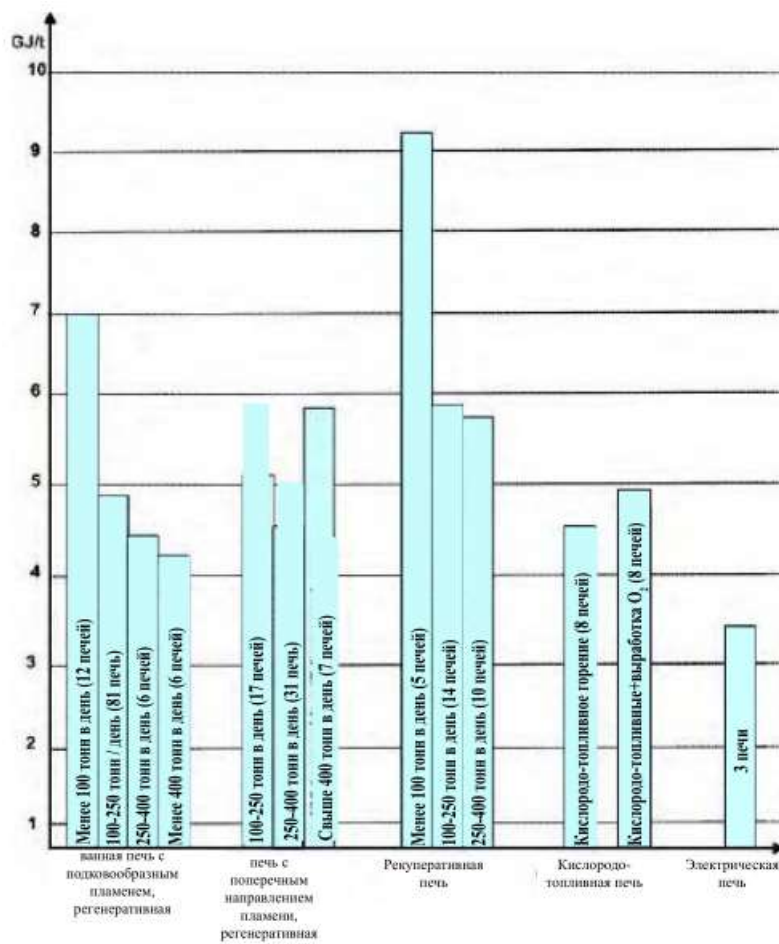


Рис. 3.4: Среднее энергопотребление в печах для производства стеклянной тары, выраженное в ГДж/т сваренного стекла и стандартизированное по 50 % стеклянного боя.

3.4 Листовое стекло

Основной продукцией технологии производства листового стекла, разумеется, является сам продукт, который составляет приблизительно 70 % от вводимого сырья. Остальная доля приходится на выбросы в атмосферу (10 - 20 %), состоящие главным образом из CO₂ от распада карбонатов и отходы стекла (стеклянный бой) – 10-20 %, которые возникают от обрезки боковой кромки, измерений и образования разломов в продукте. Стекольный бой обычно непрерывно перерабатывается в печи, и, таким образом, продукт фактически представляет до 85 % исходного сырья.

3.4.1 Вводимые факторы производственного процесса

В секторе плоского стекла, по сравнению с прочими секторами стекольной промышленности, обычно наблюдается меньше вариаций в составе стекла. Однако различные производители могут выбирать несколько различные способы достижения конечного состава в зависимости от конкретных предпочтений или различий в поставках сырья. Сюда можно отнести конкретные различия в количестве используемого стеклянного боя, любые красители и процессы прямого нанесения покрытия. Основное базовое сырье, используемое в этом секторе, перечислено в таблице 3.21 ниже.

Таблица 3.22: Материалы, используемые в секторе производства плоского стекла

Описание	Материалы
Материал для формирования стекла	Кварцевый песок, технологический стеклянный бой (иногда также стеклянный бой, остающийся после использования изделий)
Промежуточные и модифицирующие стекло материалы	Карбонат натрия, известняк, доломит, сульфат кальция, поташ и гипс, нефелиновый сиенит, полевошпат, доменный шлак, угольная пыль и отфильтрованная пыль
Окислители и осветляющие вещества стекла	Сульфат натрия, уголь, нитрат натрия
Красители для стекла	Дихромат калия, оксиды переходных металлов, оксиды церия. Селен
Процессы прямого нанесения покрытия	Кремниевые соединения (например, тетрахлорид кремния, карбонаты кремния), галоидангидриды сильных кислот
Топливо	Природный газ, электричество, резервное топливо - мазут
Вода	Централизованное водоснабжение и местные природные источники (колодцы, реки, озера)
Вспомогательные материалы	Упаковочные материалы (включая пластик, бумагу, картон и дерево), Смазочные материалы для машин, в особенности минеральные масла. Технологические газы, включая азот, водород и

Описание	Материалы
	диоксид серы, олово в флоат-ванне Химические вещества для очистки воды для охлаждения воды и отработанной воды

Крупнейшие вводимые факторы, используемые в процессе и материалы, содержащие кремний (песок и стеклянный бой) а также карбонаты (кальцинированная сода, доломит и известняк). Сырье для стекольной шихты смешивается в правильной пропорции для производства разнообразных композиций из стекла, описанных в главе 2, разделе 2.5. В характерных композициях для флоат-стекла оксиды кремния, кальций и магний составляют примерно 98 % стекла (SiO_2 : 72.6 %, Na_2O : 13.6 %, CaO : 8.6 %, и MgO : 4.1 %). Диоксид кремния получается главным образом из песка и стеклянного боя, стеклянный бой также составляет пропорционально более низкий уровень прочих оксидов. Оксид натрия получается главным образом из кальцинированной соды, оксид кальция из доломита и известняка, а оксид магния из доломита.

Во всех кроме исключительных случаев, заводы по производству плоского стекла перерабатывают весь возвратный стекольный бой, напрямую в печь. Плоское стекло обычно перерабатывается в другие продукты для строительной и автомобильной промышленности, и стеклянный бой, полученный из этой дальнейшей трансформации, также перерабатывается во многих случаях. Количество переработанного стеклянного боя обычно ограничено наличием (доступностью) стеклянного боя надлежащего качества и химической совместимостью. Совокупный стеклянный бой, загруженный в печь, как правило, составляет приблизительно 20 %, но может варьироваться от 10 до 40 % для печи для производства флоат-стекла. Все больше и больше, отходы от процессов производства повторно используются или перерабатываются в промышленных установках по производству флоат-стекла, а отходы с небольшим количеством загрязнений могут использоваться производителями стеклотары или производителями прочих типов продукции из стекла. Примерно 95 % отходов стекла от переработчиков перерабатывается так или иначе.

Процессы прямого нанесения покрытия являются высокоспециализированными и зависят от конкретных случаев.

В таблице 3.21. представлены некоторые из характерных видов сырья, используемых в данных процессах.

Основными назначениями воды, которые являются общими с другими секторами стекольной промышленности, являются охлаждение, очистка и увлажнение шихты. Плоское стекло в основном производится на непрерывном конвейере (флоат-стекло), который выходит из леера для отжига при температуре 200 °С. Большая часть воды, потребляемой на заводе, используется для охлаждения/ промывки горячей ленты, и не содержит загрязняющих веществ, хотя она может включать некоторое количество Na_2SO_4 . Фактическое потребление воды и выбросы водяного пара могут варьироваться в соответствии с местными условиями (например, температура окружающего воздуха и жесткость подаваемой воды).

Печи для производства плоского стекла обогреваются исключительно природным газом, в некоторых случаях используется дополнительный электроподогрев, на который приходится до 10 % затрат энергии. Также может использоваться кислородно-топливный обогрев. Применение кислородно-топливного горения в секторе производства плоского стекла не представляет каких-либо существенных технических трудностей. Потенциальные недостатки включают высокие затраты на разработку специалистами огнеупоров и затраты на кислород, непосредственно связанные с ценой на электроэнергию.

3.4.2 Выбросы в атмосферу

3.4.2.1 Сырье

В большинстве современных процессов производства плоского стекла, силос и смесительные камеры оснащены системами, оборудованными фильтрами, которые ограничивают выбросы пыли до уровня менее 5 мг/нм³. Масса выбрасываемых загрязняющих веществ, как из систем, оборудованных фильтрами, так и из систем, необорудованных фильтрами, зависит от количества операций по перегрузке сырьевого из одной тары в другую, а также количества перегружаемого материала.

3.4.2.2 Стекловарение

В секторе производства плоского стекла наибольшие потенциальные выбросы в окружающую среду приходится на долю выбросов в атмосферу от операций по плавлению. Вещества, выбрасываемые в окружающую среду, и источники выбросов, с которыми они связаны, указываются в Разделе 3.2.2.1. Почти все печи в этом секторе работают на природном газе, и относятся к типу регенеративных печей с поперечным направлением пламени.

Сводная информация о пределах выбросов в атмосферу содержится в таблице 3.22 ниже. Эта таблица демонстрирует показатели, приведенные отдельно для печей, не оснащенных системами борьбы с загрязнениями и печей, оборудованных средствами борьбы с первичными и/или вторичными загрязнениями. Данные охватывают печи, производящие прозрачное флоат-стекло при обычных эксплуатационных условиях.

Следует отметить, что приемы выборки и измерений, используемых для сбора данных, не являются универсальными, и при использовании стандартизованных методов, их погрешность не принимается во внимание в конечной информации о результатах.

Таблица 3.22: Уровень выбросов от печей производящих плоское стекло, как оборудованных так и не оборудованных системами борьбы с загрязнениями

Вещество	Печи, не оборудованные средствами борьбы с загрязнениями в мг/нм ³ (кг/т сваренного стекла)	Печи, оборудованные средствами борьбы с загрязнениями посредством первичных/ вторичных методов, в мг/ нм ³ (кг/т сваренного стекла)
Оксиды азота (в виде NO ₂)	1250 - 2870 (2.9 - 7.4)	495 - 1250 (1.1 - 2.9)
Оксиды серы (в виде SO ₂)	365 - 3295 (1.0 - 10.6)	300 - 1600 (0.5 - 4.0)
Твердые частицы	80 - 250 (0.2 - 0.6)	5.0 - 30 (0.02 - 0.08)
Фтористые соединения (HF)	<1.0 - 25 (<0.002 - 0.07)	<1.0 - 4.0 (<0.002 - 0.01)
Хлориды (HCl)	7.0 - 85 (0.06 - 0.22)	4.0 - 40 (<0.01 - 0.1)
Металлы, кроме селена (Ni,	<1.0 - 5.0 (<0.001 - 0.015)	<1.0 (<0.001)

Вещество	Печи, не оборудованные средствами борьбы с загрязнениями в мг/нм ³ (кг/т сваренного стекла)	Печи, оборудованные средствами борьбы с загрязнениями посредством первичных/ вторичных методов, в мг/ нм ³ (кг/т сваренного стекла)
V, Co, Fe, Cr)		
Селен (цветное стекло)	30 - 80 (0.08 - 0.21)	<5 (<0.015)
Эталонные условия: сухость, температура 0 °C (273 К), давление 101.3 кПа, 8 % кислород по объему.		

Термин «Печи, не оснащенные средствами борьбы с загрязнениями» относится к печам, эксплуатируемым при нормальных условиях без определенной технологии контроля первичного или вторичного загрязнения.

Для печей, не оснащенных средствами борьбы с загрязнениями, максимальные выбросы NO_x происходили от газовых установок с высокой загрузкой. Печи, оснащенные средствами борьбы с загрязнениями, оборудованы основными средствами, такими как процесс Феникс, или вторичными средствами, такими как SCR (избирательная каталитическая редуция) или 3R (добавки углеводородов – природного газа – для химического восстановления NO_x).

Твердые частицы, выделяемые из неконтролируемых печей, происходят главным образом от конденсации в отходящих газах соды и компонентов сульфатов, испаряющихся из расплава. Основной компонент твердых частиц – сульфат натрия, относительно безвредное растворимое соединение. Прочие незначительные компоненты получены из сырья, конструкции печи и мазута, если он используется.

Для печей, не оборудованных средствами борьбы с загрязнениями, наибольшие выбросы HCl и HF происходят из установок с относительно высоким уровнем содержания хлоридов и фторидов в сырье.

Наибольшие выбросы металлов от печей, не оборудованных средствами борьбы с загрязнениями, приходится на долю установок, использующих красители (Se, Co, Fe и Cr), а наименьшие — на долю установок на газовом топливе, производящих прозрачное стекло.

Пределы выбросов SO_x , пыли, HCl , HF и металлов от печей, оборудованных средствами борьбы с загрязнениями, связаны с установками, эксплуатирующими системы со средствами снижения загрязненности твердыми примесями (как электростатический осадитель и в одном случае пылеуловитель с рукавными фильтрами), в сочетании с очисткой газов, содержащих сероводород, с целью обеспечения соответствия требованиям местной разрешительной документации. В этих условиях выбросы металлов часто находятся ниже пределов обнаружения.

При производстве дымчатого/тонируемого стекла, содержащего селен и красящего агента, неконтролируемые выбросы селена, как правило, составляют от 30 до 80 мг/нм^3 . Выбросы, обычно, составляют менее 5 мг/нм^3 со значениями в диапазоне 1-3 мг/нм^3 , если применяются меры по борьбе со вторичными загрязнениями (фильтрация в сочетании с очисткой кислых газов). На сегодня существует очень мало случаев снижения выбросов селена от печей, производящих флоат-стекло, в особенности применительно к пламенным печам.

Эффективность оборудования для контроля уровня загрязнений зависит от типа реагента и давления прочих газообразных загрязнителей (сопутствующие абсорбируемые виды) в печном газе, таких как SO_x , с последствиями в виде конкурирующих параллельных реакций.

3.4.2.3 Оконечные операции

Из-за герметического закупоривания секции ванны расплава, выбросы паров олова из флоат-ванны оказались очень низкими, и это, как правило, контролируется только для того, чтобы обеспечить низкие уровни воздействия на рабочем месте. Этот вопрос далее не рассматривается в настоящем документе.

Горячая обработка плоской поверхности стекла на выходе из флоат-ванны, как правило, осуществляется с целью улучшения химической стойкости стекла. Процесс требует использования SO_2 с последующим газообразными выбросами, как правило, в диапазоне от 150 - 300 мг/нм^3 (0,02 - 0,04 кг/т расплавленного стекла); однако, в случае специальных производственных процессов выбросов может быть больше.

Процессы прямого нанесения покрытия, применяемые к листовому стеклу, для каждого случая особенные, и используемое сырье и выбрасываемые загрязняющие вещества будут меняться. Среди технологий покрытия, одной из самых важных является прямое пиролитическое химическое осаждение из паровой фазы, включающее использование газообразной химической смеси, которая взаимодействует с горячей поверхностью стекла, что приводит к осаждению покрытия, которое связывается со стеклом. Разнообразие материалов, состоящих в основном из металлов и оксидов, оседает на поверхности стекла.

Нанесение покрытия путем распыления металлов из металлических мишеней на поверхности стекла, как правило, выполняется в автономном режиме при очень низком давлении в специальных вакуумных камерах. Выбросы будут, как правило, содержат кислые газы (плавиковая кислота, соляная кислота) и мелкие частицы (например, оксиды кремния и олова).

Как правило, деятельность в конечных звеньях производственно-сбытовой цепи не генерирует выбросы массы основного источника, хотя она, как правило, регулируется местным законодательством о защите окружающей среды, и системы борьбы с загрязнением устанавливаются соответственно. Доступна ограниченная информация относительно уровней выбросов от этих видов деятельности. Типичные предельные значения выбросов, которые применяются, например, соляная кислота: от 10 до 30 мг/нм³, плавиковая кислота: 5 мг/нм³, твердые частицы: 20 мг/нм³, и соединения олова: 5 мг/нм³.

3.4.2.4 Рассеянные выбросы

Основной источник рассеянных выбросов в секторе листового стекла связан с зоной загрузки шихты стекловаренной печи.

Выбросы пыли остатков шихты, дымовых газов, которые содержат летучие соединения, присутствующие в составе шихты, являются основной проблемой. Селен, используемый для окрашивания стекла, может присутствовать в выбросах зоны загрузки.

Вытяжные устройства часто используются для сброса выбросов из зоны загрузки в атмосферу, а рукавные фильтры применяются для удаления пыли.

3.4.3 Выбросы в воду

Как уже говорилось ранее, основными видами использования воды в этом секторе является очистка, охлаждение и увлажнение шихты. Водные выбросы ограничены очисткой системы воды для охлаждения, промывочной водою и стоком поверхностных вод. Промывочные воды не представляют особых проблем, которые не были бы характерны для какого-либо промышленного объекта, т.е. инертные твердые вещества и масла. Очистка системы охлаждения будет включать растворенные соли и химикаты для обработки воды. Качество поверхностных вод будет зависеть от степени дренажной сегрегации и чистоты объекта.

Исключая бытовые сточные воды, сбросы обычно содержат только стеклянные твердые частицы, потенциальное загрязнение масла и химических веществ от обработки системы воды для охлаждения. Простые методы борьбы с выбросами, такие как отстой, скрининг, сепараторы для очистки масла и нейтрализация находятся в пределах сектора.

3.4.4 Другие отходы

Везде, где возможно, пыль шихты возвращается к емкости сырья, и повторно используется в процессе. Отходная шихта постепенно возвращается в процесс путем включения небольшими количествами в последующих партиях, где это возможно. Обычно 99 % от стеклянных отходов от конца процесса изготовления стекла, стекловарения, отходы и поврежденное стекло, возвращается для переплавки.

В конце кампании печи, огнеупорная конструкция (иногда и регенераторы) демонтируются и заменяются. Как и в секторе стеклянной тары, этот материал, насколько возможно, извлекают для повторного использования или продажи. Вопросы, касающиеся материалов, содержащих хром, обсуждаются в разделе 3.2.2.3.

Большинство стекольного сырья, как правило, поставляется навалом и не влечет отходов тары. Отходы от упаковки продукта (пластик, картон, дерево и т.д.), как правило, повторно используются или перерабатываются, если это возможно. Другие отходы, не характерные для сектора, удаляются с помощью обычных мероприятий.

3.4.5 Энергоресурсы

Распределение потребления энергии для типичного процесса флоат-стекла продемонстрировано на рисунке 3.5, но использование энергии в определенных процессах может слегка отличаться. Видно, что более 3/4 энергоресурсов, используемых на заводах флоат-стекла, тратится на стекловарение стекла. Формование и отжиг занимают следующие 5 % от общей величины. Остальная энергия используется для услуг, систем управления, освещения, отопления завода и процессов после формования, таких как контроль и упаковка. Распределение, представленное на рисунке 3.5, не включает деятельность в конечных звеньях производственно-сбытовой цепи, такую как нанесение покрытия, резка, термическая закалка, ионообменные процедуры, производство зеркал и т.д., которые могут проводиться за пределами установки.

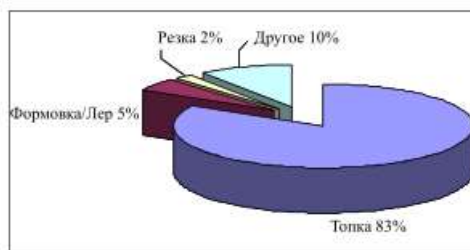


Рисунок 3.5: Распределение использования энергии для типичного процесса производства флоат-стекла

Печи флоат-стекла почти исключительно работают на природном газе, иногда с повышением потребления электроэнергии до 10 %. Многие печи могут работать на мазуте или газе, или потенциально и на том, и на другом топливе на разных горелках. Есть некоторые примеры электрических печей, но они небольшие и предназначены для специального применения.

Подогревательные камеры и леры для отжига нагреваются газом или электричеством. Электрическая энергия используется для привода воздушных компрессоров и вентиляторов, необходимых для этого процесса. Общие услуги включают в себя откачку воды, как правило, производство пара для хранения топлива и обогрев трубопроводов, увлажнение/нагревание шихты, а иногда и отопления зданий. В некоторых случаях,

большие печи были оснащены котлами-утилизаторами, чтобы произвести часть или все объем необходимого пара. Ограниченное количество печей оснащены турбинами и генераторами для производства электроэнергии из пара.

Потребление энергии в процессе будет зависеть от многих факторов, основными из которых являются те, которые изложены в Разделе 3.2.3. Диапазон расхода энергии в пределах сектора довольно узкий, по сравнению с другими секторами, потому что есть относительно небольшое изменение в типе используемой печи. Удельный расход энергии сильно зависит от размера печи; печи с более чем 800 т/сутки расплавленного стекла требуют на 10 – 12 % меньше энергии по сравнению с печью, которая производит около 500 т/сутки. Старение печи приводит к увеличению потребления энергии, эквивалентной 1 - 1,3 % в год в среднем. В России энергетические уровни для стекловарения, как правило, находятся в диапазоне 5,2 до 8,7 ГДж/т расплавленного стекла, в основном, в зависимости от размера и возраста установки, со средним значением 7,5 ГДж/т стекла. Значения до 5,0 ГДж/т расплавленного стекла могут быть достигнуты в начале кампании печи для высокомоощных печей. Конкретные потребности в энергии для процесса в целом, как правило, составляют меньше, чем 8,0 ГДж/т.

3.5 Непрерывное стекловолокно.

Массовым расходом основной мощности является продукт, который может составлять от 55 – 80 % от загрузки сырья. Потери возникают в результате выбросов в атмосферу, твердых остатков и водных отходов. Расплавленное стекло представляет около 80 – 85 % исходного сырья печи. Большую часть потерь составляют газообразные выбросы, в особенности, CO₂ от разложения карбонатов. Отходы волокон и слива стекла может быть в пределах от 10 до 30 % входных ресурсов технологического процесса. В таблице 3.23 ниже представлены типичные сводные данные ввода/вывода для изготовления непрерывных нитей стекловолокна.

Таблица 3.23: Обзор входов и выходов сектора непрерывного стекловолокна

	Объем/т продукта			
	Вход	Единица	Выход	Единица

	Объем/т продукта			
	Вход	Единица	Выход	Единица
Сырье для стекла				
Кремнезём	300 - 457	кг		
Колеманит	0 - 250	кг		
Карбонат кальция	300 - 411	кг		
Глина	395 - 544	кг		
Флюорит	0 - 20	кг		
Другие (доломит, обожженная известь, борная кислота и т.д.)	3 - 153	кг		
Выбросы в атмосферу				
Пыль без системы борьбы с выбросами			1,4 - 2	кг
Пыль с низким или безборным формированием в качестве меры по снижению выбросов			<0,14– 0,35	кг
Пыль в конце производственного цикла системы по сокращению выбросов			0,02 – 0,24	кг
CO ₂ от разложения сырья			0 - 200	кг
CO ₂ от сжигания			450 - 1000	кг
Водяной пар от сгорания / разложения сырья			180 - 800	кг
Вода из процессов сушки			75 - 200	кг
NO _x (как NO ₂) от авиатоплива			2,7 – 16,5	кг
NO _x (как NO ₂) от кислородного топлива			0,3 – 2,0	кг
SO _x (как SO ₂)			0,05 - 8	кг
Плавиковая кислота			<0,5	кг
Соляная кислота			0,03-0,12	кг
Вода от испарения, охлаждения			3200	кг
Летучие органические соединения в зоне формирования, печах			0,1 – 0,5	кг
Баланс связующих продуктов				
На момент поставки	Полимеры (~50 % твердое	20 - 40	кг	

		Объем/т продукта			
		Вход	Единица	Выход	Единица
	вещество)				
На момент поставки	Силан	1 - 2	кг		
На момент поставки	Смазки	1 - 5	кг		
На момент поставки	Другое	0 - 10	кг		
Сухие твёрдые вещества	Связующее на стекле			4 - 20	кг
Сухие твёрдые вещества	Связующее в сточных водах			1 - 13	кг
Сухие твёрдые вещества	Связующее в твердых отходах			<1	кг
	Связующее в воздухе (см. летучие органические соединения выше)				кг
Водный баланс	Общий объем	4000 15000	-кг		
	Добавлено для связующего	<200	кг		
	Для охлаждения (добавлено)	>1500	кг		
	Для опрыскивания, чистки	>3000	кг		
	В отходах стекла			10 - 20	кг
	В сточных водах			2000 11000	-кг
	В воздухе из-за испарения (печи, градирни и т.п.)			1500 - 4000	кг
Твердые отходы (сухих веществ)					
	Стекловолокно			60 - 250	кг
	Отходы связующего			1 - 13	кг

		Объем/т продукта			
		Вход	Единица	Выход	Единица
Электроэнергия	Общий объем	10 - 25	ГДж		
Электроэнергия для стекловарения (печь + НПЗ + форкамеры)		7 - 18	ГДж		

3.5.1 Входные ресурсы технологического процесса

Химический состав волокна варьируется в зависимости от типа стекла и его эксплуатационных характеристик, и обычно выражается через оксиды элементов, которые он содержит. Трудно определить «характерный» состав шихты, кроме того, что приведено в таблице 3.23 выше. Основные сырьевые материалы отбираются и смешиваются для получения конечных желаемых составов стекла после стекловарения. Сырье представляет собой мелкий гранулометрический состав с тем, чтобы получить очень высокий уровень однородности шихты и расплава. Типовые виды стекла и диапазоны состава приведены в Разделе 2.6. В таблице 3.24 представлены основные сырьевые материалы, используемые для получения таких составов.

Таблица 3.24: Материалы, используемые в секторе непрерывного стекловолокна

Описание	Материалы
Стеклообразователь	Кварцевый песок
Модификаторы стекла	Карбонат кальция, оксид кальция, оксид алюминия силикат, колеманит, борат кальция, бура, борная кислота, полевошпат, плавленый шпат, сульфат кальция, карбонат натрия, карбонат калия, сульфат натрия, оксид цинка, оксид титана или рутил, оксид циркония, доломит, известняк и оксид железа
Материалы для покрытий	Материал покрытия будет зависеть от конечного использования продукта. Типичные покрытия: пленкообразующие (например, поливинилацетат, крахмал, полиуретан, эпоксидные смолы); связующие агенты (например, органофункциональные силаны); модификаторы pH (например, уксусная кислота, соляная кислота,

	соли аммония); и смазки (например, минеральные масла, поверхностно-активные вещества)
Связующие для вторичных продуктов	Поливинилацетат, насыщенные полиэфирные порошки, порошки фенольной смолы
Топливо	Природный газ, электричество
Вода	Питания от сети и местные природные ресурсы (водопровод, реки, озера и т.д.)
Вспомогательные материалы	Упаковочные материалы, включая пластмассу, бумагу, картон и т.д. Технологический газ, кислород Химреагенты, применяемые для обработки воды для охлаждения воды и сточных вод

Наибольшие входные ресурсы в процесс составляют кварцевый песок, щёлочь/карбонаты щелочноземельных металлов и оксидов, оксид алюминия и борсодержащие материалы. В составе стекла типа Е оксиды кремния, натрия, калия, кальция, магния, бора и алюминия составляют более 95 % от стекла. Доминирующими оксидами и основными материалами, из которых они получены, являются: SiO_2 (53 – 60 % песка), $\text{CaO} + \text{MgO}$ (20 – 24 % известняка, доломита), B_2O_3 (0 – 10 % Colemanит, борные руды и т.д.), Al_2O_3 (11 – 16 % оксида алюминия), а $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (<2 % кальцинированной соды/поташ).

Лакокрасочные материалы представляют собой очень небольшую долю от массы продукта, как правило, от 0,5 до 2 %. Они состоят в основном из водных растворов полимеров, как правило, 50 % твердых веществ, а также меньшего количества других материалов, указанных в таблице 3.24.

Вода используется для охлаждения, очистки, подготовки нанесения, а в некоторых случаях для мокрой очистки газов. Одной из основных характеристик производства непрерывной нити стекловолокна является необходимость большого количества воды для охлаждения. Каждая втулка воды требует снижения температуры нити очень быстро со 1250 °C до температуры окружающей среды. Это охлаждение достигается за счет передачи тепла с металлических стержней, близких к кончикам втулки, и охлаждения за

счет циркуляции воды, проходящей через холодный воздух нитей и водяных струй. Охлаждающая вода также необходима возле печи и форкамер, как правило, в полузакрытые цепи и общие потоки часто составляют несколько тысяч м³/ч.

Значительные объемы воды используются также в подготовке покрытия и заливаются в формирующие зоны/зоны намотки. Общее потребление воды на тонну готовой продукции составляет, как правило, от 4 до 20 м³, потери системы охлаждения составляют около 20 % от этого показателя.

3.5.2 Выбросы в атмосферу

3.5.2.1 Сырье

В большинстве современных процессов, бункеры и емкости для смешивания оснащены системами фильтрации, которые снижают выбросы пыли до уровня ниже 5 мг/нм³. Массовые выбросы систем с фильтром и без фильтра будут явно зависеть от количества передач и количества используемого материала.

3.5.2.2 Варка стекломассы

В секторе непрерывного стекловолокна, наибольшие потенциальные выбросы в окружающую среду составляют выбросы в атмосферу во время варки стекломассы. Основные веществ, выбрасываемые и связанные с источниками, определены в Разделе 3.2.2.1. Большинство печей, работающих в этом секторе, представляют собой рекуперативные печи на природном газе с приростом кислорода и/или электрической мощности.

Выбросы пыли в процессе стекловарения преимущественно состоят из щелочных и сульфатов щелочно-земельных металлов и боратов (например, натрия/калия/сульфат кальция и натрия/калия/ бората кальция). В то время как конечный продукт из стекла содержит около 6 – 8 % оксидов бора (как В₂О₃), выброс пыли может быть образован из 85 – 90 % соединений бора, полученных в связи с явлениями летучести и конденсации. Применение высоких уровней оксидов бора в постановке состава шихты в сочетании с низкой или высокой концентрации оксидов щелочных металлов определяет механизм

формирования пылевых выбросов и возможное наличие значительных количеств газообразных соединений бора в дымовом газе (HBO_2 и H_3BO_3).

В частности, в производстве боросодержащего стекла типа Е, высокие уровни бора испускаются в газообразной форме при температуре до 60 °С и, как следствие, определение уровней выбросов для пыли и газообразных видов бора может усложняться. В этом случае, эффективность борьбы с выбросами бора из дымовых газов требует применения подходящего способа промывки, так как фильтрация пыли удаляет только часть бора. На примере, представленном в таблице 3.25, показан массовый расход соединений бора, измеренный до и после обработки отходящих газов, для эксплуатационной установки, снабженной скруббером сухой очистки плюс рукавной фильтр и дополнительный влажной промывки системы для борьбы с газообразными соединениями бора.

Таблица 3.25: Распределение соединений бора при различных температурах и стадий обработки дымовых газов

Температура отходящих газов	Условия отбора проб	Всего частиц	Всего соединений бора (частицы и газообразные), выраженные в B_2O_3
°С		кг/ч	кг/ч
189	Необработанные отходящие газы	3,14	11,2
164	После рукавного фильтра	0,30	7,25
108	После рукавного фильтра и мокрой очистки газов	0,29	2,96

Краткая информация о диапазоне выбросов в атмосферу приведена в таблице 3.26, где представлены данные, относящиеся к применению как первичных, так и вторичных методов борьбы с выбросами.

Таблица 3.26: Уровни выбросов из печей, производящих пряжу из непрерывного стекловолокна

Вещество	Техники борьбы с первичными загрязнениями в мг/нм ³ (¹) (кг/т сваренного стекла)	Приемы борьбы со вторичными загрязнениями в мг/нм ³ (кг/т сваренного стекла)
Оксиды азота (как NO ₂) с кислородно-топливным горением	600 - 1600 (2.7 - 7.2)	Примеры борьбы со вторичными загрязнениями отсутствуют
Оксиды азота (как NO ₂) с кислородно-топливным горением	(0.3 - 1.9)	Примеры борьбы со вторичными загрязнениями отсутствуют
Оксиды серы (как SO ₂)	150 - 1200 (0.75 - 6.0)	Примеры борьбы со вторичными загрязнениями отсутствуют
Твердые частицы	(<0.14 - 0.35)	5 - 50 (0.02 - 0.24)
Фтористые соединения (HF)	<20 (<0.09) (никаких добавлений фторида) 50 - 400 (0.25 - 2.0) (добавка фторида)	<20 (<0.1)
Хлориды (HCl)	<10 (<0.05)	<10 (<0.05)
Металлы первой группы (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr ^{vi})(²)	<1 (<0.0045)	<1 (<0.0045)
Металлы групп 1+2 (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr ^{vi} , Sb, Pb, Cr ^{III} , Cu, Mn, V, Sn)(²)	<3 (<0.014)	<3 (<0.014)
(¹) Величины, указанные в концентрации (мг/нм ³) относятся к следующим состояниям: сухость, температура 0 °C (273K), давление 101.3 кПа, 8 % объемного кислорода. (²) См. определение металлов группы 1 и 2 в Таблице 3.4, раздел 3.2.2.1.		

Основные приемы, применяемые для сокращения выбросов пыли, заключаются в рецептах шихты с низким содержанием оксида бора или не содержащих бор вообще. Использование рецептов шихты, не содержащих бора, и тщательный контроль над пылеуносом компонентов шихты, позволяет сократить содержание твердых примесей до уровня менее 0.14 кг/т сваренного стекла при эксплуатации печей на кислородно-

топливном горении. В отчетах сообщалось о данных на уровне 0.03 кг/т стекла, однако неизвестно, какими должны быть особые эксплуатационные условия на получения столь низких показателей. Более высокие уровни выбросов (до 0.35 кг/т стекла) можно наблюдать при использовании сырья, имеющего свойства растрескивания при обжиге (т.е. доломит). Без использования основных или вспомогательных мер борьбы с загрязнениями, уровни твердых примесей могут достигать показателя 2 кг/т сваренного стекла.

Выбросы оксидов азота от кислородно-топливных печей составляют более низкие величины с точки зрения удельных факторов выбросов (кг/т сваренного стекла) при увеличении объема продукции, выплавляемой печью, и использовании электроподогрева. Печи с более высокой производительностью демонстрируют показатели в пределах 3.0 – 5.0 кг/т сваренного стекла. Кислородно-топливное горение широко используется в секторе (около 50 % плавильных печей), в то время как методы борьбы с вторичными загрязнениями (т.е. 3R, SCR, избирательная некаталитическая редукция (SNCR)) не применяются.

Выбросы фторидов напрямую связаны с использованием в рецепте шихты соединений, содержащих фтор, который используется в качестве плавильного флюса или для улучшения процесса волокнообразования. В некоторых случаях фторид добавляется в качестве сырья для соответствия требованиям качества конечного продукта из стекла. Количество фтора, которое считается необходимым, зависит от разнообразия специфических технических факторов, связанных с печью и характером волокнообразования, а также пропускной способностью и требованиями к диаметру волокон, предъявляемыми к готовому продукту.

Если фтористые вещества намеренно не добавляются в рецепт шихты, то достигнутые уровни HF зависят от примесей, содержащихся в надежных и экономических доступных поставках сырья, в частности силикате алюминия и каолине, при низких переменных уровнях фторида. Независимо от их происхождения, доля фторида будет выделяться в виде выхлопных газов из печи. Конечная концентрация HF в печных газах может варьироваться значительно, в зависимости от уровня фторидов в шихте и используемых мер по борьбе с загрязнениями.

3.5.2.3 Мероприятия части процесса далее по технологической линии

Выбросы в атмосферу от процессов нанесения покрытия обычно достаточно низкие, что объясняется достаточно незначительной летучестью материалов покрытия и низкой температурой стекла в точке нанесения. Однако воздушные потоки в зоне формования – очень велики, что обеспечивает адекватное охлаждение стекла, причем это сопровождается некоторым переносом капель или испарением органических соединений. Во многих случаях выделяемый охлаждающий воздух обрабатывается системами очистки воды до выпуска или частичной переработки в зоне формования. Большой объем воздуха для охлаждения означает достаточно низкий уровень концентрации выбросов. Ограниченные измерения (включая использование покрытия с более высокими уровнями содержания растворителей) показали, что концентрация летучих органических соединений имеет очень низкий уровень до 20 мг/нм^3 .

Материалы, используемые для покрытия, обычно имеют водную основу, и отфильтрованный шлам волокон часто высушивается в духовых шкафах. Процесс сушки порождает выбросы водяного пара и любых летучих соединений при температуре сушки. Покрытия химически связываются со стеклом в ходе процесса сушки, и уровень выбросов, в общем и целом, достаточно низкий. Однако рецепты покрытия и, следовательно, выбросы могут существенно различаться, и при этом имеются результаты лишь ограниченного количества измерений, связанных с процессом сушки. Они показывают, что выбросы летучих органических соединений варьируются от едва различимых уровней до максимальной величины 70 мг/нм^3 , что составляет менее 100 г/ч .

Выбросы также могут возникать вследствие вторичной обработки для производства матов и стекловолоконной ткани, что включает использование вяжущих веществ, которые должны быть выдержаны или высушены. И по этому вопросу имеется слишком ограниченная информация, что указывает на широкие различия в величинах выбросов, в зависимости от используемых приемов борьбы с загрязнениями и веществ. Максимальные выбросы летучих органических соединений, о которых сообщалось, составляли 150 мг/нм^3 и 270 г/ч .

Весьма ограничена и информация касательно характерных концентраций выбросов от мероприятий далее по технологической цепочке, в частности операций покрытия

и сушки. Концентрации выбросов, установленные на основании измерений, проведенных после использования системы влажной очистки, демонстрируют значения менее $<20 \text{ мг/нм}^3$ для твердых частиц (содержащих органические и неорганические соединения), $<20 \text{ мг/нм}^3$ для формальдегида и $<30 \text{ мг/нм}^3$ для аммиака.

Хранение и работа с материалами, используемыми для создания покрытий, может также вызывать выбросы пыли или летучих органических соединений, но они, как правило, очень ограничены, и могут контролироваться посредством применения местной вытяжной вентиляции.

3.5.2.4 Рассеянные выбросы

Основные источники рассеянных выбросов в атмосферу вне системы дымовых труб в секторе стекла из элементарных непрерывных нитей связаны с зоной загрузки шихты в плавильную печь, каналов выработочной части печи, а также с хранением и подготовкой рецептов покрытия.

В данном секторе производства применяются очень качественное сырье, что объясняется требованиями к однородности шихты и стекла. Тем не менее, зона загрузки шихты, как правило, держится закрытой, насколько это возможно, и потенциальные выбросы, связанные с пылеуносом компонентов шихты и газов от горения, как ожидается, составят очень низкую величину.

Системы вентиляции и вытяжной вентиляции часто используются в каналах питателя для внешней разгрузки твердых и газообразных выбросов.

Хранение и подготовка рецептов покрытия предполагает использование органических соединений, таких как поливинилацетат, полиуретан, а также эпоксидные смолы. Обычно для этих операций специально отводятся огороженные пространства в целях ограничения воздействия потенциальных выбросов на рабочих.

3.5.3 Выбросы в воду

Выбросы возникают из зоны формования, приготовления связующего вещества, очистки, охлаждения, применения связующего вещества для ткани/мата и систем

очистки на водной основе. Основным источником выбросов находится в зоне формирования. В силу высокой скорости работы намоточных устройств (центробежное действия) и движения волокон в ходе процесса формирования, какая-то часть примененного связующего вещества разрывается и выдавливается. Оно собирается непосредственно в той же зоне вместе с водой, используемой для периодической очистки зоны формирования и намотки. Вода для орошения волокон также собирается в той же зоне.

Выбросы могут возникать в зоне приготовления связующих веществ вследствие проливов и утечек, которые поступают в систему сточных вод. Системы подачи охлаждающей воды высокой производительности требуют выдувания потоком воды, содержащей низкий уровень химических реагентов для очистки воды. Большинство используемых систем очистки имеют рециркуляционный характер, что требует либо продувания потоком, либо периодической выгрузки и замены среды очистки. Совокупный расход воды на тонну готового продукта, как правило, составляет 4-20 м³, и потери системы охлаждения (продувание и испарение), составляют приблизительно 20 % от этой величины. Несмотря на четкое исключение потерь от испарения, большая часть этой воды отводится как сточные воды. Распространенной практикой в этом секторе является выброс воды в систему очистки стоков или для обработки воды на объекте.

Концентрации загрязнителей сточных вод обычно составляют очень низкие значения (менее чем 0.2 % содержания сухих веществ до любой обработки) в силу разведения промывочной водой, и их содержание по большей части поддается биохимическому разложению. Используемые химические вещества не содержат каких-либо тяжелых металлов или опасных веществ, но их фактический состав существенно варьируется от объекта к объекту, что объясняется большим разнообразием композиций связывающих веществ. При производстве некоторых продуктов до сих пор используется связующий агент на основе хрома, но он постепенно выходит из употребления.

Пример водного баланса, характерного для установки для производства непрерывного стекловолокна, представлен на рисунке 3.6.

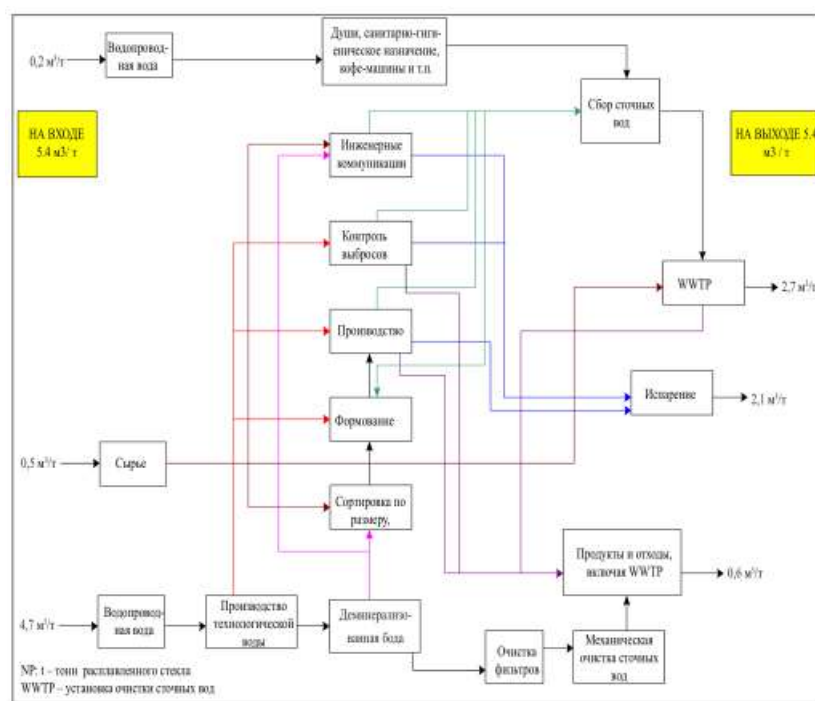


Рисунок 3.6: Пример водного баланса для установки по производству непрерывного стекловолокна.

3.5.4 Прочие отходы

Отходы могут возникать на установке для получения гранулированной шихты от брака шихты, а также разливов или утечек. Этот технологический процесс очень чувствителен к качеству сырья и в общем и целом, такие отходы отправляются на свалку (от 5 до 50 тонн в год).

Стекломасса, загруженная стекловаром в выработочную часть печи (питатель), может включать небольшие количества примесей (нерасплавленных частиц), которые могут вызвать растрескивание фильерной пластины и, следовательно, отходы стекловолокна. С тем чтобы ограничить такие растрескивания, фильерные пластины могут устанавливаться внизу канала, питающего выработочную часть печи, для извлечения небольшого потока стекломассы, содержащей эти более плотные нерасплавленные частицы. В случае использования таких фильерных пластин, стекло, попадающее в канализационные стоки, составляет как правило 1-5 % от расплавленного стекла. Стекло, попадающее в стоки, может быть переработано в стеклянный бой и либо подвергаться внутренней переработке, либо использоваться по иному назначению. Внутренняя переработ-

ка этого материала обычно нежелательна, поскольку она предполагает возвращение в печь отделенных примесей, которые обратным потоком поступают на фильерную пластину. Это могло бы привести к постепенному формированию неплавкого материала и, возможно, к более высоким показателям стекла, попадающего в стоки.

Отходы стекла и волокна также возникают в силу переналадки на производство другой продукции, переналадки упаковки и разрывов стекловолокна, когда стекломасса сохраняет текучесть, но не может быть преобразована в какой-либо продукт, отвечающий требованиям рынка. При производстве стекловолокна очень малого диаметра (5 – 25 мкм) трудно избежать определенного процента разломов. Следовательно, количества отходов стекловолокна может быть сравнительно высоким, и обычно составляет одну из основных статей отходов от данного технологического процесса. Количество отходов может составлять от 10 до 25 % совокупного количества расплавленного стекла, которое вытекает из печи, и зависит от характера процесса формования и диаметра стекловолокна. Это количество может существенно возрасти при возникновении проблем с сырьем или производительностью или стабильностью печи. Отходы стекловолокна содержат до 25 % воды и разведенное связующее вещество.

Преобразование сухаря (отфильтрованного шлама) в готовый продукт приводит к определенному количеству отходов, которое различается в зависимости от разновидности продуктов, от 3 до 10 %. Не подлежащий использованию материал находится в основном с внутренней и внешней стороны отфильтрованного шлама, порошкообразных частиц и поврежденного и отбракованного материала, образцов для испытаний и обрезки матов и т.п. Обычно отходы содержат материал покрытия на уровне 0,5-10 % (до 20 % для тканей) и могут содержать до 15 % воды.

Пыль, собранная в оборудование для борьбы с загрязнениями, не может быть всегда переработана в печи. Если используются приемы сухой или влажной очистки, переработка пыли может осложниться и потребовать дополнительных операций, таких как компаундирование или переработка.

3.5.5 Энергия

Прямое распределение энергозатрат для характерного процесса производства не-

прерывного стекловолокна показано на рисунке 3.7. Использование энергии в конкретных процессах может варьироваться и зависеть от размера стекловаренной печи и характера процессов вниз по технологической цепочке. В общем и целом, свыше трех четвертей энергии используется для процесса стекловарения. Формование, включая нагревание фильерной пластины, и конверсия продукта составляют примерно 15 % затрат на энергию, а остальная энергия используется для обслуживания, контрольных систем, освещения и обогрева производственных помещений.

Большинство печей в этом секторе представляют собой печи рекуперативного типа на газовом топливе, некоторые оборудованы системой электроподогрева (до 20 % энергии стекловарения). Также существуют примеры печей, работающих на мазутном топливе и печей с горением в обогащенной кислородом среде. Температура предварительно нагретого воздуха в рекуперативных печах ниже, чем в регенеративных печах, и требования к энергозатартам, следовательно, выше в пересчете на одну тонну стекла. В этом секторе электропроводность стекла очень низкая, современные специалисты считают, что электроплавка в объеме 100 % не является экономически или технически целесообразной.

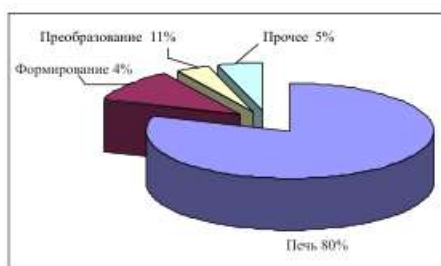


Рис.3.7: Прямой расход энергии в процессе производства непрерывного стекловолокна

Энергопотребление технологического процесса зависит от многих факторов, основные из которых охарактеризованы в разделе 3.2.3. Энергопотребление процесса стекловарения, как правило, составляет от 7 до 18 ГДж/т расплава, хотя для некоторых небольших печей, производящих специализированные композиции, оно может достигать до 30 ГДж/т. Совокупное энергопотребление обычно составляет 10-25 ГДж/т продукта, при этом в нижние пределы этого диапазона укладываются параметры кислородно-

топливных печей. Косвенное энергопотребление, связанное с выработкой кислорода и/или генерацией электричества не включено в данные, представленные выше. В общем средний расход энергии на тонну стекла составляет 16.5 ГДж/т готового продукта, и которых 12.4 ГДж/т приходится на ископаемое топливо (в основном природный газ) и 4.1 ГДж/т на электричество. Это выражается в прямых выбросах CO_2 , составляющих примерно 770 кг CO_2 /т продукта (ископаемое топливо + выбросы от технологического процесса).

Максимальная температура свода в печах для производства непрерывного стекловолокна, как правило, составляет 1650 °C, что приблизительно на 50 °C выше, чем в печах для производства стеклянной тары и до 250 °C выше, чем для печей по выплавке стекловаты.. Более высокие температуры стекловарения приводят к относительно высокому удельному энергопотреблению в этом секторе.

3.6 Сортное стекло

Как описывается в Главах 1 и 2, сектор сортного стекла очень разнообразен, и отличается широкой номенклатурой стеклоизделий, характеризующихся несколькими составами стекол и многообразием форм и размеров, для изготовления которых используются различные типы стекловаренных печей. Поэтому, имеются весьма значительные различия в исходных веществах и готовых изделиях. Как и во всех прочих секторах, основным выходом процесса является изделие. При производстве натрий-кальций-силикатного стекла чистый выход стекольной продукции обычно составляет 50 – 90 % (в среднем равняется 85 %) от используемого сырьевого материала, а нижние значения составляют приблизительно 40 % для производства высококачественных бокалов. Для свинцового хрусталя коэффициент выхода готовой к упаковке продукции составляет 35 – 80 % (в среднем равняется 75 %). Меньшие значения для свинцового хрусталя зависят от ряда факторов, таких как больший объем гранения и полирования и более высокие ограничения по качеству. У других типов сортного стекла (хрустальное стекло, матовое стекло, боросиликатное стекло и стеклокерамика) имеются значения между этими двумя экстремальными значениями. В приведенной ниже Таблице 3.26 обобщаются основные параметры на входе и выходе процесса варки для натрий-кальций-силикатного стекла,

хрустального стекла и свинцового хрусталя. Значения для других типов сортового стекла лежат в промежутке между предоставленными примерами.

Таблица 3.26: Обзор исходных ресурсов и продукции сектора производства сортового стекла

	Единиц/т рас- плавленного стекла	Натрий-кальций- силикатное стекло (¹)	Хрустальное стекло и свинцовый хру- сталь
		Диапазон (среднее значение)	Диапазон (среднее значение)
Исходные ресурсы			
Энергия, газ	ГДж	5 - 14 (9)	0,5 - 5 (3)
Энергия, электричество	ГДж	1 - 4 (2,5)	1 - 6 (4)
Кварцевый песок	тонна	0,65 - 0,75 (0,6)	0,20 - 0,50 (0,42)
Карбонаты	тонна	0,3 - 0,42 (0,34)	0,08 - 0,20 (0,14)
Окись свинца	тонна		0 - 0,30 (0,18) (2)
Незначительные мине- ральные компоненты	тонна	0,02 - 0,08 (0,04)	0,005 - 0,02 (0,01)
Собственный стекольный бой	тонна	0,15 - 0,5 (0,25)	0,25 - 0,65 (0,35)
Упаковочные материалы	тонна	0,06 - 0,20 (0,1)	0,06 - 0,20 (0,1)
Стеклоформы и прочее	тонна	0,001 - 0,003 (0,002)	0,001 - 0,003 (0,002)
Вода	м ³	2 - 9 (7)	2 - 55 (11)
Гидрофтористая кислота (100 %)	кг/т стекла, поли- рованного с ис- пользованием кислоты (³)		40 - 130 (65)
Серная кислота (96 %)	т/т HF (100 %) (³)		1-10 (5)
Гидроокись натрия	т/т HF (100 %) (³)		0-0,2 (0,1)
Гидроксид кальция	т/т HF (100 %) (³)		1 - 10 (4)

	Единиц/т рас- плавленного стекла	Натрий-кальций- силикатное стекло (¹)	Хрустальное стекло и свинцовый хру- сталь
		Диапазон (среднее значение)	Диапазон (среднее значение)
Свежая промывочная во- да	т/т HF (100 %) (³)		0,025 - 0,07 (0,05)
Продукция			
Готовые, расфасованные и упакованные изделия	тонна	0,4 - 0,9 (0,85)	0,35 - 0,8 (0,75)
Выброс загрязнителей в воздух	кг		
CO ₂		150 - 1000 (700)	150 - 400 (300)
NO _x		0,2 - 6 (2,5)	0 - 11 (2,7)
SO _x		0,1 - 1,0 (0,5)	0,1 - 0,3 (0,2)
Пыль		0,001 - 0,3 (0,2)	0,001 - 0,3 (0,03)
H ₂ O		60 - 500 (300)	60 - 250 (120)
Отработавшая вода	м ³	2-9(6)	2 - 54 (11)
Собственный стекольный бой	т	0,15 - 0,4 (0,25)	0,25 - 0,65 (0,35)
Отходы для повторного использования	кг	10 - 60 (30)	10 - 60 (30)
Прочие отходы	кг	6 - 50 (10)	6 - 50(10)
Отходы для повторного использования: PbSO ₄	т/т HF (100%) (³) т/т HF (100%) (³)		0,2 - 1,5 (0,8) 2-20 (7,5)
или PbCO ₃ CaSO ₄			
Отходы для повторного использования:	т/т HF (100%) (³) т/т HF (100%) (³)		0,3 - 0,7 (0,45) 0,1 - 0,5 (0,3)
Осадок после огранки Шлам, содержащий тяже-			

	Единиц/т рас- плавленного стекла	Натрий-кальций- силикатное стекло (¹)	Хрустальное стекло и свинцовый хру- сталь
		Диапазон (среднее значение)	Диапазон (среднее значение)
лые металлы			

(¹) Эти данные относятся к обычным печам (то есть не электрическим).

(²) Принимая во внимание добавление окиси свинца, ассортимент включает в себя все хрустальное стекло и химические составы свинцового хрусталя.

(³) Относительно полирования с использованием кислоты, расход 100 % гидрофтористой кислоты является наилучшим контрольным параметром, потому что он принимает во внимание соотношение поверхность/объем. Расход 100 % HF на тонну стекла, полированного с использованием кислоты, будет зависеть от соотношения поверхность/объем и, следовательно, от типов полируемых изделий.

3.6.1 Исходные сырьевые материалы

Исходные сырьевые материалы варьируются в зависимости от состава производимого стекла и номенклатуры изделий. Основными типами являются натрий-кальций-силикатное стекло, свинцовый хрусталь, хрустальное стекло, боросиликатное стекло, непрозрачное – опаловое или глушенное стекло и ситаллы. Основное сырье, используемое в рамках сектора, перечислено в Таблице 3.27.

Таблица 3.27: Материалы, использованные в секторе производства сортового стекла

Описание	Материалы
Стеклообразующие материалы	Кварцевый песок, переработанный стеклянный бой, содержащее бор сырье (например, бура, улексит, борная кислота, колеманит), оксиды свинца
Стекланный про- межуточный про-	Карбонат натрия, карбонат калия, карбонат бария, известняк, доломит, глинозем, нефелиновый сиенит, мышьяк, карбонат сурьмы,

Описание	Материалы
дукт и модифицирующие материалы	оксиды свинца и цинка, флюорит, диоксид титана, бораты, фосфатные соединения
Окислители стекла и осветляющие вещества	Сульфат натрия, нитрат натрия, нитрат калия, нитрат и сульфат аммония, хлорид аммония
Красители и обесцвечиватели стекла	Комбинация оксида мышьяка и селитры натриевой, селен, оксиды кобальта, никеля, марганца, неодима и эрбия. Оксиды и соединения переходных элементов.
Ускорители варки	Кремнефтористый натрий, ммонийные соли, гидроксиды натрия и калия
Средства для нанесения покрытия на изделие	Неорганические или органические хлориды металла. Преимущественно четыреххлористое олово, четыреххлористый титан и монобутил-треххлористое олово
Смазки изделий	Смазки на основе полиэтилена и жирные кислоты (например, олеиновая кислота)
Топлива	Природный газ, электричество, мазут, бутан, пропан, ацетилен
Вода	Централизованные источники и местные естественные источники (скважины, реки, озера, и т.д.)
Вспомогательные материалы	Упаковочные материалы включают в себя пластмассы, бумагу, картон и древесину. Смазки, способствующие раскрытию пресс-формы, обычно являются жаропрочными разделительными смазками на основе графита. Машинные смазки, преимущественно минеральные масла. Технологические газы включают в себя кислород и водород. Полировальные материалы, главным образом концентрированные неорганические кислоты (HF, H_2SO_4), а также NaOH. Отделочные материалы, эмали, пески. Химические вещества для обработки воды для охлаждающей воды и отработавшей воды.

Сырьевые материалы для изготовления шихтовой смеси смешивают в заданной пропорции для производства стекла с требуемым составом. Для натрий-кальций-силикатного стекла оксиды кремния, натрия и кальция составляют 90 % основного состава (SiO_2 : 71 – 73 %, Na_2O : 12 – 14 % и CaO : 10 – 12 %). Диоксид кремния получают главным образом из песка и стекольного боя. Оксид натрия получают главным образом из кальцинированной соды, а оксид кальция получают главным образом из известняка. Типичная вариация составов для свинцового хрусталя – SiO_2 : 54 – 65 %, PbO : 25 – 30 %, N_2O или K_2O : 13 – 15 %, плюс прочие различные второстепенные компоненты. В химическом составе хрустального стекла окись свинца частично или полностью заменяется оксидами бария, цинка или калия. Боросиликатные стекла производят, используя более высокое процентное содержание кремниевых соединений, чем соединений бора (выраженных в виде триоксида бора, B_2O_3). Типичный состав 70 – 80 % SiO_2 , 7 -15 % B_2O_3 , 4 – 8 % Na_2O или K_2O , и 2 – 7 % Al_2O_3 . Бор в составе боросиликатного стекла получают из буры или прочих содержащих бор материалов (борная кислота, улексит, колеманит, бораты), а оксид алюминия получают главным образом из глинозема.

В состав непрозрачных стекол обычно главным образом входят оксиды кремния, натрия, кальция, алюминия и калия, но они также содержат приблизительно 4 – 5 % фторида, полученного из такого минерала, как флюорит. Преобладающими оксидами стекла являются оксиды кремния, алюминия, натрия и кальция с более низким содержанием оксидов магния, бария, цинка, циркония, лития, стронция и титана. Использование стекольного боя в рамках сектора отличается, в большинстве процессов повторно используется собственный стекольный бой, а привозной стекольный бой обычно не используется из соображений его низкого качества.

В секторе сортового стекла используются различные типы осветлителей и окисляющих веществ: нитраты, сульфаты, и в некоторых отдельных случаях соединения мышьяка и сурьмы (как правило, мышьяка: 0,1 – 1 % и сурьмы: 0,1 - 0,4 % шихты) и соединения церия (0,2 - 0,5 % шихты). Селен также используется в качестве обесцвечивающего средства и, как правило, в количестве <0,005 % от состава шихты. В производстве изделий из свинцового хрусталя обычно бывает необходимо полировать поверхность стекла после огранки.

Наиболее распространенным способом выполнения этой процедуры является погружение изделий из стекла в смесь концентрированной фтористоводородной и серной кислоты с последующей промывкой его водой. Для некоторых изделий выполняются виды обработки поверхности, аналогичные видам обработки, применяемым в секторе стеклянной тары, описанные в Разделе 3.3.

Используемые виды топлива будут отличаться от процесса к процессу, но, как правило, для варки стекла используются природный газ и электричество либо отдельно, либо в сочетании друг с другом. Подогревательные камеры и леры для отжига нагреваются газом или электричеством, которые также используются для обогрева и общих служб. Мазут, пропан и бутан иногда используются в качестве резервных видов топлива и для окончательной отделки поверхности (также используется ацетилен). Кислород также используется для печи или последующих технологических процессов.

В большинстве случаев вода в секторе сортового стекла используется для охлаждающих систем и очистки. Охлаждающая вода используется обычно в замкнутых или разомкнутых контурах для охлаждения различных единиц оборудования с соответствующими потерями от испарения и выполнения ее очистки. Вода также используется на определенных последующих этапах процесса (огранка, полирование, мытье и т.д.) и для систем газоочистки с водяным орошением. Поэтому, существующее водопотребление может меняться в зависимости от локальных условий (например, температура окружающего воздуха и жёсткость поступающей воды).

3.6.2 Выброс загрязнителей в воздух

3.6.2.1 Сырьё

В большинстве современных процессов производства сортового стекла бункеры и смесительные емкости оборудованы системами фильтрации, которые уменьшают выбросы пыли до уровня ниже 5 мг/м^3 при нормальных условиях. Массовые выбросы загрязняющих веществ как из систем с фильтрованием, так и из систем без фильтрования будут зависеть от количества перемещений и количества обработанного материала. Однако особенностью этого сектора является то, что некоторые дозирующие устройства сравнительно малы и, вследствие особой природы и небольших объемов некоторых из

продуктов, существует более высокий уровень ручной (и полуавтоматической) обработки и перемещения. Выбросы загрязняющих веществ от подобной деятельности будут зависеть от того, как хорошо эти системы контролируются. Ясно то, что там, где обрабатываются материалы, содержащие потенциально более токсичные соединения (например, оксид свинца, мышьяк и т.д.), имеется потенциальная опасность выбросов этих веществ. Обычно для предотвращения выбросов загрязняющих веществ используются определенные средства и системы контроля (например, пылеудаление и пневматическое транспортирование), и, следовательно, уровни выбросов загрязняющего вещества обычно бывают очень низкими.

3.6.2.2 Варка стекломассы

В секторе производства сортового стекла самыми большими потенциальными выбросами в окружающую среду загрязняющих веществ являются выбросы в воздух загрязнителей от деятельности, связанной с варкой стекла. Основные выделяемые вещества и соответствующие источники идентифицированы в Разделе 3.2.2.1. В этом секторе можно найти разнообразные изделия и большинство технологий стекловарения, описываемых в Главе 2. Энергия для технологического процесса может быть получена путем использования природного газа, нефтепродуктов или электричества. Обобщенные результаты о различных видах выбросов загрязнителей в воздух приводятся в Таблице 3.28. Эти данные приведены только для выбросов загрязняющих веществ из печей для производства натрий-кальций-силикатного стекла, хрустального стекла и свинцового хрусталя. Вследствие ограниченной доступности информации нет данных о выбросах загрязняющих веществ от производства боросиликатного стекла для внутреннего использования (кухонная посуда). Считается, что эти цифры в своей совокупности представляют полный ассортимент сектора, а выбросы загрязняющих веществ от производства прочих типов стекла попадают в промежуток между примерами.

Таблица 3.28: Обобщенные результаты по выбросам загрязнителей в воздух из печей для производства сортового стекла

Вещество	Натриево-кальциево-	Хрустальное стекло и свинцовый
----------	---------------------	--------------------------------

	силикатное стекло (¹)		хрусталь	
	мг/м ³ (среднее значение)	кг/т расплавленного стекла (среднее значение)	мг/м ³ (¹) (среднее значение)	кг/т расплавленного стекла (среднее значение)
Оксиды азота (как NO ₂)(²)	300 - 2100 (²) (1100)	0,2 – 6 (2,5)	300 – 2300 (840)	0,2 – 11 (2,7)
Оксиды серы (как SO ₂)	80 – 310 (180)	0,1 - 1,0 (0,5)	60 – 130 (80)	0,1 - 0,3 (0,2)
Твёрдые частицы	0,5 – 220 (90)	0,001 - 0,3 (0,2)	0,1 – 13 (4)	0,001 - 0,3 (0,03)
Фториды (HF)	0,2 – 5 (2)		0,1 – 10 (2)	<0,003
Хлориды (HCl)	0,1 – 20 (10)		0,2 – 2 (1)	<0,004
Металлы (включая свинец)	<5		0,05 - 0,5 (0,2)	<0,01
⁽¹⁾ Эти данные относятся к обычным печам (то есть не к электрическим). ⁽²⁾ Некоторые высокие результаты относятся к использованию нитратов в шихте или к другим специфическим условиям (например, очень низкий удельный съём стекломассы).				

Уровни выбросов загрязняющих веществ из конкретной печи могут зависеть от многих факторов, таких как состав шихты, используемые методы борьбы с загрязнением и срок службы печи. Выбросы фторидов, свинца и прочих металлов напрямую связаны с использованием соединений, содержащих эти вещества в шихте. Как правило, тяжелые металлы выделяются в атмосферу в виде твердых частиц, и связаны со стекольной продукцией с высоким содержанием металлов (например, свинцовый хрусталь) или, более редко, с использованием стекольного боя, который содержит тяжелые металлы. В некоторых случаях, фториды добавляются в качестве сырья для обеспечения соответствия требованиям состава стекла; в других случаях они являются примесями некоторого сырья. Часть материала будет включена в стекло но, некоторые будут неизбежно выделяться в воздух. Фтор обычно выделяется как HF, а металлы могут выделяться в виде паров или, что бывает более часто, содержатся в твёрдых частицах.

3.6.2.3 Последующие действия

Для натрий-кальций-силикатного стекла может применяться обработка поверхности. Методы обработки и выбросы загрязняющих веществ аналогичны методам обработки и выбросам, описанным для стеклянной тары в Разделе 3.3.2.3. Многие продукты обработаны посредством огневого полирования; однако, эта работа не создает выбросы загрязняющих веществ за исключением продуктов горения пламени. Полирование изделий из свинцового хрусталя с использованием кислоты может привести к выбросам кислотных паров (HF и SiF_4), которые обычно обрабатываются циркулирующей водой в башенных скрубберах или щелочным раствором (например, гидроокись натрия).

Пары из кислотной ванны реагируют в воде, производя гексафторкремниевую кислоту (H_2SiF_6) при концентрациях до 35 %. Эта кислая вода должна быть нейтрализована перед выбросом или, при некоторых обстоятельствах она может быть восстановлена для использования в химической промышленности.

Выбросы примесных газов, измеренные после системы очистки газа, используемой для обработки кислотных паров, показывают меры концентрации HF ниже 5 мг/м^3 при нормальных условиях.

Операции по шлифовке и огранке могут повлечь за собой выбросы пыли. Этот процесс обычно контролируют, выполняя огранку стекла с использованием жидкости или с помощью местной вытяжки.

3.6.2.4 Рассеянные выбросы

Основными источниками рассеянных выбросов, характерными для предприятий сектора производства сортового стекла являются область засыпочного кармана печи, каналы подогревательной камеры, области формования и операции огневого полирования.

Выбросы загрязняющих веществ из области загрузки шихты (засыпочный карман), имеют отношение к механическому выносу состава шихты (выбросы пыли) и газообразных продуктов сгорания из печи.

Когда электрические печи используются, например, для производства свинцового хрусталя или матового стекла, область засыпочного кармана часто снабжается вытяжной системой для транспортирования выбросов загрязняющих веществ в мешочный фильтр или, в меньшем количестве случаев, в систему мокрой очистки газа.

Газообразные продукты сгорания и продукты испарения можно удалить из каналов подогревательной камеры. Когда окраска стекла выполняется в подающем устройстве, то в результате присутствия тяжелых металлов могут быть значительными рассеянные выбросы из каналов подогревательной камеры.

Туман из минерального масла и других смазок может быть удален в области формирования. Газообразные продукты сгорания могут возникать в результате термической обработки стеклоформ и из лера для отжига.

Операции огневой полировки весьма распространены, и при их выполнении выделяются газообразные продукты сгорания, которые обычно выбрасываются в окружающую атмосферу.

Эти характерные проблемы обычно решают в соответствии с нормативными требованиями в области охраны здоровья и техники безопасности, и они не приводят к значительному выбросу загрязнителей в воздух. В некоторых особых обстоятельствах может понадобиться извлечение и обработка рассеянных выбросов из каналов подогревательной камеры, для того чтобы ограничить уровни воздействия тяжелых металлов на рабочем месте.

3.6.3 Выброс вредных веществ в воду

Как и в других секторах промышленности, главными видами использования воды является охлаждение и очистка, и водные выбросы будут содержать воду от промывки системы охлаждения, моющие воды и поверхностные сточные воды. Моющие воды, как правило, не представляют собой каких-либо конкретных проблем, которые не были бы хорошо известными для какого-либо промышленного объекта, то есть минеральные частицы и потенциально нефтепродукты. Вода от промывки системы охлаждения будет содержать растворенные соли и химические вещества для обработки воды. Качество по-

верхностных вод будет зависеть от степени сегрегации дренажа и чистоты территории производственного объекта.

Однако, производство определенных изделий, в частности стекол, которые содержат свинец, может повлечь за собой другие прямые выбросы, которые могут содержать свинец или иные соединения.

Основные потенциальные источники загрязненной отработавшей воды включают в себя: моющие воды из областей, где, возможно, был пролит сырьевой материал (который может содержать свинец, мышьяк, сурьму и т.д.), и из воды, использованной при огранке и шлифовке изделий. В большинстве процессов используются технологические методы для удаления твёрдых частиц, например, механическая очистка сточных вод, осаждение и образование хлопьевидного осадка для удовлетворения местным требованиям.

Полирование с использованием кислоты также влечет за собой выброс вредных веществ в воду. После опускания стекла в кислоту на его поверхности появляется слой сернокислого свинца и гексафторсиликаты. Их смывают горячей водой, которая станет кислой и будет содержать сернокислый свинец. В зависимости от химических веществ, используемых для нейтрализации этой воды, сернокислый свинец может дополнительно реагировать, например, создавая CaSO_4 с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ изменяя формы свинца (для выпадения в осадок).

Процесс полирования стекла также приводит к небольшому растворению стекла, которое частично осаждается в кислотной ванне в виде смеси солей, которая после разделения дает 'шлам от травления стекла'. Этот шлам обрабатывают, фильтруя и промывая для того, чтобы получить сернокислый свинец, или обеспечивая реакцию с карбонатом кальция или натрием для того, чтобы получить карбонат свинца. Оба продукта могут повторно использоваться в качестве сырья (повторно вводя их в шихту) или восстанавливаться в других процессах. Однако, как правило, по техническим причинам (опасность повреждения устройств смешивания компонентов шихты и огнеупорных материалов печи), получающийся шлам осаждается на специальных полигонах для захоронения отходов. Жидкая фракция от обработки шлама от травления стекла дает кислый раствор, который можно использовать повторно в процессе полирования. Типичные concentra-

ции, измеренные в точке выброса газообразных отходов, приводятся в Таблице 3.29 ниже.

Таблица 3.29: Типичные концентрации, измеренные в воде в точке выброса газообразных отходов, после обработки

Параметр	Измеренное значение (мг/л)
Общее количество взвешенных твердых частиц	<50
Pb	<0,05
Sb	<0,1
F	<6
SO ₄ ²⁻	<1000
Углеводороды	<1

3.6.4 Прочие отходы

Большинство стеклянных отходов (стекольный бой) снова повторно используется в печи, и уровни отходов обычно бывают довольно низкими. Общие отходы упаковки и от ремонтов печи аналогичны отходам в других секторах. Отходы от систем контроля запыленности и сухой очистки газа обычно повторно используются в печи. При производстве свинцового хрусталя должны быть утилизированы шламы, выделенные из системы сбора и отведения сточных вод, где они не могут использоваться повторно.

3.6.5 Энергия

Рассмотрение потребления энергии в этом секторе является весьма сложным из-за ее разнообразия и широкого спектра используемых технологий стекловарения. У крупносерийного производства столовой посуды из натрий-кальций-силикатного стекла есть много общего с производством стеклянной тары (см. Раздел 3.3.5), и оно показывает сопоставимое распределение использования энергии. Однако, большее потребление энергии связано с последующими работами (например, огневое полирование стекла и чистовая обработка). В этом секторе удельные энергозатраты на стекловарение выше, чем в

секторе стеклянной тары. Причина состоит в том, что печи обычно бывают меньшего размера, температуры стекловарения немного выше, а продолжительность пребывания в печи приблизительно на 50 % больше.

Расход энергии обычно относится только к основному процессу и не включает в себя последующие действия, такие как гравирование, резание, полирование, сварка и т.д. Типичный расход энергии для этих последующих действий может достигать от 5 до 10 ГДж/т произведенного стекла. Распределение использования энергии для типичного производства столовой посуды из натрий-кальций-силикатного стекла показано на рисунке 3.8, а примеры удельных энергозатрат приводятся в Таблице 3.8 в Разделе 3.2.3. Когда применяется плавка в электропечи, стандартное потребление энергии для стекловарения находится в интервале 4 - 7 ГДж/т стекла, значения могут уменьшаться до 3,4 ГДж/т. Для обычных печей потребление энергии для стекловарения находится, как правило, в диапазоне от 4,8 до 10 ГДж/т расплавленного стекла. Для производства высококачественной столовой посуды в сравнительно небольших объемах потребности в энергии будут выше (например, набор флаконов по сравнению с бутылками для сектора изготовления упаковки).

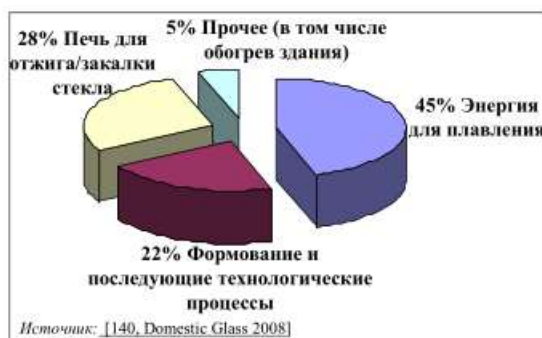


Рисунок 3.8: Использование энергии в производстве столовой посуды из натрий-кальций-силикатного стекла

Некоторые другие процессы в рамках сектора производства, в частности производство свинцового хрусталя, выполняются в намного меньшем масштабе, и для этого могут использоваться горшковые печи. Распределение использования энергии для производства свинцового хрусталя значительно отличается у различных предприятий, энер-

гия, требуемая для процесса стекловарения, может изменяться от 16 до 85 % от общего объема энергопотребления.

Суммарное потребление энергии для изготовления свинцового хрусталя может быть даже более высоким (до 28 ГДж/т готового изделия), в то время как расчетная теоретическая потребность в энергии для стекловарения стекла из обычного сырья составляет всего приблизительно 2,5 ГДж/т. Различие может являться результатом многих факторов, но основные факторы приводятся ниже:

- Требования к обеспечению высокого качества могут привести к высокому уровню отбраковки изделий. Огнеупоры стекловаренных горшков взаимодействуют с расплавленной стекломассой, что приводит к появлению шлиров и камней в изделии.
- Стекло часто бывает ручного изготовления, и количество произведенного продукта от формования может быть ниже 50 %, и изделия, возможно, будут нуждаться в подогреве во время формования.
- Стекловаренные горшки перед использованием должны быть тщательно термобработаны при высокой температуре во избежание разрушения во время варок, а срок эксплуатации у них очень ограниченный по сравнению с печами непрерывного действия.

Варка свинцового хрусталя в электропечи предусматривает использование высококачественных огнеупорных материалов, которые обеспечивают намного более высокую коррозионностойкость по отношению к расплаву стекломассы и лучшее качество стекла, поэтому ниже процент брака и выше выход годных изделий. Непрерывный характер стекловарения в электропечи и то обстоятельство, что отсутствуют горячие топочные газы от процесса горения, часто приводят к созданию более эффективному автоматизированному формованию. Однако суммарное энергопотребление, в том числе с учетом последующих действий, может привести к потреблению энергии со значениями близкими к 25 ГДж/т изделий.

3.7 Специальное стекло

Сектор производства специального стекла очень разнообразен и охватывает различные изделия, химические составы стекол и технологические процессы. Многие тех-

нологические линии не соответствуют критериям производительности 20 т/сутки, если они не связаны с другими печами. Поэтому, практически невозможно пытаться обобщить полный диапазон выбросов загрязняющих веществ от целого сектора производства. Более чем 53 % объема данного сектора составляют колбы электрических ламп и трубки, и приблизительно 9 % составляют ситаллы. В этом разделе мы попытаемся, по возможности, охватить весь сектор производства, но количественная информация предоставляется только для ситаллов, трубок из боросиликатного стекла и натрий-кальций-силикатного стекла для колб электрических ламп.

3.7.1 Исходные вещества

Химический состав специального стекла изменяется в зависимости от типа стекла, его эксплуатационных характеристик и области применения, и обычно выражается посредством процентного содержания оксидов элементов, которые он содержит. Сложно идентифицировать 'типичные' составы шихты для такого разнообразного сектора производства. Основное сырье дозируют и смешивают, чтобы в результате стекловарения получить желательные окончательные составы стекла. Стандартные типы стекла и вариации составов демонстрируются в Разделе 2.8. В Таблице 3.30 приведено основное сырье, используемое для получения этих составов.

Более подробная информация по исходным веществам для ситаллов, боросиликатных стеклянных трубок и колб электрических ламп из натрий-кальций-силикатного стекла приводится в Таблице 3.31, в которой сообщаются данные относительно четырех определенных процессов.

Таблица 3.30: Материалы, используемые в секторе производства специального стекла

Описание	Материалы
Стеклоформирующий материал	Кварцевый песок и высокочистый кварцевый песок, переработанный стеклянный бой

Промежуточный материал и модифицирующие материалы для стекла	Карбонат натрия, карбонат калия, известняк, доломит, глинозем, гидроокись алюминия, оксид циркония, бура, борная кислота (чистая для некоторых областей применения), углерод, оксид свинца, оксид титана, оксид олова, карбонат стронция, карбонат лития, карбонат бария, сподумен, флюорит, нефелиновый сиенит, полевые шпаты, хлорид натрия, фосфаты и фториды
Окислители стекла и осветляющие вещества	Сульфат натрия, нитрат натрия, нитрат калия, мышьяк (As_2O_3), сурьма (Sb_2O_3), углерод
Красители для стекла	Хромистый железняк, окись железа, оксид кобальта, селен или селенит цинка, оксиды титана, редкоземельных элементов,
Топливо	Природный газ, электричество, мазут, бутан, пропан, ацетилен
Вода	Водопроводная сеть и местные естественные источники (скважины, реки, озера и т.д.)
Вспомогательные материалы	Упаковочные материалы включают в себя пластмассы, бумагу, картон и древесину Смазки, способствующие раскрытию пресс-формы, обычно жаропрочные разделительные смазки на основе графита Машинные смазки, преимущественно минеральные масла Технологические газы включают в себя азот, кислород, водород и сернистый ангидрид Химические вещества для обработки воды для охлаждающей воды и отработавшая вода

Таблица 3.31: Обзор исходных ресурсов и выбросов для ситаллов, трубок из бoro-силикатного стекла и колб электрических ламп из натрий-кальций-силикатного стекла

	Ситалл	Стекланные трубки (боро-силикатное стекло)	Колбы электрических ламп
--	--------	--	--------------------------

					(натрий-кальций-силикатное стекло)
Тип печи		Рекуперативная печь с кислородным дутьем	Рекуперативная печь с кислородным дутьем	Стекловаренная ванная регенеративная печь с поперечным направлением пламени	Стекловаренная ванная регенеративная печь с поперечным направлением пламени
Производительность печи		30 - 65 т/сутки	10 - 55 т/сутки	10 - 55 т/сутки	50 - 150 т/сутки
Исходные ресурсы	Единиц /т расплавленного стекла				
Энергия, газ	ГДж	5,5 - 11	10 - 15	14 - 17	5 - 14
Энергия, электричество	ГДж	1 - 8			
SiO ₂ (расчетное значение)	кг	660 - 685	740 - 760	740 - 760	400 - 700
Al(OH) ₃ (расчетное значение)	кг	310 - 340	22 - 26	22 - 26	
CaO, CaCO ₃	кг		18 - 22	18 - 22	100 - 400
K ₂ O, K ₂ CO ₃	кг				20 - 100
Na ₂ CO ₃ , Na ₂ O	кг		22 - 28	22 - 28	100 - 300
CaF ₂	кг		3 - 7	3 - 7	
TiO ₂	кг	12 - 45			
Li ₂ CO ₃ (расчетное значение)	кг	85 - 110			

B ₂ O ₃	кг		220 - 240	220 - 240	10 - 100
NaNO ₃ , KNO ₃	кг	9,5 - 15	20 - 25	20 - 25	50 - 250
ZrO ₂	кг	12 - 45			
ZnO	кг	12 - 45			
Незначительные минеральные компоненты	кг	3,5 - 10	1 - 2	1 - 2	0,5 - 20
Собственный стекольный бой	кг	250 - 550	200 - 400	150 - 350	100 - 500
Вода	м ³	1,5 - 2,5	1,7 - 2,8	1,7 - 2,8	Замкнутый водяной контур
Отходы					
Выброс загрязнителей в воздух					
Скруббер отработавшего газа		Мешочный фильтр	Мешочный фильтр/ESP	Мешочный фильтр/ESP	ESP
CO ₂	кг	410 - 500	900 - 1150	950 - 1300	400 - 600
NO _x (как NO ₂)	кг	3,6 - 6,5	5 - 8	7 - 12	0,1 - 6
SO _x (как SO ₂)	кг		0,02 - 0,07	0,02 - 0,07	0,01 - 0,05
HCl	кг		0,02 - 0,08	0,02 - 0,08	0,02 - 0,08
HF	кг		0,002 - 0,004	0,002 - 0,004	
Пыль	кг	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08
Тяжелые металлы	кг	0,003 - 0,02	0,001 - 0,02	0,001 - 0,02	
Отработавшая вода		0,8 - 1,5	1 - 1,6	1 - 1,6	Замкнутый водяной контур

3.7.2 Выброс загрязнителей в воздух

3.7.2.1 Сырьевые материалы

В большинстве процессов производства специального стекла бункеры и смешительные емкости оборудованы системами фильтрации, которые уменьшают выбросы пыли до значения менее чем 5 мг/м^3 при нормальных условиях. Массовые выбросы загрязняющих веществ и из систем, не закрытых фильтрами, и из систем, закрытых фильтрами, будут очевидно зависеть и от количества перемещаемого материала, и от количества перерабатываемого материала. Однако особенностью этого сектора производства является то, что некоторые дозирующие устройства имеют сравнительно небольшой размер и вследствие специализированного характера и небольших объемов выпуска некоторых из изделий, имеется более высокий уровень ручной (и полуавтоматической) обработки и транспортирования. Выбросы загрязняющих веществ при выполнении этих действий будут зависеть от того, как хорошо контролируются системы. Ясно то, что, если обрабатываются материалы, содержащие потенциально более токсичные соединения (например, оксид свинца, мышьяк, и т.д.), существует потенциал для выброса этих веществ.

3.7.2.2 Стекловарение

В секторе производства специального стекла самыми большими потенциальными выбросами в окружающую среду являются выбросы загрязнителей в воздух от деятельности, связанной с варкой стекла. Основные выделяемые вещества и соответствующие источники идентифицированы в Разделе 3.2.2.1. Широкий спектр и особый характер изделий сектора производства специального стекла приводят к использованию более широкого ассортимента сырья, чем в большинстве других секторов производства. Например: конусы электронно-лучевых трубок и некоторые оптические стекла содержат высокие уровни оксидов свинца от 20 % до 70 %; в определенные составы стекла могут входить специализированные осветлители, такие как оксиды мышьяка и сурьмы; а некоторые оптические стекла могут содержать 35 % фторида и 10 % оксида мышьяка. Вы-

бросы фторидов, свинца, мышьяка и прочих металлов непосредственно относятся к использованию соединений, которые содержат эти вещества в шихте.

Вследствие разноплановой природы сектора, приведено большинство технологий стекловарения, описанных в Главе 2. Однако низкие объемы производства означают, что большинство печей имеют небольшой размер, и наиболее распространенными технологическими методами являются использование рекуперативных печей, газовых рекуперативных печей с кислородным дутьем, электрических стекловаренных печей и ваннных печей периодического действия. Регенеративные печи также используются; например, они применялись для производства стекла для электронно-лучевых трубок и теперь, более редко, в производстве трубок из боросиликатного стекла или других типов стекла (например, колбы электрических ламп из силикатного стекла). Температуры стекловарения специальных стекол могут быть более высокими, чем для большего количества стандартных серийно выпускаемых составов. Для электронно-лучевых трубок, боросиликатного стекла и стеклокерамики, в частности, требуются температуры стекловарения более 1650 °C.

Эти повышенные температуры и сложные химические составы могут привести к более высоким выбросам загрязняющих веществ в расчете на тонну стекла, чем, например, для изделий из натрий-кальций-силикатного стекла. Более высокие температуры содействуют более высоким скоростям испарительного переноса и образования оксида азота, и большее использование нитратного окислителя или сульфатных осветлителей могут повлечь за собой более высокие выбросы оксида азота, SO₂ и металлов. Меньший масштаб производства в сочетании с более высокими температурами также означают более низкую эффективность использования энергии.

Уровни выбросов загрязняющих веществ для конкретной печи могут зависеть от многих факторов, но преимущественно от состава шихты, типа печи, используемых методов борьбы с загрязнением, эксплуатации печи и срока службы печи. Уровни выбросов загрязняющих веществ, выраженные в кг/т расплавленного стекла, предоставлены в Таблице 3.31 для четырех различных процессов в качестве примера.

3.7.2.3 Последующие действия

Выбросы загрязняющих веществ от действий, последующих после использования печи, в значительной степени присущи определенному случаю и должны рассматриваться для каждого производственного объекта. Однако имеются некоторые общие вопросы.

Для некоторых типов изделий может потребоваться выполнять огранку, шлифовку и полирование, которые могут привести к выбросам пыли, а для некоторых изделий (например, оптическое стекло) в выбросах загрязняющих веществ может присутствовать свинец. Эти работы обычно выполняются с применением жидкости или с использованием фильтрации пыли и вытяжки. Таким образом, уровни выбросов загрязняющих веществ обычно бывают очень низкими.

3.7.2.4 Рассеянные выбросы

Основные источники рассеянных выбросов, характерные для сектора производства специального стекла, могут меняться в зависимости от типа произведенного изделия из стекла. Они обычно относятся к области засыпчного кармана печи, каналам подогревательной камеры, области формования и к операциям огневого полирования.

Выбросы загрязняющих веществ из области загрузки шихты (засыпчный карман), связанные с механическим выносом составных частей шихты (выбросы пыли) и с газообразными продуктами сгорания из печи, точно такие же, как и в секторах производства сортового и стеклянной тары.

Когда для производства стекол, в составе шихты которых содержится потенциально вредное сырье (например, соединения As, Sb, Pb, F), используются электропечи периодического действия над зоной загрузки котловой печи или ванной печи периодического действия может быть установлена вытяжная система, перемещающая диффундирующие отработавшие газы в систему очистки.

Газообразные продукты сгорания и продукты испарения могут удаляться из каналов подогревательной камеры.

Аэрозоли минерального масла и других смазочных материалов могут удаляться из области формования. Газообразные продукты сгорания могут возникать в результате термической обработки стеклоформ и из лера для отжига.

При выполнении операций огневого полирования выделяются газообразные продукты сгорания, которые обычно выбрасываются в окружающую атмосферу.

Меры по предотвращению каких-либо утечек, проливаний и неорганизованных выбросов, наряду с контролем использования аммиака, обычно используются, когда в установке для производства специального стекла применяются технологии избирательного каталитического восстановления (SCR) и избирательного некаталитического восстановления (SNCR) для уменьшения загрязнения окислами азота.

Как правило, эти источники не являлись причиной значительных выбросов загрязнителей в воздух, и большинство проблем решаются в соответствии с нормативными требованиями гигиены труда и техники безопасности.

3.7.3 Выброс вредных веществ в воду

Как и в других секторах промышленности, главными видами использования воды является охлаждение и очистка, и водные выбросы будут содержать воду от промывки системы охлаждения, моющие воды и поверхностные сточные воды. Как правило, моющие воды не представляют собой каких-либо конкретных проблем, которые не были бы характерными для каких-либо промышленных объектов, то есть они содержат минеральные частицы и, потенциально, нефтепродукты. Вода от промывки системы охлаждения будет содержать растворенные соли и химические вещества для обработки воды. Качество поверхностных вод будет зависеть от степени сегрегации дренажа и чистоты производственного объекта.

Однако разносторонность сектора производства означает, что невозможно идентифицировать все потенциальные выбросы загрязняющих веществ, и каждый случай должен оцениваться в отдельности. Должно рассматриваться сырье, используемое для каждого изделия и предпринятая обработка. У любого потенциально вредного сырья, используемого на производственном объекте, будет потенциальная возможность попасть в потоки отработавшей воды, в частности там, где обрабатываются материалы, и где изделия гравированы или шлифуются. Например, в процессе шлифовки и полирования изделий, таких как конусы электронно-лучевых трубок и некоторые оптические стекла, может создаваться сток воды, который содержит интенсификаторы помола и по-

лирования и мелкое стекло, содержащее свинец. Как правило, твёрдые частицы будут удалены, а жидкость будет по возможности повторно использована, но будет определен уровень выбросов и вероятность разлития. Некоторые количественные данные, касающиеся водопотребления и сточных вод в расчете на тонну расплавленного стекла, предоставлены для четырех процессов в приведенной выше Таблице 3.31.

3.7.4 Прочие отходы

Как правило, большинство создаваемого внутри предприятия стекольного боя повторно используется в печи, и уровни отходов обычно бывают весьма низкими. Общие отходы упаковки и от ремонтов печи точно такие же, как и в других секторах производства стекла. Отходы от систем борьбы с запылением и сухой очистки газа при наличии возможности повторно используются в печи. В процессах, предусматривающих шлифование и гравирование стекла, шламы, выделенные из водяных контуров, должны быть утилизированы, если их нельзя повторно использовать. Некоторые количественные данные для четырех процессов относительно использования собственного стекольного боя в процессе стекловарения предоставляются в приведенной выше Таблице 3.31.

3.7.5 Энергия

Для такого разнообразного сектора производства очень сложно предоставить общие сведения о потреблении энергии. В Таблице 3.31 данные удельных энергозатрат для плавильных печей приводятся для трех различных типов изделий, в пределах от минимум 5 ГДж/т до 17 ГДж/т расплавленного стекла, в зависимости от типа изделия, размера печи и технологии стекловарения. Значительные различия данных о потреблении энергии могут наблюдаться в зависимости от состава шихты, технологии стекловарения и от того, как предприятие спроектировано и эксплуатируется. Приводятся данные в интервале 12 - 16 ГДж/т готового изделия, в частности для силикатных стекол.

Общее описание в Разделе 3.2.3 применимо к этому сектору производства. Сообщения, характерные для специального стекла заключаются в том, что температуры стекловарения для специальных стекол обычно бывают выше, чем температуры стекло-

варения для стекол серийного производства, и, что размеры печей для варки специального стекла, как правило, меньше, чем в прочих секторах производства стекловой промышленности. Оба этих фактора приводят к более высоким выбросам CO_2 и более высоким удельным энергозатратам.

3.8 Минеральное волокно

Информация, приведенная в этом разделе, относится к целому ряду предприятий и выполняемых операций, но не включает в себя специальные режимы, такие как запуск в производство и остановка предприятия. Некоторые из наименьших значений выбросов загрязняющих веществ относятся к работе только одного предприятия, которое достигает этих показателей по зависящим от местных условий причинам, и результаты не обязательно соответствуют результатам наилучших доступных технологических методов для данного сектора производства.

Главный выходной весовой расход – это продукт, который может составлять от 55 до 85 % от поступления материалов для процессов производства базальтового волокна, и 75 – 95 % – для процессов производства стекловаты. Важным фактором в этом является повторное использование твёрдых отходов процесса производства, которое значительно увеличивает эффективность использования сырья. Потери возникают посредством твердых остатков, сточных вод и выброса загрязнителей в воздух.

3.8.1 Исходные вещества

Химический состав минерального волокна может колебаться в широких пределах, и традиционно выражается посредством содержащихся в нем оксидов элементов. Сложно идентифицировать 'типичный' состав шихты для какого-либо из основных типов минерального волокна, то есть для стекловаты, базальтового волокна или шлаковой ваты. Основное сырье выбирают и смешивают, чтобы получить в результате стекловарения желаемые окончательные составы стекла. Процентное содержание каждого сырьевого материала в шихте может значительно отличаться, особенно там, где используется значительное количество повторно используемых материалов.

Характерные вариации составов для стекловаты, базальтового волокна и шлаковой ваты демонстрируются в Таблице 2.9. Сырье, которое может использоваться для получения этих составов, демонстрируется в Таблице 3.32.

В стекловате основными оксидами являются диоксид кремния, триоксид бора, оксиды щелочных металлов (преимущественно натрия и калия) и оксиды щелочно-земельных металлов (преимущественно кальция и магния). Наиболее значительными источниками диоксида кремния являются песок и отходы стекла, то есть привозной стекольный бой (натрий-кальций-силикатное стекло) и волокнистые отходы. Наиболее значительными источниками оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов являются кальцинированная сода, поташ, известняк и доломит. Утилизируемые отходы стекла (отходы натрий-кальций-силикатного листового и тарного стекла) широко используются в качестве сырья для производства стекловаты.

Таблиц 3.32: Материалы, используемые в секторе производства минерального волокна

Описание	Материалы
Стекловата	Кварцевый песок, переработанный стеклянный бой, привозной стекольный бой, промышленные отходы, нефелиновый сиенит, карбонат натрия, карбонат калия, известняк, доломит, сульфат натрия, бура, колеманит, улексит
Базальтовое волокно / шлаковая вата	Базальт, известняк, доломит, доменный шлак, кварцевые пески, сульфат натрия, промышленные отходы, эпизодические отходы от прочих процессов, например, формовочный песок
Связующие материалы	Фенолоформальдегидная смола (в растворе), фенол, катализатор формальдегида и полимера (если полимер произведен на производственном объекте), аммиак, мочевины, минеральное масло, силикон, силан, вода
Топливо	Природный газ, электричество, кокс (только базальтовое волокно / шлаковая вата), вспомогательные топлива (мазут, пропан, бутан)
Вода	Водопроводная вода и местные естественные источники (скважины, реки, озера и т.д.)

Вспомогательные материалы	Упаковочные материалы, включая пластмассы, бумагу, картон, и древесину. Машинные смазки, преимущественно минеральные масла. Технологические газы, азот и кислород. Химические вещества для обработки охлаждающей воды и отработавшая вода.
---------------------------	--

В базальтовом волокне / шлаковой вате, основными оксидами являются диоксид кремния и оксиды щелочно-земельных металлов (преимущественно кальция и магния). Диоксид кремния получается преимущественно из базальта, брикетированного повторно используемого материала и доменного шлака. Оксиды щелочно-земельного металла получают из известняка, доломита и брикетированного повторно используемого материала. Некоторые базальтовые волокна и шлаковая вата имеют значительные уровни оксида алюминия, полученного из доменного шлака, базальта и повторно используемых материалов. Некоторые химические составы с низким содержанием оксида алюминия производятся из шихт со значительными уровнями формовочного песка и стекольного боя, а не только из базальта и шлака.

Соотношение минерального волокна и связующего вещества будет меняться в зависимости от применения изделия. Как правило, изделия из минерального волокна содержат 95 – 98 % волокна по массе. Некоторые очень редкие изделия будут иметь максимум 20 % связующего вещества с 1 % минерального масла и 0,5 % разнообразных компонентов (например, силикон). Изделия из базальтового волокна / шлаковой ваты обычно содержат меньшие пропорции связующего вещества по сравнению с изделиями из стекловаты для аналогичных областей применения. Причина состоит в том, что удельные веса изделий, имеющих аналогичные основные эксплуатационные характеристики, различные у стекловаты и базальтового волокна / шлаковой ваты. Плотность базальтового волокна может быть вдвое большей, чем у стекловаты, чтобы достичь одинаковых теплоизоляционных показателей, особенно для изделий имеющих малую плотность.

Как и в случае всех процессов в стекольной промышленности, значительная масса сырья будет выделяться в виде газов при плавлении. Это будет зависеть главным образом от количества примененного повторно используемого материала, но для типичного

процесса производства минерального волокна, потери веса при прокаливании будут обычно около 10 %. Более высокие уровни могут наблюдаться, если в шихте используются высокие уровни углеродсодержащих материалов.

Сырье для связующего вещества обычно производится из жидких химических веществ, хотя иногда используются и порошкообразные твердые химические вещества. Химические составы связующего вещества являются по всеобщему признанию конфиденциальными, и не раскрываются. Фенольная смола может быть либо произведена на производственном объекте, либо куплена у внешнего поставщика. Это будет оказывать небольшое влияние на выбросы загрязняющих веществ непосредственно от процесса производства минерального волокна, но очевидно имеются проблемы с использованием и выбросом загрязняющих веществ, связанные с изготовлением полимера. Эти проблемы не рассматриваются в рамках настоящего документа и необходимо обратиться к соответствующему методическому материалу для химической промышленности.

Вода может использоваться в технологическом процессе для охлаждения, очистки и для разбавления связующего вещества, и дисперсии, хотя объем и методы использования зависят от технологии производства. Основными процессами являются связывание пользователей воды с возможностью для выброса водяного пара и мелких капель из областей формования и варки. Кроме того, система закалки для процессов производства стекловаты, повлечет за собой испарение воды. Большинство установок работает с замкнутой системой технологического водоснабжения с высоким уровнем повторного использования. Вода поступает в систему технологического водоснабжения из водопровода или естественных источников; в процессе работы может также использоваться дождевая вода. Небольшое количество воды также попадает с сырьем, в частности с сырьем для связующего вещества. Суммарное водопотребление для изготовления минерального волокна: 3 - 5 м³/т изделия для стекловаты; и от 0,8 до 10 м³/т изделия для базальтового волокна (см. также Раздел 2.9.1 и Рисунок 2.11).

3.8.2 Выброс загрязнителей в воздух

В секторе производства минерального волокна выброс загрязнителей в воздух может быть разделен на три части: обработка сырья, выбросы загрязняющих веществ от

деятельности, связанной с варкой стекла, и выбросы загрязняющих веществ от последующих технологических процессов или линейных операций (то есть волокнообразование и формование, отверждение изделия, охлаждение изделия и чистовая обработка изделия). Выбросы загрязняющих веществ от последующих технологических процессов, количество которых сложно определить, вызывают запахи. Запахи возникают главным образом при операции отверждения и, как полагают, вызываются продуктами деструкции связующего вещества. В этом разделе приводится информация о выбросах загрязняющих веществ для процесса в виде концентрации и массы на единицу продукции. В Таблице 3.33 приводятся объемы отработавшего газа для основных операций в рамках процесса, из чего можно наблюдать, что наибольший объем отработавшего газа связан с процессами волокнообразования и формования.

Таблица 3.33: Объемы отработавшего газа для основных операций в рамках процесса в секторе производства минерального волокна (нм³/час)

Действие в рамках процесса		Объем отработавших газов в рамках процесса (в тысячах)
Обработка сырья		От 1 до 5
Плавильная печь	Электрическая	От 5 до 20
	Газовая печь, стекловата	От 5 до 40
	Газовая печь с использованием горения в кислороде, стекловата	От 5 до 40
	Комбинированная печь, стекловата	От 5 до 40
	Стекловаренная вращающаяся печь	От 5 до 30
	Электropечь с погружной дугой	От 3 до 10
	Стандартная газовая печь, базальтовое волокно	От 10 до 50
Линия	Волокнообразование и формование	От 100 до 400
	Отверждение изделия	5 до 40
	Охлаждение изделия	От 10 до 40

	Чистовая обработка изделия	От 5 до 70
--	----------------------------	------------

3.8.2.1 Сырьевые материалы

В большинстве современных процессов производства стекловаты бункеры и смешительные емкости оборудованы системами фильтрации, которые уменьшают выбросы пыли до менее чем 5 мг/м^3 при нормальных условиях. Массовые выбросы загрязняющих веществ и из систем, закрытых фильтрами, и из систем, не закрытых фильтрами, будут очевидно зависеть от количества перемещений и количества обрабатываемого материала. Следует отметить, что сырьевой материал для производства стекловаты обычно бывает сухим и транспортируется пневматически. Поэтому, потенциал для выбросов пыли от обработки сырьевого материала может быть более высоким, чем в некоторых других секторах производства.

В процессах производства базальтового волокна обычно используется грубое сырье с диаметрами частицы $> 50 \text{ мкм}$. Материалы хранятся в бункерах или отсеках и транспортируются с использованием ручных систем и конвейеров. Имеется потенциал для выбросов пыли во время хранения и погрузки-разгрузки, особенно во время сухой погоды. Для контроля выбросов пыли может использоваться ряд технологических методов, например, корпусов отсеков и конвейеров и увлажнение исходного материала. Уровень выбросов сложно определить, и он в значительной степени будет зависеть от количества транспортируемого материала и от того, насколько хорошо применяются эти технологические методы.

Отходы производства, преобразованные в цементированные брикеты, часто используются в составе шихты; обычно они содержат приблизительно 0,22 % серы и их можно использовать в 100 % шихты. Содержание SO_2 в шихте, не содержащей цементированных брикетов и доменного шлака, может достигать значений от 500 до 1000 мг/м^3 , и шихте, содержащей 100 % цементированных брикетов, будет выделять SO_2 в количестве от 2000 до 2500 мг/м^3 . Изменения в данных являются результатом различий в содержании серы в коксе, технологиях управления, объемах топочного газа, окислительных состояний в стекловаренной вращающейся печи и изменений в содержании серы в вулканической породе (диабаз), используемой в процессе работы. В некоторых

случаях полное повторное использование брикетированных отходов не выполняется для того, чтобы ограничивать выбросы оксидов серы и обеспечивать меры концентрации ниже 1500 мг/нм^3 . В этих случаях обеспечивается степень переработки приблизительно равная 45 %, и излишние отходы перерабатываются. В других случаях сообщают о выбросах SO_2 в интервале $1400 - 1800 \text{ мг/нм}^3$, несмотря на высокие степени переработки, которые составляют от 85 до 100 %. Подход, используемый различными предприятиями, может быть очень разнообразным, на основании приоритета, предоставленного продукции производственного цикла, минимизации отходов и снижению уровня потребления энергии в сравнении с уменьшением выбросов оксидов серы.

На рисунке 3.9 показывается ожидаемая концентрация SO_2 на основании процентного содержания сцементированных брикетов, повторно используемых с порцией шихты в стекловаренной вращающейся печи. В настоящее время широко применяется повторное использование сцементированных брикетов, до 100 %, для того, чтобы предотвратить совокупность отходов всех видов; в противном случае, отходы обрабатываются внешним предприятием по переработке отходов или утилизируются на полигоне для захоронения отходов.

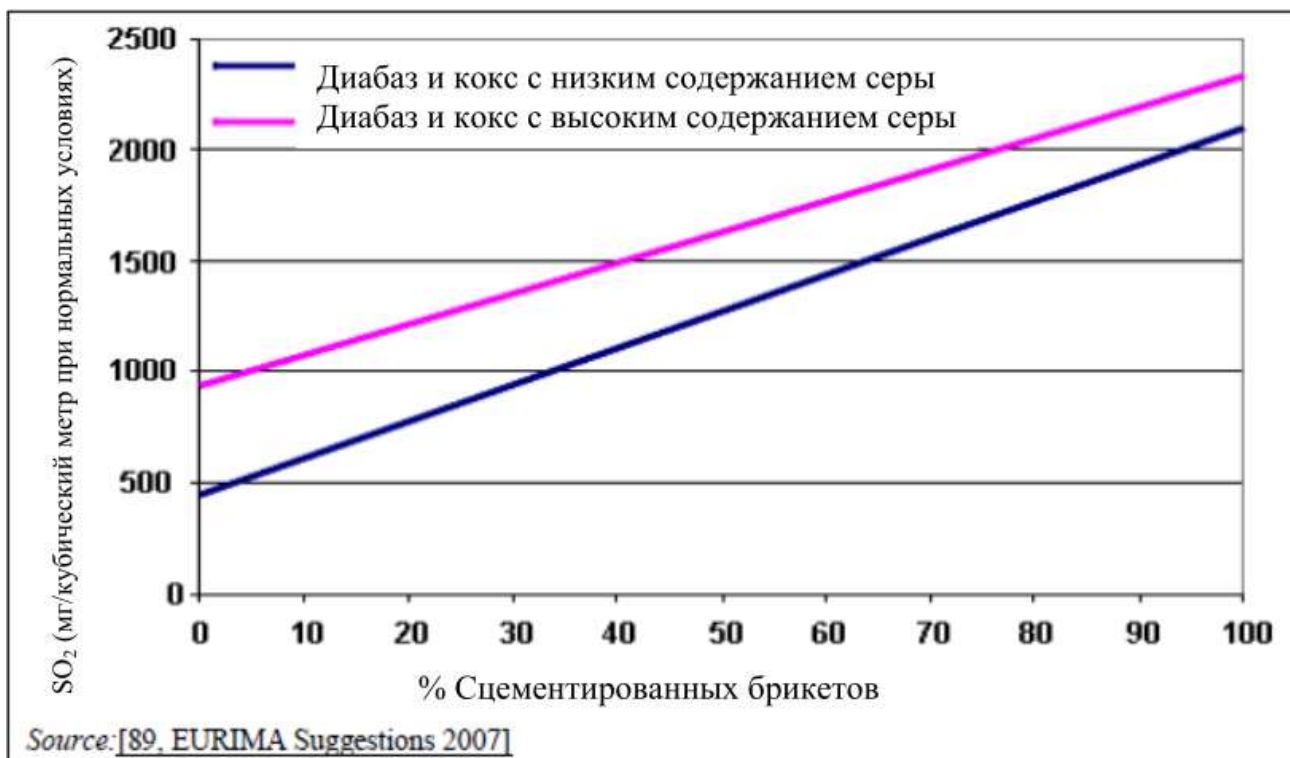


Рисунок 3.9: Предполагаемая концентрация SO₂ в зависимости от процентного содержания цементованных брикетов повторно используемых с порцией шихты в стекловаренной вращающейся печи

Нижняя линия, показанная на рисунке 3.9, базируется на низком процентном содержании кокса (10 %), низком содержании серы в коксе (0,6 %) и отсутствии серы в диабазе. Верхняя линия показывает более высокое процентное содержание кокса (13 %), 0,7 % серы в коксе и 0,05 % серы в диабазе. Содержание серы в цементованном брикете в обоих случаях составляет 0,22 %. Доля выбросов серы, поставляемой с составом шихты, оценивается в 50 % для диабаза и 75 % для кокса и брикета. Эти рисунки базируются на опытных данных и зависят главным образом от окислительных состояний в стекловаренной вращающейся печи. Погрешность вследствие изменений в технологическом процессе и т.д. составляет около 20 %. Как правило, оценку конечной концентрации SO₂ можно вычислять посредством следующего уравнения:

$$\text{SO}_2 (\text{мг/м}^3) = 750 + 15 * \text{долю брикетов (\%)}.$$

3.8.2.2 Стекловарение

Печи для производства стекловаты преимущественно являются печами, работающими на газовоздушной смеси (обычно с дополнительным электроподогревом), но с существенным количеством электрических печей и меньшим количеством газовых рекуперативных печей с кислородным дутьем. Практически все печи для производства базальтового волокна являются стекловаренными вращающимися печами, работающими на коксе с несколькими экземплярами газовых или электрических печей. Выделяемые вещества и соответствующие источники идентифицируются в Разделе 3.2.2.1.

Стекловаренные вращающиеся печи для производства базальтового волокна имеют несколько важных отличий от большего количества стандартных стекловаренных печей, которые могут влиять на выбросы загрязняющих веществ от процесса. Одним из наиболее значительных отличий является то, что стекловаренные вращающиеся печи работают при сильных восстановительных условиях. Поэтому, выбросы оксида азота будут сравнительно низкими; часть серы, выделяемая из топлива или сырья, переводится в сероводород, а уровень монооксида углерода будет высоким. Большинство процессов имеет систему термического сжигания газообразных выбросов, которая окисляет сероводород до сернистого ангидрида и оксид углерода до диоксида углерода. Кокс и сырье могут содержать более высокие уровни металлов, хлоридов и фторидов, чем в некоторых других процессах производства стекла, что повлечет за собой более высокие выбросы этих веществ.

Все в большей степени важным фактором, влияющим на выбросы загрязняющих веществ во время процесса стекловарения, является доля от повторно используемых материалов. Если в печи повторно используется волокно, которое содержит связующее вещество, должен учитываться органический компонент. В печах для производства стекловаты может потребоваться добавлять такие окисляющие вещества, как нитрат калия, который может усиливать выбросы окислов азота. Когда в составе шихты используется большое количество утилизированного стекольного боя, в качестве окисляющего вещества может использоваться оксид марганца (IV).

В процессах производства базальтового волокна часто используется цемент для брикетирования отходов процесса, и при плавлении брикетов происходят последующие выбросы SO_2 вследствие содержания в них серы.

В Таблице 3.34 приводится полный спектр выбросов загрязняющих веществ из плавильных печей для производства минерального волокна. Данные в ней приводятся и в концентрациях (мг/нм^3), и в коэффициентах выбросов (кг/т расплавленного стекла). Данные, приведенные в таблице, показывают широкий спектр выбросов загрязняющих веществ, относящихся ко всем типам установок, с использованием и без использования методов борьбы с загрязнением. Более подробное описание диапазона выбросов загрязняющих веществ, связанных с каждой из технологий стекловарения, и условия эксплуатации приводятся в Таблицах с 3.34 по 3.38.

Таблица 3.34: Полный спектр выбросов загрязняющих веществ из плавильных печей для производства минерального волокна

	Стекловата (100 % накопленные данные)			Базальтовое волокно (100 % накопленные данные)		
Тип печи	Электрическая печь	Рекуперативная печь	Газовая рекуперативная печь с кислородным дутьем	Стекловаренная вращающаяся печь	Электропечь с погружной дугой	Пламенная печь
Вещество (¹)	мг/нм^3 (кг/т)	мг/нм^3 (кг/т)	мг/нм^3 (кг/т)	мг/нм^3 (кг/т)	мг/нм^3 (кг/т)	мг/нм^3 (кг/т)
Твёрдые частицы	0,2 - 128 (0,001 - 0,4)	0,3 - 35 (0,03 - 0,1)	0,2 - 20 (0,001-0,016)	0,25 - 1700 (0,04 - 3,5)	4-12 (0,006 - 0,02)	10 (0,02)
Оксиды серы, как SO_2	0,4 - 120 (0,001 - 0,02)	1-30 (0,002 - 0,5)	0,5 - 115 (0,002 - 0,32)	4-2600 (0,01-4,8)	335 - 350 (0,4 - 0,5)	285 (0,45)
Оксид азота, как NO_2 (²)	13 - 580 (0,5 - 2,0)	50 - 1200 (0,3 - 10,6)	9-240 (0,02 - 0,4)	35 - 615 (0,07 - 1,7)	80 - 150 (0,1 - 0,2)	815 (1,3)
HF	0,1 - 3,0 (0,001 - 0,01)	0,13 - 20 (0,001-0,05)	0,09 - 3,2 (0,001 - 0,01)	0,1 - 11 (0,001-0,02)	8 (0,01)	1,2 (0,002)

НСI	0,1 - 4,5 (0,001 - 0,02)	0,2 - 7 (0,001- 0,06)	0,55 - 3 (0,001-0,003)	0,7 - 150 (0,001-0,26)	43 (0,05)	5 (0,008)
Средняя величина	9	7	5	32	2	1
⁽¹⁾ Меры концентрации рассматриваются при 273 К, 1013 ГПа и сухих природных газах. Коэффициенты выбросов выражены в кг на тонну расплавленного стекла. ⁽²⁾ Более низкие уровни оксида азота из газовых рекуперативных печей с кислородным дутьем.						

В Таблице 3.35 значения, относящиеся к выбросам пыли из электрических и газовых печей, применяемых для производства стекловаты. Данные, относящиеся к измерениям, выполненным один или несколько раз в обследуемых плавильных печах за учётный период. Для полного спектра данных (100 %) приводятся: средние, минимальные и максимальные значения. Для лучшего понимания, по мере возможности, также отображаются значения, относящиеся к 75 % и 50 % данным соответственно, с целью исключения ложных точек привязки.

Таблица 3.35: Выбросы пыли из плавильных печей для производства стекловаты

Тип печи	Приведенные данные	мг/нм ³		
		Сред.	Мин.	Макс.
Электрическая печь				
Без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением	100 %	33	0	188
	75 %	37		
	50 %	9		
С мешочным фильтром	100 %	36	0	274
	75 %	47		
	50 %	20		
С электростатическим пылеуловителем	100 %	9	0	17
	75 %	15		

	50 %	9		
Печь, работающая на газовоздушной смеси				
Без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением	100 %	189	8	651
	75 %	552		
	50 %	29		
С электростатическим пылеуловителем	100 %	20	2	90
	75 %	27		
	50 %	15		
Газовая печь с использованием горения топлива в кислороде				
С электростатическим пылеуловителем	100 %	5	1	19
	75 %	6		
	50 %	4		
С дополнительным электроподогревом и электростатическим пылеуловителем	100 %	7	1	76
	75 %	8		
	50 %	3		

Значения, приведенные в Таблице 3.35, будучи результатом обследования, выполненного в рамках сектора производства стекловаты, имеют отношение к различным протоколам измерений и условиям эксплуатации. При этом необходимо учитывать то, что некоторые данные могут быть противоречивыми или несогласующимися. Например, различие между концентрациями выбросов пыли из электрических печей без использования мер по борьбе с загрязнением и с использованием таких мер представляется весьма низким; это может быть вследствие сравнительно низкой концентрации пыли, оцененной (во многих случаях) на электрических печах без использования мер по борьбе с загрязнением, которые имеют такой же порядок величины, как типичные концентрации, измеренные после системы нейтрализации отработавших газов.

В Таблице 3.36 приводятся значения, относящиеся к выбросам оксидов серы из электрических и газовых печей для производства стекловаты. Данные относятся к изме-

рениям, выполненным на одной или нескольких плавильных печах, охваченных обследованием в течение учетного периода.

Полный спектр данных (100 %) приводится с указанием средних, минимальных и максимальных значений. Также можно отметить, что выбросы оксидов серы значительны только в случае использования пламенных печей.

Как и в случае меры концентрации выбросов пыли, в данных, приведенных в Таблице 3.36 для электрических печей, могут присутствовать несогласованности вследствие низких уровней выбросов оксидов серы, которые необходимо измерять. В случае применения газовых печей с использованием горения топлива в кислороде, использование дополнительного электроподогрева приводит к уменьшению объема топочного газа с последующим возможным увеличением выбросов загрязняющих веществ, приведенных в виде концентрации (мг/нм^3). Иная тенденция может наблюдаться, если данные о выбросах были предоставлены в виде кг/т расплавленного стекла; однако, эта информация отсутствует.

Таблица 3.39: Выбросы оксида серы от плавильных печей для производства стекловаты

Тип печи	Приведенные данные	мг/нм ³ (как SO ₂)		
		Среднее значение	Мин.	Макс.
Электрическая печь				
Без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением	100 %	2	1	6
С мешочным фильтром	100 %	5	0	13
С электростатическим пылеуловителем	100 %	3	0	14
Печь, работающая на газовоздушной смеси				
Без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением	100 %	34	1	133
С электростатическим пылеуловителем	100 %	22	0	119
Газовая печь с использованием горения топлива в кислороде				
С электростатическим пылеуловителем	100 %	10	0	63

С дополнительным электроподогревом и электростатическим пылеуловителем	100 %	28	2	98
--	-------	----	---	----

В Таблице 3.37 приводятся значения, относящиеся к выбросам окислов азота из электрических и газовых печей для производства стекловаты. Данные относятся к измерениям, выполненным один или несколько раз на плавильных печах, обследуемых в течение учетного периода.

Таблица 3.37: Выбросы окислов азота из плавильных печей для производства стекловаты

Тип печи (¹)	Приве- денные данные	мг/нм ³ (как NO ₂)		
		Среднее значение	Мин.	Макс.
Электрическая печь				
Без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением	100 %	204	36	429
	75 %	245		
	50 %	175		
С мешочным фильтром	100 %	234	4	670
	75 %	442		
	50 %	468		
С электростатическим пылеуловителем	100 %	514	13	1071
	75 %	970		
	50 %	232		
Печь, работающая на газовоздушной смеси				
Без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением	100 %	410	93	1031
	75 %	429		
	50 %	356		
С электростатическим пылеуловителем	100 %	636	110	1580
	75 %	800		
	50 %	601		

Газовая печь с использованием горения топлива в кислороде				
С электростатическим пылеуловителем	100 %	119	7	244
	75 %	170		
	50 %	116		
С дополнительным электроподогревом и электростатическим пылеуловителем	100 %	215	82	691
	75 %	242		
	50 %	154		
⁽¹⁾ Ссылка на различные категории условий эксплуатации (без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением, с электростатическим пылеуловителем и с мешочным фильтром и т.д.) сделана только для согласованности с данными о выбросах, приведенных в Таблице 3.34 и Таблице 3.35, полученным из одного и того же источника информации. Никакого влияния на выбросы окислов азота от применения системы фильтрации не ожидается; в то время как увеличение концентрации выбросов окислов азота (мг/нм ³) может наблюдаться, когда применен дополнительный электроподогрев, что связано с уменьшением объема топочного газа.				

Для полного спектра данных (100 %) приводятся: средние, минимальные и максимальные значения. Для лучшего понимания, по мере возможности, также отображаются значения, относящиеся к 75 % и 50 % данным соответственно, с целью исключения ложных точек привязки.

Значения, приведенные в Таблице 3.37, представляют собой различные условия эксплуатации; в частности может значительно отличаться количество нитратов, которые могут быть добавлены в состав шихты, когда используются высокие уровни привозного стекольного боя. По этим причинам сложно сравнивать данные, приведенные в таблице, и данные должны оцениваться вместе с дополнительной информацией об определенных рабочих параметрах.

В Таблице 3.38 приводятся значения, касающиеся прочих выбросов загрязняющих веществ (HCl, HF, CO) из электрических и газовых печей для производства стекло-

ваты. Данные относятся к измерениям, выполненным на одной или нескольких плавильных печах, охваченных обследованием в течение учетного периода.

Полный спектр данных (100 %) приводится с указанием средних, минимальных и максимальных значений.

Из таблицы также можно видеть, что выбросы HCl и HF из плавильных печей для производства стекловаты обычно бывают низкими.

Таблица 3.38: выбросы HCl, HF и CO из плавильных печей для производства стекловаты (100 % опубликованные данные)

Тип печи	Приве- денные данные	мг/нм ³ (¹)		
		Сред.	Мин.	Макс.
Электрическая печь				
Без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением	HCl	2	0	7
	HF	0,6	0.1	2.8
	CO	63	24	110
С мешочным фильтром	HCl	3	0	7
	HF	0,7	0.1	1.0
	CO	55	17	176
С электростатическим пылеуловителем	HCl	2	0	7
	HF	0,7	0,1	3,1
	CO	264	114	638
Печь, работающая на газовоздушной смеси				
Без вспомогательных мер по борьбе с загрязнением	HCl	6	5	7
	HF	2,4	0,6	3,3
	CO	165	61	280
С электростатическим пылеуловителем	HCl	3	0	19
	HF	3,0	0,1	20,0
	CO	7	1	20
Газовая печь с использованием горения топлива в				

кислороде				
С электростатическим пылеуловителем	HCl	1	0	5
	HF	0,4	0	2,6
	CO	42	3	121
С дополнительным электроподогревом и электростатическим пылеуловителем	HCl	3	0	32
	HF	0,8	0,1	2,3
	CO	36	2	241
⁽¹⁾ Данные относятся к различным условиям измерения и условиям эксплуатации. Вследствие сравнительно низких исходных концентраций выбросов HCl и HF, система сухой очистки газа может и не применяться совместно с электростатическим пылеуловителем или мешочным фильтром.				

В производстве базальтового волокна, использование кокса, диабаз и цементированных брикетов предусматривает более широкий диапазон выбросов и веществ, которые будут выбрасываться в атмосферу. Данные относительно выбросов загрязняющих веществ из стекловаренных вращающихся печей и электропечей с погружной дугой приводятся в Таблице 3.39 и Таблице 3.40.

В Таблице 3.39 приводятся значения выбросов загрязняющих веществ, имеющих отношение к основным загрязнителям (пыль, оксид серы, оксид азота, HCl и HF) из плавильных печей, применяемых в производстве базальтового волокна. Данные относятся к измерениям, выполненным на одной или нескольких плавильных печах, охваченных обследованием в течение учетного периода. Для полного спектра данных (100 %) приводятся: средние, минимальные и максимальные значения. Для лучшего понимания, по мере возможности, также отображаются значения, относящиеся к 75 % и 50 % данным соответственно, с целью исключения ложных точек привязки.

Различие, наблюдаемое между выбросами оксида серы из стекловаренных вращающихся печей и электропечей с погружной дугой, является результатом повторного использования цементированных брикетов, и может изменяться от 0 % до 100 %.

Таблица 3.39: Выбросы пыли, оксидов серы, NO_x, HCl и HF из плавильных печей для производства базальтового волокна

Вещество/тип печи	Приведенные данные	мг/нм ³		
		Сред.	Мин.	Макс.
Выбросы пыли				
Стекловаренная вращающаяся печь (¹)	100 %	38	0	783
	75 %	42		
	50 %	11		
Электропечь с погружной дугой	100 %	28	4	57
	75 %	42		
	50 %	25		
Оксид серы, как SO ₂				
Стекловаренная вращающаяся печь	100 %	1220	0	5555
	75 %	1590		
	50 %	1143		
Электропечь с погружной дугой	100 %	318	177	503
	75 %	435		
	50 %	320		
Оксид азота, как NO ₂				
Стекловаренная вращающаяся печь	100 %	244	0	769
	75 %	350		
	50 %	225		
Электропечь с погружной дугой	100 %	201	68	407
	75 %	283		
	50 %	160		
HCl				
Стекловаренная вращающаяся печь	100 %	29	0	156
	75 %	35		
	50 %	14		
Электропечь с погружной дугой	100 %	39	18	53

	75 %	49		
	50 %	47		
HF				
Стекловаренная вращающаяся печь	100 %	2.5	0	40.0
	75 %	3		
	50 %	1		
Электродпечь с погружной дугой	100 %	11	5,0	21,0
	75 %	14		
	50 %	11		
(1) Меньшие значения связаны с использованием мешочного фильтра.				

В Таблице 3.40 приводятся значения выбросов загрязняющих веществ, имеющих отношение к прочим загрязнителям, связанные с производством базальтового волокна (H_2S , CO , CO_2 , металлы). Данные относятся к измерениям, выполненным на одной или нескольких плавильных печах, охваченных обследованием в течение учетного периода.

Для полного спектра данных (100 %) приводятся: средние, минимальные и максимальные значения. Для лучшего понимания, по мере возможности, также отображаются значения, относящиеся к 75 % и 50 % данным соответственно, с целью исключения ложных точек привязки.

Из таблицы также можно видеть, что стекловаренные вращающиеся печи, снабженные установкой для сжигания отходов отработавшего газа, демонстрируют гораздо меньшие концентрации выбросов CO , по сравнению с электродпечами с погружной дугой; с другой стороны, сопутствующие выбросы CO_2 увеличиваются вследствие окисления большей части оксида углерода (CO), присутствующего в отработавшем газе.

Таблица 3.40: Выбросы H_2S , CO , CO_2 и выбросы металлов из плавильных печей для производства базальтового волокна

Вещество/тип печи	Приведенные данные	мг/нм ³		
		Среднее значение	Мин.	Макс.

HS				
Стекловаренная вращающаяся печь (¹)	100 %	1	0	11
	75 %	1		
	50 %	0		
Электропечь с погружной дугой	100 %	1	0	2
	75 %	2		
	50 %	1		
CO				
Стекловаренная вращающаяся печь (¹)	100 %	36	0	260
	75 %	33		
	50 %	17		
Электропечь с погружной дугой	100 %	880	7	3126
	75 %	990		
	50 %	859		
Стекловаренная вращающаяся печь	100 %	228505	170	410400
	75 %	233081		
	50 %	232181		
Электропечь с погружной дугой	100 %	59750	45802	79509
	75 %	66717		
	50 %	58037		
Металлы (группа 1) (²)				
Стекловаренная вращающаяся печь	100 %	0,2	0	1,1
	75 %	0,3		
	50 %	0,1		
Электропечь с погружной дугой	100 %	0,2	0,1	0,4
	75 %			
	50 %	0,4		
Металлы (группа 2) (²)				
Стекловаренная вращающаяся печь	100 %	0,5	0	14

	75 %	0,1		
	50 %	0,03		
Электродпечь с погружной дугой	100 %	1,1	0,8	1,3
	75 %			
	50 %	1,3		
(¹) Значения относятся к стекловаренным вращающимся печам, снабженным установкой для сжигания отходов отработавшего газа. (²) Металлы сгруппированы на основе их потенциального воздействия на окружающую среду (см. Раздел 3.2.2.1): Группа 1 (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr^{VI}); Группа 2 (Sb, Pb, Cr^{III}, Cu, Mn, V, Sn).				

3.8.2.3 Последующие действия

Как было описано в Разделе 2.9, изделия из минерального волокна обычно содержат пропорциональную часть связующего вещества, основанного на фенольной смоле. Связующий раствор наносится на волокна в области формования, структурируется и высушивается в вулканизационной печи. Отработавший газ области формования будет содержать твёрдые частицы – фенол, формальдегид и аммиак.

Выбросы HCN были найдены в отработанных газах вулканизационной печи в установке по производству базальтового волокна; однако, данные отсутствуют.

Твёрдые частицы состоят и из органического, и из неорганического материала, часто с частицами очень мелкого размера. Более низкие уровни летучих органических соединений и аминов также могут быть обнаружены, если они включены в связующую систему. Вследствие характера процесса, газовый поток имеет большой объем и высокое влагосодержание. Выбросы из вулканизационной печи будут состоять из летучих связующих материалов, продуктов деструкции связующего вещества, водяного пара и продуктов горения от горелок вулканизационной печи.

После выхода из вулканизационной печи изделие охлаждается посредством прохождения через него большого количества воздуха. Этот газ, вероятно, содержит волокна минеральной ваты и низкие уровни органического материала. Чистовая обработка

изделия предусматривает нарезку, транспортировку и упаковку, что может приводить к появлению выбросов пыли.

Важный фактор, который оказывает значительное воздействие на выбросы загрязняющих веществ от формования, отверждения и охлаждения, является уровнем связующего вещества, наносимого на изделие, так как изделия с большим содержанием связующего вещества обычно приводят к более высоким уровням выбросов загрязняющих веществ. Полученные из связующего вещества выбросы загрязняющих веществ зависят главным образом от массы твёрдых частиц связующего вещества, применяемого в течение данного времени, и поэтому, высокое содержание связующего вещества, и в меньшей степени изделия с высокой плотностью, могут создавать более высокие выбросы загрязняющих веществ. Изделия обычно относятся к изделиям с низкой, средней и с высокой плотностью, охватывая диапазон между 10 и 80 кг/м³, с содержанием связующего вещества 5 – 12 %.

Как сообщалось в Разделе 3.8.2, Таблице 3.32, объем отработавшего газа связанного с операциями волокнообразования и формования намного выше, чем объем отработавшего газа от отверждения изделия (приблизительно в 10 раз выше).

В приведенной ниже Таблице 3.41 приведен полный спектр выбросов загрязняющих веществ от последующих действий для предприятий по производству стекловаты со значениями, приведенными и в концентрациях (мг/м³) и в коэффициентах выбросов (кг/т изделия).

Таблица 3.41: Полный спектр выбросов загрязняющих веществ от последующих действий в секторе производства стекловаты (мг/м³)

Вещество	Комбинированное волокнообразование, формование и отвер- ждение	Волокнообразование и формование	Отверждение изделия	Охлаждение изделия
Твёрдые ча- стицы	4,4 - 128	11,4	65,2	12,5
	(0,11 - 5,23)	(0,68)	(0,27)	(0,04)
Фенол	0,25 - 20	1,63	0,81	
	(0,009 - 0,93)	(0,093)	(0,0034)	

Формальдегид	0,3 - 16	1,71	1,13	
	(0,04 - 0,48)	(0,091)	(0,014)	
Аммиак	6-130	21,95	109	
	(0,3 - 6,5)	(1,13)	(0,69)	
Оксиды азота (NO _x)	7,7	5,82		
	(0,2)	(0,18)		
Летучие органические соединения	2-47,5	11,2	20,1	
	(0,11 - 2,76)	(0,56)	(0,09)	
Диоксид углерода (CO ₂)	5236			
	(194)			
Среднее число результатов	15	3	3	1
⁽¹⁾ Данные относятся ко всем методам, оборудованию и средствам борьбы с загрязнением.				

В приведенной ниже таблице 3.42 показан полный спектр выбросов загрязняющих веществ от последующих действий предприятий по производству базальтового волокна со значениями, приведенными и в концентрациях (мг/нм³), и в коэффициентах выбросов (кг/т расплавленного стекла).

Таблица 3.42: Полный спектр выбросов загрязняющих веществ от последующих действий в производстве базальтового волокна (мг/нм³, (кг/т изделий))

Вещество	Комбинированное волокнообразование, формование и отверждение	Волокнообразование и формование	Отверждение изделия	Охлаждение изделия
Твёрдые частицы	3-40	2 - 102	0,5 - 65	3,2 - 61,8
	(0,08 - 1,8)	(0,06 - 1,7)	(0,001 - 0,68)	(0,008 - 0,41)
Фенол	2-40	0,11 - 40	0,05 - 60	0,05 - 17

	(0,09 - 1,8)	(0,0035 - 1,36)	(0,0004 - 0,27)	(0,0002 - 0,12)
Формальдегид	3-11	0,3 - 15	0,1 - 25	0,05 - 12
	(0,12 - 0,28)	(0,06 - 0,43)	(0,00025- 0,09)	(0,0007 - 0,04)
Аммиак	12 - 67	0,3 - 113	0,3 - 347	1 - 30
	(0,47 - 2,44)	(0,009 - 3,04)	(0,005 - 2,35)	(0,007 - 0,16)
Оксиды азота (NO _x)	16 - 80	6,2 - 125	15 - 300	43,3
	(0,4 - 3,56)	(0,16 - 5,36)	(0,04 - 1,37)	(0,12)
Летучие органические соединения			1-7,4	6
			(0,01 - 0,13)	(0,02)
Амины		0,07 - 0,09	0,05 - 0,08	0,04 - 0,35
		(0,0013 - 0,0017)	(0,0001- 0,0002)	(0,0001- 0,0002)
Среднее число результатов	2	23	29	15
(¹) Данные относятся ко всем методам, оборудованию и средствам борьбы с загрязнением.				

3.8.2.4 Рассеянные выбросы

Основные источники рассеянных выбросов в секторе производства минерального волокна связаны с областями загрузки шихты и каналами подогревательной камеры (только для стекловаты), хранением и подготовкой химических составов покрытия и операциями по резанию, транспортировке и упаковке. Плавились печи, используемые в производстве базальтового волокна, являются полностью изолированными, и у них отсутствует потенциал рассеянных выбросов, и отсутствуют подогревательные камеры.

Системы местной вытяжной вентиляции часто используются для обеспечения необходимой вентиляции рабочей области около стекловаренной печи с последующим выпуском рассеянных выбросов внутри или снаружи здания.

Специально выделенные и замкнутые пространства обычно используются для хранения и подготовки химических составов покрытия, чтобы ограничить воздействие на рабочих потенциальных выбросов загрязняющих веществ.

Системы местной вытяжной вентиляции используются для мест выполнения резания, транспортирования и упаковки готовых изделий.

3.8.3 Выбросы в воду загрязняющих веществ

В нормальных условиях эксплуатации, процессы являются чистыми пользователями водных ресурсов, и выбросы в воду загрязняющих веществ очень низки. В большинстве процессов используются замкнутые системы технологического водоснабжения, и при наличии возможности охлаждающие воды и моющие воды подаются в эту систему. Если они несовместимы, или если объемы слишком значительны, их, вероятно, придется сбрасывать отдельно, но многие предприятия имеют сборный резервуар, чтобы компенсировать объёмные перегрузки, после чего воду можно будет затем отвести назад в систему. В некоторых предприятиях чистая нагретая охлаждающая вода сбрасывается в канализационный коллектор или естественный водоток. Небольшие количества загрязненной отработавшей воды могут возникнуть в результате просыпания химикатов, разлития из маслоуловителей и т.д. и эта вода обычно сбрасывается в систему технологического водоснабжения, транспортируется для обработки за пределами площадки или сбрасывается в канализационный коллектор.

Большой объем системы технологического водоснабжения может являться потенциалом для загрязнения контуров чистой воды, таких как поверхностные воды и закалочная вода для стеклового боя. Если системы плохо сконструированы или неправильно эксплуатируются, могут возникнуть более серьезные выбросы загрязняющих веществ. Если используются технологические методы мокрой очистки газа, особенно химическая очистка газа, сточные воды могут и не быть совместимыми с системой технологического водоснабжения, что повлечет за собой дополнительное увеличение отходов всех видов.

Пример водяного контура для производства стекловаты приводится в Разделе 2.9.1 на Рисунке 2.11.

3.8.4 Прочие отходы

Основные источники твердых отходов при производстве минерального волокна приводятся ниже:

- Рассыпания при транспортировании сырьевых материалов для шихты.
- Переработанный стеклянный бой, произведенный путем закаливания в горячей среде, плавится в воде во время прохождения устройства для формирования волокнистой массы при производстве стекловаты.
- Расплавленный материал из процессов производства базальтового волокна во время обхода устройства для формирования волокнистой массы.
- Пыль, собранная из систем очистки, главным образом из электростатических пылеуловителей и мешочных фильтров.
- Твёрдые включения из процесса формирования волокнистой массы базальтового волокна. Это тяжелый, неволокнистый и полуволокнистый материал, который слишком тяжел, чтобы достичь приёмного конвейера и собирается под устройством для формирования волокнистой массы. Около 10 – 20 % стекломассы, попадающей в устройство для формирования волокнистой массы, формируют так называемые "зёрна".
- Продукты от обрезки кромки.
- Отходы минерального волокна, создаваемые во время переналадки на обработку другого изделия, перерывов в работе производственной линии или из не удовлетворяющих техническим условиям изделий.
- Отходы из фильтров, используемых при производстве базальтового волокна, с высоким содержанием органических веществ, часто около 50 %.
- Железо и стекломасса с лома для вскрытия лётки стекловаренной вращающейся печи для производства базальтового волокна.
- Смесь из стекломассы и камней, возникающая при выключениях стекловаренной вращающейся печи.
- Твердые отходы, возникающие при фильтрации циркуляции обратной воды процесса. Они составляют от 0,5 до 2,0 % производительности процесса; они состоят из волокна, твёрдых частиц связующего вещества и до 50 % влаги.

- Отходы упаковки и прочие общие отходы.
- Отходы огнеупорного материала, возникающие при восстановлении печи.

При производстве стекловаты общепринятым является повторно использовать рассыпания шихты, бой стекловаты и пыль, собранную из систем очистки непосредственно в печи. Часть отходов стекловаты не может быть повторно использована непосредственно в стекловаренной печи вследствие присутствия органического вяжущего вещества, если не проводилась соответственная обработка для удаления органической фракции.

В процессах производства базальтового волокна, твёрдые включения, стекломасса на перепуске и пыль из систем очистки обычно используется повторно, если применяется процесс брикетирования. Отходы минерального волокна можно повторно использовать, размалывая их и вводя в состав брикетов, опять-таки это происходит только в том случае, если в установке действует система рециркуляции с брикетированием. Однако обрезки кромки обычно измельчаются и повторно используются в области формования и, в некоторых случаях, сухие отходы могут измельчаться для производства изделий из измельченной ваты.

Выключение стекловаренной вращающейся печи и выбивание отходов, которые теоретически можно повторно использовать с помощью системы брикетирования, но это случается не так часто. Этот материал инертен, и может использоваться в качестве наполнителя (например, дорожная насыпь). Металлическое железо, накопившееся в нижней части стекловаренной вращающейся печи, может быть собрано с помощью соответствующей специальной пресс-формы прежде, чем оно смешается с отходами в виде камней для того, чтобы избежать разделения, вызывающего выбросы пыли, и облегчить возможность внешней вторичной переработки материала. Металлическое железо из отходов может быть продано в качестве металлического лома, но материальный стимул для этого невелик.

Высокие уровни повторного использования для различных отходов, связанных с производственным циклом, могут вызывать выбросы металлов во время процесса стекловарения при производстве базальтового волокна.

Оценка процентного содержания отходов, повторно используемых в секторе производства минерального волокна, в настоящее время отсутствует. Однако в приведенной

ниже Таблице 3.46 дается представление о существующей практике; в некоторых предприятиях практикуют повторное использование, а в других – нет.

Таблица 3.43: Создание и повторное использование твердых отходов сектора производства минерального волокна

	Стекловата	Базальтовое волокно и шлаковая вата
Общее количество создаваемых отходов в виде доли в процентах от выпуска продукции	0 - 15%	20 - 60%
Доля в процентах повторно используемого общего количества отходов	5 - 100%	5 - 100%
Доля в процентах общего количества отходов утилизированного за пределами предприятия	0 - 100%	0 - 100%

3.8.5 Энергия

Преобладающими источниками энергии для стекловарения стекловаты являются природный газ и электричество. Базальтовое волокно преимущественно производится в стекловаренных вращающихся печах, в которых в качестве топлива используется кокс, и имеется несколько примеров газовых и электрических печей. Также для формирования волокнистой массы и отверждения в значительных количествах используется природный газ. Электричество используется для общих служб, а мазут, пропан и бутан иногда используются в качестве вспомогательного топлива. В секторе производства используется несколько газовых рекуперативных печей с кислородным дутьем.

Тремя основными областями потребления энергии являются стекловарение, формирование волокнистой массы и отверждение. Расхождение между процессами может быть довольно значительным и коммерчески очень важным. В Таблице 3.44 показан общий объем энергопотребления при производстве минерального волокна, с разбивкой по основным этапам процесса. Значения для формирования волокнистой массы, отверждения и для прочих видов потребления энергии являются оценочными показателями.

Таблица 3.44: Использование энергии в производстве минерального волокна

Распределение энергии	Стекловата	Базальтовое волокно / шлаковая вата
	ГДж/т готовых изделий	ГДж/т готовых изделий
Общий объем энергопотребления	9 - 20	7 - 14
	% суммарной энергии	% суммарной энергии
Стекловарение	20 - 45	60 - 80
Формирование волокнистой массы	25 - 35	2 - 10
Отверждение	25 - 35	15 - 30
Прочее	6 - 10	5 - 10

Прямое потребление энергии для электрического стекловарения лежит в интервале от 2,7 до 5,5 ГДж/т готовых изделий. Потребление энергии для электрического стекловарения составляет приблизительно одну треть от требуемой для 100 % стекловарения горючей смеси воздуха и паров нефтепродуктов, и относительное потребление энергии для каждой стадии процесса может быть оценено соответственно. Касательно этих значений погрешность метода при такой оценке очень высока, но они дают представление о потреблении энергии.

Существенная доля привозного стекольного боя (главным образом натрий-кальций-силикатное стекло) широко используется в составе шихты при производстве стекловаты и в последующем оказывает значительное влияние на потреблении энергии печью. Однако, имеется много технических ограничений на использование стекольного боя, таких как отвечающий требованиям химический состав и присутствие загрязняющих веществ (органические материалы, большое количество металлов и т.д.).

3.9 Фритты

Основное экстрактивное вещество из расплавленной массы при производстве фритт, является стекловидным веществом, с широким спектром различных химических составов, зависящим от требуемых свойств и области применения. При сравнении с исходным используемым сырьем окончательный результат после стекловарения представ-

ляет собой 85 – 90 % оригинального веса, в зависимости от химического состава. Большая часть этой потери веса является результатом выбросов CO_2 и H_2O , происходящих во время процесса стекловарения. В процессе производства керамических фритт не образуются какие-либо отходы; и единственным материалом, который необходимо утилизировать, является обычно пыль, собранной в системах очистки, которая не оказывает значительного влияния на изделие, хотя это подразумевает планирование и частое повторное использование. Поэтому, основное количество произведенного продукта (выход годных изделий) в том, что касается конечного продукта очень высокое, так как в большинстве случаев изделие только охлаждается водой (хотя его также можно охлаждать струёй воздуха), и единственными потерями являются твёрдые частицы, которые первоначально не могут быть выделены из охлаждающей воды.

3.9.1 Исходные сырьевые материалы.

Перечень основного сырья, используемого в наиболее распространенных составах, представлен в Таблице 3.45 вместе с предварительной оценкой их процентного содержания в составе шихты. Точные значения изменяются в зависимости от химического состава; однако, значения, показанные ниже, могут рассматриваться в качестве ориентира.

Таблица 3.45: Основное сырье, используемое в производстве фритт

Тип фритты	Сырье	Приблизительный % в шихте
Керамические фритты / стеклообразные фритты	Соединения циркония	7,7
	Полевой шпат	26,8
	Кварц	25,9
	Борная кислота	6,8
	Оксид цинка	8,4
	Доломит	8,4
	Карбонат кальция	13,4
	Нитрат калия	2,6

Эмалевые фритты	Бура	19,1
	Кварц	42
	Нитрат натрия	7,8
	Фторсиликат натрия	1,2
	Фторсиликат калия	7,8
	Фосфат натрия	3,2
	Оксид титана	18,9
Фритты с низкой температурой стекловарения	Красный свинец (Pb_3O_4)	50
	Кварц	19,8
	Оксид цинка	15,1
	Борная кислота	15,1

Вода используется для целей охлаждения и очистки, а также и для охлаждения и измельчения расплавленного стекла (закаливание), а так же для мокрого способа охлаждения. Все водяные контуры являются замкнутыми контурами, и имеют соответствующие потери за счёт испарения. Прочими потерями воды являются водосодержание изделия и водосодержание твёрдых частиц, собранных из водяного контура, контактирующего с расплавленным материалом. Водопотребление оценивается в 0,5 - 3 м³/т керамических фритт.

Природный газ используется как топливо с самым распространенным окисляющим веществом, являющимся воздухом в окислительной атмосфере.

3.9.2 Выброс загрязнителей в воздух

3.9.2.1 Сырьевые материалы

Все бункеры и смесительные емкости оборудованы системами фильтрации, которые уменьшают выбросы пыли до уровня менее 30 мг/нм³. Выбросы пыли в какой-либо системе, с или без фильтров, зависят от количества перемещений сырья, размера гранулы, и количества обрабатываемого материала. Хотя весьма редко и только в низких количествах, некоторые процессы в производстве фритты предусматривают использование сырья, которое содержит свинец или другие тяжелые металлы, в том числе и

для эмалевых фритт. Все необходимые меры уже приняты для того, чтобы выбросы загрязняющих веществ от этих веществ могли быть минимальными.

3.9.2.2 Варка фритт

В секторе производства фритт образуются выбросы вредных веществ в атмосферу во время деятельности, связанной с варкой стекла, потому что она является процессом, требующим использования высокой температуры и интенсивного использования энергии. Высвобождаемые вещества и соответствующие источники идентифицированы в Разделе 3.2.2.1. Все печи в этом секторе производства работают на природном газе, и выбросы оксидов серы не превышают 200 мг/нм^3 в зависимости от сульфатного уровня шихты.

В приведенной ниже таблице 3.46 показаны типичные уровни выбросов загрязняющих веществ от этого сектора производства; статистическое разложение недоступно.

Таблица 3.46: Типичные уровни выбросов загрязняющих веществ из плавильных печей для сектора производства фритт

Вещество	Концентрация, мг/нм^3 ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Выброс массы загрязняющих веществ расплавленное вещество кг/т стекломас- сы ⁽¹⁾
	Средние значения	Средние значения
Пыль	<40	<0.2
Оксиды азота (как NO_2)	1600 (3)	12 (3)
Оксиды серы (как SO_2)	<200	<1
Хлориды (HCl)	<10	<0,050
Фториды (HF)	<5	<0,025
Металлы (Группа 1+2)	<5	<0,025
Металлы (Группа 1)	<1	<0,01

- (1) Данные, относящиеся к объемам выпуска > 20 т/сутки.
- (2) Концентрации вредных примесей, относящиеся к концентрации кислорода 15 %.
- (3) Значения, относящиеся к многономенклатурному производству (химические составы с и без нитратов). Эти значения должны жестко поддерживаться, когда в составе шихты используются высокие уровни нитратов для всех печей, сообщающихся с одной вентиляционной трубой.

Выбросы пыли зависят от эффективности применяемой системы очистки, так как заводы обычно оборудуются системами фильтрации. Выбросы оксидов азота главным образом зависят от системы сжигания топлива (воздух/топливо, обогащенный кислородом воздух, с использованием горения топлива в кислороде) и содержания нитратов в сырье, используемом для подготовки состава шихты. Высокая вариабельность изделий и технологий производства, используемых в секторе производства фритт, не позволяет установить очевидное соотношение между этими факторами и выбросами оксидов азота.

Считается, что из 1 кг нитратов, добавленных в состав шихты (нитраты натрия, калия или кальция), выделяется приблизительно 0,5 кг NO_2 , так что из каждого 1 % нитратов, использованных в шихте, выделяется где-то максимум 5 кг NO_2 в расчете на тонну выплавленных фритт, если предполагается полное преобразование нитратов в NO_2 . Степень преобразования нитратов нелегко предсказать, но она, по оценкам, составляет от 30 до 80 % максимального значения.

На выбросы NO_x от процесса горения влияют различные применяемые технологии стекловарения и избыточный воздух, поддерживаемый в печи по техническим причинам.

Как уже сообщалось в Разделе 2.11.2, обычный способ эксплуатации плавильных печей в секторе производства фритт дает в результате концентрацию кислорода в отработанных газах приблизительно 15 % по объему, за исключением случая горения топлива в кислороде, при котором процентное содержание кислорода может быть намного более высоким и не актуально для определения концентраций выбросов загрязняющих веществ.

Когда комбинация топочных газов из различных печей, в которых используются разнообразные технологии горения (с использованием горения топлива в кислороде, обогащение кислородом, топливовоздушная смесь) подается в единую дымовую трубу, коррекцию до 8 % кислорода, обычно используемую для печей непрерывной стекловарения, не стоит применять; в этих случаях более уместным является использование коэффициентов выбросов, выраженных в кг/тонну выплавленной фритты.

В таблице 3.47 приводятся значения выброса NO_x , связанные с различными условиями эксплуатации (тип процесса горения) и составами шихты (с или без нитратов). Данные относятся к типичной установке, производящей фритты, где топочные газы из одной или нескольких печей (до 7) подаются в единую дымовую трубу.

Таблица 3.47: Примеры уровней выбросов NO_x от установки для производства фритты, работающей при различных условиях сгорания и с различными составами шихты

Печи (¹)	Условия эксплуатации	Нитраты в шихте, (%)	Характеристики топочного газа			Выбросы NO_x	
			(%)	Температура, °C	Объем, $\text{нм}^3/\text{час}$	$\text{мг}/\text{нм}^3$ (²)	кг/т фритты
7	Горение топлива в кислороде; несколько типов химических составов фритты	1,9 (³)	19,8	141	22011		10,9
1	Горение топлива в кислороде; кристаллическая фритта	0	21,2	66	17351		7,1
2	Горение топлива в кислороде; циркониевые фритты	1,7 - 4,1	21,2	114	7521		10,4
2	Обогащенный кислородом процесс горения воздуха; циркониевые и титановые фритты	3,7 - 1,6	17,6	136	10594	3890	6,6 (⁴)
2	Горение с дутьем, обогащенным кислородом; циркониевые и титановые фритты	<2 (³)	19,2	114	40121	883	6,6 (⁴)

6	Горение с дутьем, обогащенным кислородом; несколько типов химических составов фритты	1,2 ⁽³⁾	не применимо	не применимо	не применимо	1800	13,5 ⁽⁴⁾
2	Горение с дутьем, обогащенным кислородом; несколько типов химических составов фритты	3 ⁽³⁾	не применимо	не применимо	не применимо	3900	29,3 ⁽⁴⁾
2	Сгорание с использованием смеси воздух-топливо; несколько типов химических составов фритты	3 ⁽³⁾	не применимо	не применимо	не применимо	1750	13,1 ⁽⁴⁾

(¹) Количество печей, соединенных с единой дымовой трубой.

(²) Концентрации имеют в виду 15 % кислорода по объему.

(³) Процентное содержание нитратов относится к средневзвешенному значению, основанному на продукции и ёмкости каждой печи, подсоединенной к единой дымовой трубе.

(⁴) Пересчетный коэффициент $7,5 \times 10^{-3}$ использовался для оценки выбросов удельных масс, выраженных в кг/т выплавленной фритты.

3.9.2.3 Последующие действия

Выброс загрязнителей в воздух от последующих технологических процессов очень низкий. Подавляющее большинство операций измельчения выполняется мокрым способом, но сухое измельчение может повлечь за собой выбросы пыли, если их не уменьшать.

3.9.2.4 Рассеянные выбросы

Основные источники рассеянных выбросов в секторе производства фритты связаны с областями загрузки шихты стекловаренной печи, сухим или мокрым измельчением и с упаковкой изделий.

Область загрузки шихты обычно бывает полностью закрытой, и предполагается, что потенциальные выбросы загрязняющих веществ от механического выноса шихты и количество газообразных продуктов сгорания будут очень низкими.

Как правило, операция измельчения (влажного или сухого) и упаковка изделия выполняется под вытяжкой, за которой располагается система мешочных пылеуловителей, для обеспечения нужного качества воздуха в рабочей области; предполагается, что при этих обстоятельствах рассеянные выбросы будут очень низкими.

3.9.3 Выбросы в воду загрязняющих веществ

Выбросы в воду загрязняющих веществ состоят из обычного охлаждения, очистки и выбросов из поверхностных стоков. Контуры гашения и измельчения обычно закрываются путем залива пресной воды, но иногда проводится чистка, чтобы предотвратить накопление солей. Уровни выбросов загрязняющих веществ очень низкие, но выбросы могут содержать взвешенные твердые частицы, и при некоторых обстоятельствах во взвешенных твердых частицах могут присутствовать тяжелые металлы. Металлы обычно связываются со стеклом и могут быть удалены с помощью технологии сепарации твердых отходов.

В некоторых случаях, в зависимости от дренирующего водотока, уровни выбросов загрязняющих веществ в точке выброса могут быть значительно выше. В такого рода случаях предполагается возможное внешнее применение отработавшей воды в керамической промышленности.

3.9.4 Прочие отходы

Уровни отходов обычно бывают очень низкими. Основными отходами производства являются твердый материал (главным образом фритты) выделяемый из водяных контуров. Этот материал обычно повторно не используется, из-за слишком непостоян-

ного состава. На большинстве предприятий отходы для обеспечения хорошего коэффициента выпуска продукции должны составлять приблизительно 0,5 - 3 %.

Большая часть минерального сырья поставляется в насыпном виде и не является источником отходов упаковки. Отходы от операций по упаковке изделия (пластмасса, картон, древесина и т.д.) обычно используются повторно или утилизируются, если это практически осуществимо. Прочие отходы неспецифические для сектора производства, утилизируются обычными средствами, или повторно используются там, где это позволяют выполнять местные или национальные схемы. В конце кампании печи конструкция из огнеупорного материала демонтируется и заменяется. При наличии возможности, этот материал восстанавливается для повторного использования или продажи.

3.9.5 Энергия

Печи для производства фритт обычно бывают очень малого размера по сравнению с прочими печами, используемыми в стекольной промышленности. Только несколько конкретных печей имеют производительность, превышающую 20 тонн в сутки. Все действующие печи работают на природном газе, и нет никаких известных примеров электрического стекловарения в промышленных масштабах. На предприятии обычно имеется несколько печей, каждая из которых производит фритты, имеющие различные химические составы. Использование энергии в расчете на тонну выплавленной фритты аналогично прочим секторам производства (более 13 ГДж/т, что соответствует 300 нм³/т фритт). Рекуперативные печи с кислородным дутьем демонстрируют меньшие значения в диапазоне 9 - 13 ГДж/т фритт. В других процессах обычно расходуется мало энергии при условии, что число последующих действий незначительно, и изделия обычно не сушатся. В значительном количестве печей в качестве окисляющего вещества используется кислород, что может обеспечить экономию энергоресурсов и снижение выбросов. Однако при оценке общего объема энергопотребления в расчете на тонну фритт необходимо принимать во внимание энергию, требуемую для производства кислорода. Кроме того, должны учитываться косвенные выбросы, связанные с производством кислорода, вместе с дополнительным влиянием перекрестных эффектов (то есть, износ огнеупорных материалов).

4 Технологии для рассмотрения в определении "наилучшие доступные технологии"

4.1 Введение

В этой главе описываются технологии (или их комбинации) и соответствующий контроль, которые как считается, должны обеспечить высокий уровень защиты окружающей среды при производстве стекла. Она охватывает системы управления состоянием окружающей среды, интегрированные в процесс производства стекла и природоохранные меры. Также рассматриваются меры по предотвращению образования отходов, удаление и обезвреживание отходов, включая процедуры минимизации количества отходов и их повторного использования. Кроме того, рассматриваются технологии для уменьшения расхода сырья, воды и энергии.

Возможно несколько критериев для определения наилучших доступных технологий, и информация в рамках этой главы затронет эти критерии. По возможности используется стандартная структура, приведенная в Таблице 4.1, чтобы кратко изложить информацию, собранную в отношении каждой технологии, позволяя сравнивать технологии и определения с определениями наилучших доступных технологий.

В этой главе не обязательно предоставлен исчерпывающий список технологий, которые могли быть применены в отрасли, и могут существовать или могут быть разработаны другие технологии, которые соответствуют критериям наилучших имеющихся технологий для конкретной установки.

Таблица 4.1: Информация для каждой технологии, описываемая в этой главе

Заголовок в Разделе	Тип включенной информации
Описание	Краткое техническое описание, в котором в случае необходимости используются химические или иные уравнения, рисунки, схемы и блок-схемы.
Достигнутые преимущества исполь-	Основные потенциальные преимущества использования для окружающей природной среды, которые будут получены с помо-

Заголовок в Разделе	Тип включенной информации
зования для окружающей природной среды	щью выполнения технологии (включая пониженный расход энергии; пониженные выбросы в воду, в воздух и землю; экономия материалов; а так же увеличение количества произведенного продукта, уменьшение отходов и т.д.).
Влияние загрязнения одной среды на другую	Соответствующее отрицательное влияние на окружающую среду, вследствие реализации технологии, позволяющее выполнять сравнение среди технологий для оценки воздействия технологии на окружающую среду в целом. Это может включать в себя следующие ограничения: • расход и природа сырья и воды • потребление энергии и вклад в глобальное потепление • потенциал разрушения слоя стратосферного озона • фотохимический потенциал образования озона • окисление в результате выброса загрязнителей в воздух • твердые примеси в окружающем воздухе (включая микрочастицы и металлы) • заболачивание земель и водоемов, вследствие выброса загрязнителей в воздух или воду • потенциал кислородного истощения воды • стойкие / ядовитые / биоаккумулирующие компоненты (включая металлы) • создание углеводородных остатков/ отходов • ограничение возможности повторного использования или утилизации углеводородных остатков/ отходов • создание шума и/или запаха • повышенный риск несчастных случаев.
Рабочие данные	Фактические и специфичные для конкретного предприятия рабочие характеристики (включая уровни выбросов, уровни расхода – сырья, воды, энергии и количество создаваемых углеводородных остатков/отходов). Прочая полезная информация относительно то-

Заголовок в Разделе	Тип включенной информации
	го, как: • как разрабатывать, использовать, поддерживать, контролировать и выводить из эксплуатации технологию • проблемы контроля выбросов, относящиеся к использованию технологии • уязвимость и долговечность технологии • вопросы, относящиеся к предотвращению несчастных случаев.
Возможность использования	Указание типа предприятий или процессов в секторе, в которых технология не может быть применена, а так же ограничения реализации в определенных случаях, учитывая, например, срок службы установки, (новая или действующая), факторы, включающие в себя модернизацию систем очистки (например, наличие пространства), размер предприятия (большое или малое), уже применяемые технологии и тип или качество продукта.
Экономика	Информация о затратах (капитальные вложения/инвестиции, эксплуатация) и какие-либо возможные экономии (уменьшение количества сырья или потребления энергии, налоги на производимые отходы) или доходы, включая подробные данные о том, как они были вычислены/оценены. Будет включена экономическая информация, относящаяся к новой конструкции и модернизируемой конструкции к действующей установке. Это по возможности должно предусматривать идентификацию общего экономического эффекта от внедрения технологии.
Движущая сила для реализации	Когда это применимо, определенные локальные условия, требования (например, законодательство, меры по обеспечению безопасности) или неэкологические инициирующие события (например, увеличение количества произведенного продукта, улучшение качества продукта, экономические стимулы – например, субсидии, налоговые льготы), которые запускали или стимулировали внедрение технологии к настоящему времени.

Заголовок в Разделе	Тип включенной информации
Пример предприятий	Ссылки на предприятие(я), на которых была реализована и от которого информация была получена и использована при написании настоящего раздела. Указания степени использования технологии в России или во всем мире.

Эта глава имеет восемь основных разделов, которые включают в себя:

1. Выбор технологии стекловарения
2. Обработка материалов
3. Технологии для контроля выброса в воздух загрязнителей от процессов варки стекла
4. Технологии для контроля выброса в воздух загрязнителей от процессов, не относящихся к варке стекла
5. Технологии для контроля выбросов вредных веществ в воду
6. Технологии для ограничения количества прочих отходов
7. Энергия
8. Системы управления состоянием окружающей среды.

Основное воздействие стекольной промышленности на окружающую среду в целом возникает из-за выброса загрязнителей в воздух при деятельности, связанной с варкой стекла. Технологии, предназначенные для уменьшения этих выбросов, описаны в Разделах 4.2, 4.3 и 4.4. Большая часть описанных технологий относится к большинству установок в стекольной промышленности, и разделяет единый базис. Поэтому Раздел 4.4 структурирован по веществам, и для каждого вещества описаны различные технологии уменьшения выбросов. Технологии были описаны в разделе, относящемся к конкретному веществу, на которое они оказывают самое большое влияние, но неизбежно имеются положительные и отрицательные влияния многих веществ для многих из технологий. Где необходимо, были описаны действия на другие вещества, и указаны перекрёстные ссылки на другие разделы.

В различных частях документа используются термин 'основные и вспомогательные меры по устранению загрязнения окружающей среды'. Эти термины помогают группировать некоторые из технологий. Как правило, основными технологиями являют-

ся те, которые уменьшают или предотвращают образование загрязнителей; и вспомогательными технологиями являются те, которые действуют на загрязнители, чтобы делать их менее вредными (например, преобразуя их в другой биологический вид) или собрать их в форме, которая может многократно применяться, повторно использоваться или утилизироваться. Некоторые из описанных технологий, возможно, сложно отнести к какой-либо одной категории, и, там, где необходимо, это разъясняется в тексте.

Чтобы иметь возможность сравнить и оценить эффективность различных технологий, приводятся данные о выбросах, по мере доступности информации, вместе с рабочими параметрами установки, методикой выборочного обследования и периодом осреднения.

Информация о выбросах может быть выражена в виде абсолютных значений или мер концентрации, и по сравнению с фактическим производством или производительностью. Будут описаны наиболее соответствующие экономические факторы каждой из технологий, чтобы по возможности идентифицировать суммарный экономический эффект какой-либо предоставленной технологии. Различные выражения могут использоваться для затрат и расходов, относящиеся к единицам измерения продукции или времени.

Важное соображение для этой главы состоит в том, что у технологии, которая успешна в одном варианте применения, могут быть совсем другие значения, если она используется в другом секторе или даже в другой установке в том же секторе. Затраты, экологическая эффективность и соответствующие преимущества и недостатки могут значительно отличаться для различных секторов и для конкретной установки. Для каждой технологии обсуждается ее доступность и вероятная возможность использования в интервале ситуаций.

При оценке технологии, также важно, чтобы учитывать, что определенное оборудование может стать менее эффективным с течением времени и может быть тенденция увеличения для некоторых, но не всех типов выбросов загрязняющего вещества. Принимая во внимание, что это относительное увеличение, вероятно, будет небольшим, должен быть предпринят должный учет нормальных и предсказанных характеристик старения, рассматривая уровни выброса загрязняющего вещества, которые могут быть достигнуты, принимая во внимание, что замена оборудования может быть отложена до

реконструкции технологической линии. Поэтому, оператор должен внимательно контролировать характеристики выбросов вредных веществ предприятия, регулярно обслуживая предприятие и, когда это необходимо, своевременно подготавливать реконструкцию.

При оценке возможности использования какой-либо технологии, описанной в этой главе для непрерывного процесса стекловарения, необходимо рассмотреть, может ли она быть применена к печи во время кампании, или она может только быть применена (или лучше всего применена) только при реконструкции. Важной особенностью стекольной промышленности является то, что печи, имеют ограниченный эксплуатационный срок службы, после завершения которого они должны быть отремонтированы или реконструированы. Как правило, стекловаренные печи, работающие на органическом топливе, производящие тарное стекло, листовое стекло, стекловату и стекловолокно из непрерывной нити, работают непрерывно ежедневно со стандартным сроком эксплуатации между 10 и 20 годами, а в некоторых случаях до 20 лет. Стекловаренные печи, работающие на органическом топливе, для варки специального и сортового стекла, обычно работают непрерывно в течение 3 - 8 лет. Электрические печи показывают более короткие сроки службы во всех областях применения, то есть 2 - 7 лет. Некоторые другие печи, такие как стекловаренные вращающиеся печи и стекловаренные печи периодического действия для производства стеклообразных фритт работают в течение намного более коротких периодов, от нескольких дней до нескольких недель.

Имеются две основные категории реконструкции для непрерывных процессов:

- В 'обычной' реконструкции (или так называемом холодном ремонте) ремонтируются огнеупорная кладка печи и, где необходимо, регенераторы, путем полной или частичной замены материала. Возможностей значительно изменять каркас печи нет, и размеры печи остаются в основном неизменными. В случае, если нет значительных изменений в требованиях, предъявляемых к стекловаренной печи или технологии, то наиболее распространенным типом реконструкции является холодный ремонт между кампаниями.

- 'Полная' реконструкция предусматривает значительные изменения или замену стекловаренной печи и всего связанного с ней оборудования и установки. Она может быть сопоставима со строительством новой печи, хотя, во многих случаях, может быть

сохранена большая часть существующей инфраструктуры и, в частности, регенераторы. Этот тип реконструкции мало распространен и обычно выполняется, когда имеет место существенное изменение в требованиях к печи (например, значительно увеличенная варочная часть печи или существенные изменения в производительности по нагреву) или затронута технология. Полная реконструкция обычно предусматривает значительно более высокие затраты, чем обычный холодный ремонт.

Во время кампании печи возможность её модифицирования ограничена. Хотя горячие ремонты для замены или укрепления поврежденных огнеупорных материалов выполняются часто, и эти изменения или замена горелок также могут быть сравнительно простыми операциями. Существенные изменения, влияющие на параметры стекловарения, обычно реализуются наиболее экономно, если совпадают с реконструкцией печи. Это может также быть справедливым для комплексных мер по борьбе со вторичными выбросами. Однако, много положительной динамики к работе печи, включая применение вспомогательных технологий, возможны во время действующей кампании. Где необходимо, эти проблемы обсуждаются при рассмотрении возможности использования различных технологий.

Различие между 'обычной' реконструкцией (или холодным ремонтом) и 'полной' реконструкцией не является абсолютными, имеется несколько этапов между самой простой обычной реконструкцией и полным разрушением и общей заменой печи. Например, небольшой ремонт может быть выполнен либо как горячий ремонт, либо как холодный ремонт для устранения определенных повреждений или внесения незначительного изменения. Также незначительная реконструкция может быть выполнена в случае, когда был выполнен плановый холодный ремонт, но большая часть огнеупорного материала была сохранена, и были заменены только его поврежденные части. Наиболее важное различие, которое влияет и на стоимость, и на свободу внедрять новую технологию, имеется ли существенное изменение каркаса печи и, следовательно, ее размеров.

Для конкретных случаев, в особенности для печей с более частыми реконструкциями и меньшими капитальными затратами, преимущества координирования улучшения состояния окружающей среды и ремонтов печи менее значительны. Однако, даже в этих случаях, улучшение состояния окружающей среды может быть экономически бо-

лее выгодным, если согласовано с прочими работами и инвестициями, запланированными для стеклостекловаренной печи.

4.2 Выбор технологии стекловарения

Стекловаренные печи, используемые в стекольной промышленности, изменяются по размеру от небольших горшковых печей до больших регенеративных печей, производящих до 1 000 тонн стекла в сутки. Выбор конструкции стекловаренной печи зависит от многих факторов, но особенно от необходимого объема, химического состава стекла, необходимого качества стекла, цены на топливо, уровня цен на кислород, локальной цены на электричество и существующей инфраструктуры. Выбор конструкции стекловаренной печи является одним из важнейших экономических и технических решений, принимаемых для нового предприятия или для реконструкции печи. Определяющими факторами являются необходимый объем и тип стекла.

Выбор между регенеративной или рекуперативной стекловаренной печью обычно базируется на экономических и технических причинах. Поэтому, экологические аспекты обсуждаются здесь только вкратце. Выбор между стандартным разогревом с помощью смеси воздух-топливо и электрическим или варкой с использованием горения топлива в кислороде является важным фактором в определении наилучших имеющихся технологий, и эти технологии описаны отдельно. Подобным образом другие специальные технологии варки, например, стекловаренная печь LoNOX®, обсуждаются отдельно для секторов, относящихся к конкретным составам стекла.

У каждой из технологий, описанных в Главе 2, есть свои, присущие им преимущества, недостатки и ограничения. Например, наилучшим с технической точки зрения и наиболее экономичным способом производства флоат-стекла большого объема является производство в большой стекловаренной ванной регенеративной печи с поперечным направлением пламени; печи для варки флоат-стекла с использованием горения топлива в кислороде могут обеспечить экономичную альтернативу в зависимости уровня цен на кислород. Альтернативные технологии или все еще не доказаны в секторе или ставят под угрозу экономические или технические аспекты предприятия (например, плавильные электропечи или рекуперативные печи). Для секторов производства стекла с подоб-

ными характеристиками (например, тарное и сортовое стекло) технология стекловарения и конструкция печи могут быть практически осуществимыми для одного сектора и не осуществимыми для другого, исходя из технических и экономических соображений.

Экологическая эффективность печи является результатом комбинации выбора технологии стекловарения, типа и требования к качеству выполнения работ для стекла, метода эксплуатации и обеспечения мер по борьбе с вторичными выбросами. С экологической точки зрения технологии стекловарения, которые по своему существу меньше загрязняют или могут контролироваться с помощью первичных способов, обычно более предпочтительны, чем те, которые основываются на вторичных выбросах. Однако необходимо учитывать экономические и технические практические аспекты, и окончательный выбор должен быть их оптимизированным балансом.

Экологическая эффективность различных технологий стекловарения будет значительно отличаться в зависимости от выпускаемого типа стекла, метода эксплуатации и конструкции. Например, выбросы загрязняющего вещества (до вторичных выбросов) из рекуперативной печи, производящей стекло для кинескопов с дополнительным нитратом, и приближающейся к концу кампании, будут иметь небольшое сходство с выбросами загрязняющего вещества от недавно построенной рекуперативной печи для производства стекловолокна из непрерывной нити, для которой оптимизирована конфигурация, химический состав стекла и разогрев. Определенные требования к уровню качества продукта в различных секторах могут также оказывать влияние на экологическую эффективность печи. Эти факторы делают сложным прямое количественное сравнение различных технологий стекловарения, в приведенных ниже разделах только обобщаются основные экологические факторы для каждой из технологий, описанных в Главе 2. Различия в выбросах загрязняющего вещества из различных типов печи обсуждаются, где необходимо, в разделах этой главы, связанных с конкретным веществом.

Стекловарение в электропечи отличается от описанных ниже других технологий, потому что электрический нагрев является коренным изменением в технологии, и оказывает очень сильное влияние на прямые выбросы. Стекловарение в электропечи представляется как одна из специфических технологий, используемых в качестве предмета обсуждения в определении наилучших имеющихся технологий. Однако, из-за ее влияния на выбросы всех загрязняющих веществ, она не совсем соответствует ориентиро-

ванному на вещество подходу настоящей главы; поэтому, она представлена отдельно в этом разделе.

Другие технологии стекловарения, которые отличаются от стандартных печей топлива/воздуха, оказывают очень сильное влияние в частности на выбросы оксидов азота, приводятся в Разделе 4.4.2. Это является случаем с использованием для стекловарения стекла горения топлива в кислороде и специальных конструкций печи, которые описываются в Разделах 4.4.2.5 и 4.4.2.3 соответственно.

Обобщенные результаты по различным удельным энергозатратам, касательно принятой технологии стекловарения, приводятся в Таблице 3.13 и Рисунке 3.4 для сектора тарного стекла, классифицированного по типу печи и размеру.

Регенеративные печи

Эти печи обычно обладают более с низким энергопотреблением, чем другие стандартные печи, работающие на органическом топливе, благодаря более эффективной системе предварительного нагрева воздуха для системы сгорания. Меньшая энергия, используемая в расчете на тонну расплавленного стекла, приводит к уменьшению количества многих из загрязнителей, связанных со сгоранием. Однако высокие температуры подогрева содействуют образованию большего количества окиси азота. Эти печи показали очень высокие результаты с использованием методов, оборудования и средств борьбы первичными выбросами, особенно с окисью азота. Из двух типов регенеративных печей стекловаренные ванны регенеративные печи с торцевым направлением пламени имеют тенденцию к лучшей эффективности использования энергии и меньшим выбросам загрязняющего вещества. Однако, на стекловаренных ваннах регенеративных печах с поперечным направлением пламени, можно регулировать местоположение зоны температурного максимума стекловаренной печи, чтобы достичь производства стекла хорошего качества даже в печах большого размера, благодаря лучшему контролю потоков массы расплавленного стекла.

Замена стекловаренной ванны регенеративные печи с поперечным направлением пламени возможна только при полной реконструкции. При условии, что можно построить такую печь в доступном пространстве, дополнительные затраты, связанные с полной

реконструкцией могут перевесить какие-либо экологические или экономические выгоды от эксплуатации.

Высокие капитальные затраты регенеративных печей означают, что они обычно экономически целесообразны только для крупносерийного производства стекольной продукции (обычно > 100 тонн в сутки, хотя имеются примеры и более малых печей). Для производительности > 500 тонн в сутки обычно используются стекловаренные ванны регенеративные печи с поперечным направлением пламени, чтобы получить хорошее регулирование нагрева вдоль всей длины печи.

Рекуперативные печи

Эти печи менее энергоэкономичны, чем регенеративные печи, но, тем не менее, сохраняют значительное количество тепла при помощи рекуперативной системы. Кроме того, положительная динамика в эффективности использования энергии возможна благодаря использованию дополнительной технологии, например, дополнительного электроподогрева, котлов-утилизаторов тепла отходящих газов, предварительного нагрева газом и предварительного нагрева шихты/стекольного боя. Температуры подогрева ниже, чем в регенеративных печах, и с помощью первичного контроля окиси азота могут быть достигнуты высокие результаты.

Хотя, в большинстве случаев выбросы загрязняющего вещества окиси азота, выраженные в концентрациях (мг/нм^3), показывают более низкие значения для рекуперативных печей (см. средние значения в Таблице 3.15), определенные выбросы загрязняющего вещества регенеративных и рекуперативных печей, выраженные в кг окиси азота/т стекла, сопоставимы, за исключением рекуперативных печей особой конструкции (печь LoNOX®).

Комбинированная варка стекла в печах, работающих на органическом топливе и электричестве

Имеются два основных подхода к использованию этой технологии, преимущественно нагревание путем сжигания органического топлива с дополнительным электроподогревом или преимущественно электрическое нагревание с поддержкой путем сжигания органического топлива. Устройство для дополнительного электроподогрева уста-

новлено во многих печах и может обеспечивать 2 – 20 % суммарной потребляемой мощности. Обычно в печах для варки тарного стекла и флоат-стекла, величина дополнительного электроподогрева очень ограничена (<5 %) из-за расходов на электричество. Дополнительный электроподогрев будет уменьшать прямые выбросы загрязняющих веществ из печи благодаря частичной замене сгорания органического топлива электрическим нагреванием для данного удельного съема стекломассы. Как будет обсуждаться в приведенном ниже Разделе 4.2.1, если предпринят более целостный подход, уменьшение, достигнутое на месте эксплуатации, должно рассматриваться по отношению к выбросам, связанным с выработкой электроэнергии.

Высокая стоимость, связанная с дополнительным электроподогревом, означает, что он обычно не является применимым долговременным вариантом уменьшения выбросов загрязняющего вещества для производства базового уровня. Он является оперативным средством, использование которого определяется экономическими и техническими вопросами. Дополнительный электроподогрев может использоваться совместно с таким оборудованием, как горелки с низким выходом оксидов азота, для улучшения стекловарения и уменьшения выбросов загрязняющего вещества, но он не является рентабельным вариантом при автономном использовании. Дополнительный электроподогрев может также использоваться для улучшения конвективных потоков в печи, что помогает теплопередаче, и может способствовать первичному освещению. Однако при анализе общих экологических преимуществ дополнительного электроподогрева необходимо принимать во внимание эффективность производства электричества в энергоустановке.

Так как основной причиной ограниченного применения дополнительного электроподогрева является дорогая электроэнергия (в разных регионах по разному, округленно 5-6руб./кВт.ч. в Центральном федеральном округе), то эффективным способом использования преимущества электроподогрева является установка когенерационных газовых установок, которые резко снижают стоимость электроэнергии. На некоторых заводах, как крупных (стеклотарных) так и мелких (сортовых) применяется установка либо поршневых, либо турбинных газогенераторных электростанций, стоимость электроэнергии даже без утилизации попутного тепла составляет около 2руб./кВт.ч. Окупа-

емость затрат 2 года. Желательно использование установок со сроком капитального ремонта не менее 80 тыс.час. Лучшие зарубежные установки имеют 100 тыс.часов.

Пережог органического топлива на преимущественно электрической печи является значительно меньше широко распространенной технологией. Это позволяет реализовать многие из экологических преимуществ стекловарения в электропечи, устраняя некоторые из технических и экономических ограничений технологии. Использование горелок увеличивает производительность расстекловарения сырья. Разумеется, что имеются выбросы, связанные со сгоранием топлива, и они будут зависеть от коэффициента теплопередачи. Многие из технологий уменьшения выбросов загрязняющего вещества, обсужденных в этой главе, могут быть применены в этих печах, включая горелки с низким выходом оксидов азота и стекловарение с использованием горения топлива в кислороде.

Варка стекла в печах периодического действия

Оборудованием, традиционно используемым для периодической варки шихты малых объемов, является горшковая печь, хотя больше распространены другие технологии, такие как ванны печи периодического действия и стекловаренные печи Flex®. Выбор технологии обычно будет зависеть от логистики определенной установки, особенно от масштаба производства, количества различных производимых химических составов и требований потребителей. Многие из основных мер по устранению загрязнения окружающей среды, описанные в этой главе, будут применимы к этим печам в большей или меньшей степени. Самыми эффективными технологиями с большой степенью вероятности является оптимизация химических составов шихты и технологий сгорания. Благодаря конструкции горшковых печей технологии обычно дают лучшие результаты для ванн печей периодического действия и печей полунепрерывного действия. Там, где использование ванн печей периодического действия или непрерывная / полунепрерывная варка являются практически возможными, обычно будут достигаться лучшая эффективность использования энергии и меньшие выбросы загрязняющего вещества.

Стекловарение базальтового волокна

Наиболее часто используемая технология для стекловарения базальтового волокна – вращающаяся печь на горячем дутье, хотя имеются примеры стекловарения в электропечи и газовых печах. Вращающаяся печь на горячем дутье имеет несколько оперативных преимуществ и является предпочтительной технологией в рамках сектора. Альтернативные технологии либо не показывают какие-либо существенные экологические преимущества, либо оказываются технически и экономически нецелесообразными для более широкого применения.

4.2.1 Стекловарение в электропечи

Описание

Технология описана в Разделе 2.3.4, потому что она является основной технологией стекловарения, общей в нескольких секторах. Стекловарение в электропечи оказывает важное воздействие на выбросы загрязняющих веществ и так также обсуждается в этой главе в качестве 'основной' меры по устранению загрязнения окружающей среды.

Достигнутые экологические выгоды

Полная замена органического топлива в печи уничтожает образование продуктов горения в технологической линии; а именно, окиси серы (когда используется топочный мазут), окиси азота в результате сгорания топлива и диоксида углерода (CO_2). Остальные выбросы загрязняющего вещества возникают в результате механического выноса твёрдых частичек и разложения сырьевых материалов, в частности CO_2 из карбонатов, окись азота из нитратов и оксид серы из сульфатов. В большинстве случаев, когда применялось стекловарение в электропечи, сульфат использовался в составе шихты весьма мало, так как больше распространено использование других осветлителей и окисляющих веществ (например, нитратов).

Могут также быть низкие уровни выбросов галоидов, например, фтористого водорода (HF), или металлов, в случаях, когда эти вещества присутствуют в сырье. Однако выбросы загрязняющего вещества могут быть значительными при использовании химических составов с включениями фторидов. Выбросы всех летучих компонентов шихты значительно ниже, чем в стандартных печах благодаря снижению выделения газа и аб-

сорбции, конденсации и реакции газообразных выбросов загрязняющего вещества в слое шихты, который обычно закрывает всю поверхность расплавленного вещества.

Печи обычно открыты с одной стороны, и имеются значительные потоки воздуха из-за выбросов примесных газов и тепла от расплавленного вещества. Обычно бывает необходимо обеспечить наличие некоторой формы вентиляции, чтобы позволить пыли, газам и теплу улетучиваться, не попадая на рабочее место. Это достигается с помощью либо естественной тяги, либо вытяжки. Отработавший газ, выделяемый вследствие естественной вентиляции, будет иметь очень низкий объем, но может быть высокая концентрация пыли, и недостаточные дисперсионные характеристики.

Выбросы пыли могут контролироваться с помощью удаления в систему снижения запылённости, в качестве которой вследствие низких объемов обычно используется мешочный фильтр. Такая компоновка обеспечила очень низкие выбросы пыли и при этом, в случае необходимости, позволяет выполнять обработку выбросов фтористого водорода с помощью сухой газоочистки.

Существующие выбросы загрязняющего вещества будут сильно зависеть от химического состава шихты, и из-за выделения отработавшего газа, сравнение концентраций вредных примесей может быть недостоверным. Однако в качестве общего показателя суммарные прямые выбросы уменьшены от 10 до 100 раз по сравнению со стандартной стекловаренной печью, работающей на смеси воздух-топливо с сопоставимым удельным съемом стекломассы. Некоторые имеющиеся количественные данные приводятся в Разделе 3.8.2.2 для установки по производству минерального волокна, и в качестве примера установки приводятся в этом документе.

Влияние загрязнения одной среды на другую

Прямые выбросы загрязняющих веществ из печи значительно уменьшаются при использовании стекловарения в электропечи, и тепловой коэффициент полезного действия очень высок. Электричество может поставляться из национальной энергосистемы или из местного или специализированного источника электроснабжения, что может влиять и на стоимость, и на эффективность энергоснабжения. Если питание берется из общенациональной энергосистемы, это могут быть разнообразные источники.

Вследствие малых объемов отработавшего газа, связанных с технологией, стоимость какого-либо очистного оборудования значительно снижается, и небольшие объемы собранной пыли можно легко утилизировать. Низкие потери летучих веществ также снижают расход сырья, что уменьшает и выбросы загрязняющего вещества, и затраты. Это особенно выгодно для некоторых из более дорогих и/или токсичных компонентов, таких как окиси свинца, фториды, соединения мышьяка, бура, и т.д.

Рабочие данные

Как правило, при стекловарении в электропечи производится очень однородное высококачественное стекло, в частности, в случае производства специальных стекол, в которых в химический состав шихты входят летучие компоненты. Для некоторых областей применения сортового стекла и специального стекла, это может быть одной из основных причин для того, чтобы выбрать стекловарение в электропечи.

Однако стекловаренные электрические печи с холодным сводом имеют меньший диапазон рабочего тоннажа, чем стандартные печи. Например, стекловаренная электрическая печь с холодным сводом на 40 т/сутки обычно хорошо работала бы при объеме загрузки между 36 - 44 т/сутки. Когда меньший тоннаж требуется для определенной производительности устройства, электрическими печами сложно управлять, и необходимо поддерживать более высокую производительность стекловаренной печи (со сливом на гранулят); поэтому, чем больше стекла плавится, тем большие средства необходимы для производства, что приводит к более высокой себестоимости продукции. Напротив, стандартная печь на 40 т/сутки, если нужно, могла бы работать при объеме 25 - 30 т/сутки с очень небольшими проблемами.

Традиционным в стекольной промышленности представлением является то, что нитрат натрия или нитрат калия требуются в электрических печах с холодным сводом для обеспечения необходимых окислительных условий для устойчивого, безопасного и эффективного производственного процесса. Использование нитратов напрямую влияет на выбросы окиси азота и, хотя это и не требуется для всех областей применения, оно может уменьшить некоторые из экологических выгод стекловарения в электропечи. Использование нитратов в качестве окисляющих веществ становятся более важным там, где отходы, содержащие органические соединения, повторно используются в стеклова-

ренной печи. Использование большого количества привозного стекольного боя (или других утилизированных материалов) может иногда вызывать проблемы с запахом.

Обобщенные результаты основных преимуществ и недостатков, связанных с применением стекловарения в электропечи:

Преимущества:

- Очень низкие прямые выбросы
- Потенциально повышенная производительность расстекловарения в расчете на м² области печи
- Улучшенная прямая эффективность использования энергии
- В некоторых случаях меньшие затраты на исходные материалы
- В некоторых случаях стекловарение в электропечи обеспечивает лучшее качество и более однородное стекло
- Меньшие капитальные затраты и требования по размещению печи
- Потенциально более простая работа

Недостатки:

- Высокие эксплуатационные расходы
- Сокращенная длительность кампании
- В настоящее время не является технически и экономически целесообразной для сверхкрупносерийного производства стекольной продукции
- Менее гибкая и не адаптируемая к большим изменениям производительности стекловаренной печи для высококачественных стекол

Пример установки для производства сортового стекла, в частности хрустального стекла и свинцового хрусталя, приводится в Таблице 4.2.

Таблица 4.2: Пример установки для применения стекловарения в электропечи в секторе сортового стекла (хрустального стекла и свинцового хрусталя)

Условия эксплуатации	Печь 1	Печь 2
Тип печи	Электрическая печь с холодным сводом	Электрическая печь с холодным сводом
Срок службы печи	4 года	7 лет
Производительность	27 т/сутки	15 т/сутки (Магнийсодер-

Условия эксплуатации	Печь 1	Печь 2
		жащее хрустальное стекло) 20 т/сутки (свинцовый хрусталь)
Среднее количество продукции	25 т/сутки	15,8 т/сутки
Тип стекла	Свинцовый хрусталь	Магнийсодержащее хрустальное стекло, свинцовый хрусталь
Стекольный бой	Только собственный	Только собственный
Использование пыли из фильтров	Да	Да
Удельные энергозатраты (1)	Стекловарение: 4,32 ГДж/т расплавленного стекла	Стекловарение: 7,20 ГДж/т расплавленного стекла
	Общие: 7,70 ГДж/т расплавленного стекла; 15,4 ГДж/т готового изделия	Общие: 10,58 ГДж/т расплавленного стекла; 21,16 ГДж/т готового изделия
Объем топочного газа (2)	15000 - 20000 нм ³ /час	15000 - 20000 нм ³ /час
Уровни выброса попутных газов (3)		
Твердые примеси в атмосфере (4)	2,8 мг/нм ³	
Окись азота (нитраты в шихте) (5)	420 - 560 мг/нм ³ (8,1 кг/т)	340 - 460 мг/нм ³ (10,4 кг/т)
Оксиды серы	Не актуально – отсутствие серы в составе шихты	
HCl (5)	<3 мг/нм ³	
HF (5)	<1 мг/нм ³	
Sb (5)	Газообразный <0,01 мг/нм ³ Твёрдые частички <0,01 мг/нм ³	
Pb (5)	Газообразный <0,01 мг/нм ³	

Условия эксплуатации	Печь 1	Печь 2
	Твёрдые частички 0,04 мг/м ³	
(1) Сообщенные данные относятся к энергии в месте использования и без поправки на первичную электроэнергию. (2) Высокий объем топочного газа является результатом максимально увеличенного объема извлеченного воздуха. (3) Применялись меры/технологии по устранению загрязнения окружающей среды: мешочный фильтр для каждой печи; удалены пары от обработки "горячего" стекла (испарительный перенос свинца). (4) Среднее значение трех получасовых непрерывных измерений. (5) Единичные измерения каждые два года (средние значения при измерениях течение получаса)		

Возможность использования

Варка стекла в электропечи используется во многих отраслях стекольной промышленности, включая минеральное волокно, специальное стекло, сортовое стекло и, в меньшей степени, в тарном стекле, обычно для малых производств, например, флаконов. Очевидно, что варка в электропечи может быть внедрена только при реконструкции печи. Нет никаких известных полномасштабных примеров электроварки листового стекла или крупнотоннажного производства стеклотары. Технология широко распространена для производства потенциально легколетучих, загрязняющих окружающую среду видов стекла (например, свинцовый хрусталь, опаловое стекло, боросиликатное стекло и т.д.) и для продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Более широкое использование технологии ограничено эксплуатационными расходами и некоторыми соображениями технического порядка. Как было объяснено выше, основным ограничением являются эксплуатационные расходы и, в зависимости от набора факторов, это устанавливает верхний предел экономической целесообразности.

До настоящего времени технология не использовалась для производства стекольной продукции большого объема (> 300 тонн в сутки) и не может считаться полностью проверенной как технически, так и экономически. Применение электроварки в произ-

водстве стекловолокна из непрерывной нити не считается в настоящее время экономически оправданным и технически удобным, так как стекло марки Е, часто используемое для этого типа продукции, имеет низкое содержание щелочей, что обуславливает очень низкую электрическую проводимость расплава стекла.

Экспериментальная линия производства флоат-стекла с электрической печью работала в Великобритании с 1989 года по 2000 год. Это предприятие строилось, чтобы продемонстрировать принцип стекловарения в электрической печи с холодным сводом для варки флоат-стекла. Предприятие успешно работало, и оно использовалось для производства ряда экзотических стекол, выбросы загрязняющих веществ от которых было бы очень сложно контролировать при использовании печи с традиционным нагревом. Применения этой печи продемонстрировало, что работа полномасштабной линии флоат-стекла (> 500 тонн в сутки) с полностью электрифицированной печью в данный момент экономически нецелесообразно вследствие высоких эксплуатационных расходов. Печь больше не эксплуатируется.

Экономика

Экономическая целесообразность стекловарения в электропечи зависит главным образом от разницы в ценах между электричеством и органическим топливом. В настоящее время средняя стоимость электричества на единицу энергии были в 4 – 5 раз больше стоимости газа. Цены на топливо и их изменения обсуждаются в Разделе 4.4.3.1. Электрические печи термически очень эффективны; как правило, они в 2 - 4 раза лучше, чем стекловаренные печи, работающие на смеси воздух-топливо. Сравнение приводится для больших печей с низким энергопотреблением в нижнем конце этого диапазона, и для более малых печей в верхнем конце диапазона.

Электрические печи имеют гораздо меньшие капитальные затраты, чем стандартные печи, которые при пересчете на год, частично компенсируют более высокие эксплуатационные расходы. Однако печи имеют более короткую продолжительность кампании прежде, чем для них потребуются реконструкция или ремонт, то есть 2 – 7 лет по сравнению с 10 – 20 годами для стандартных печей. Электрическая печь может быть более конкурентоспособной в диапазоне производительности 10 - 50 т/сутки, из-за более высоких удельных теплотерь печей, работающих на смеси воздух-топливо.

Общие заключения о затратах на стекловарение в электропечи, в сравнении с стекловарением с нагревом органическим топливом, не могут быть сделаны; все соображения относительно стоимости должны быть сделаны на присущей определенному случаю основе, так как необходимо принимать во внимание несколько параметров (местоположение, различные источники энергии и цены, емкость печи, гибкость производства, срок эксплуатации печи, качество стекла, которое будет достигнуто, стабильность процесса и т.д.), в особенности при сравнении всех электрических печей с регенеративными, рекуперативными печами и печами с использованием горения топлива в кислороде.

Как пример, сравнение между полностью электрифицированной стекловаренной печью с производительностью приблизительно 30 т/сутки, в секторе столовой посуды/хрустального стекла, и стекловаренной ванной рекуперативной печью показывают, что электрическая печь требует более высокой суммы первоначальных затрат, равной приблизительно 180 миллионам рублей, вследствие ее более короткого срока эксплуатации, но меньших эксплуатационных расходов (менее 2 100 000 руб.). В данном случае, сообщалось о немного меньших затратах в расчете на тонну расплавленного стекла.

Основываясь на существующей практике, следующее предлагается в качестве очень общего примерного руководства по размеру электрических печей, которые могут быть практически осуществимыми, то есть те, которые могут потенциально быть реальной альтернативой (неизбежно имеются исключения вследствие местных обстоятельств):

- Печи с производительность менее 75 тонн в сутки обычно рентабельны.
- Печи с производительность в диапазоне 75 - 150 тонн в сутки могут быть рентабельны при некоторых обстоятельствах.
- Печи с производительность больше, чем 150 тонн в сутки, обычно вряд ли будут рентабельны.

На финансовые аспекты могут также значительно влиять относящиеся к конкретному месту факторы, в том числе: преобладающие затраты на электроэнергию; требования к уровню качества продукта, доступное пространство, затраты на альтернативные меры по устранению загрязнения окружающей среды, действующее законодательство; простота в эксплуатации; и ожидаемый срок службы альтернативных печей.

В тех регионах, где различие в ценах между органическим топливом и электричеством находится в верхней части данного диапазона, вариант со стекловарением в электропечи может казаться менее привлекательным. В такого рода случаях это может вынудить оператора выбрать комбинацию иных технологий, отдавая предпочтение перед стекловарением в электропечи.

При использовании электрических печей выбросы CO_2 связанные с процессом стекловарения будут низкими, так как они возникают только как следствие состава шихты. Связанные расходы на эксплуатацию вряд ли подвергаются влиянию со стороны стоимости разрешения на выбросы CO_2 , необходимого для регулирования выбросов загрязняющих веществ из печи; однако, должно рассматриваться косвенное воздействие на стоимость электричества. Действительно ли электрические стекловаренные печи могут считаться более эффективными, чем газовые печи будет, зависеть от источника электричества.

Пример установки, представляющий затраты, связанные с технологией стекловарения в электропечи, применяемой для производства специального боросиликатного стекла, приводится в Таблице 4.4.

Таблица 4.4: Пример установки для применения стекловарения в электропечи в секторе специального стекла

Условия эксплуатации	Печь 1	Печь 2
Тип печи	Электрическая печь	Электрическая печь
Запланированная кампания	60 месяцев	60 месяцев
Максимальная температура свода печи	230 °C	230 °C
Производительность	38 т/сутки	48 т/сутки
Текущий удельный съем стекло-массы	35 т/сутки	45 т/сутки
Тип стекла	Боросиликатное, белое	Боросиликатное, белое
Стекольный бой	70 %	70 %
Удельные энергозатраты (1)	4,45 ГДж/т стекла	3,91 ГДж/т стекла

Условия эксплуатации	Печь 1		Печь 2	
Использование пылеулавливающего фильтра	Нет		Нет	
Система управления загрязнения воздуха и соответствующие затраты (2)			Печь 1 и Печь 2	
Тип фильтра (два отдельных фильтра)			Мешочный фильтр	
Температура перед фильтром			80 °С	
Сорбент			Са(ОН) ₂	
Количество сорбента			3 (кг/час)	
Пыль из фильтров			Полигон для захоронения отходов	
Потребление энергии, включая вентилятор			20 (кВтч)	
Затраты на капиталовложения / стоимость ремонта (мешочный фильтр, вентилятор, трубки)			26 400 000 руб.	
Длительность амортизации			10 лет	
Эксплуатационные расходы			3 000 000 руб.	
Ежегодные затраты на амортизационные отчисления			2 640 000 руб.	
Суммарные годовые расходы			5 640 000 руб.	
Расчетные затраты в расчете на тонну стекла			222 руб./т стекла	
Уровни выброса попутных газов				
	Печь 1		Печь 2	
	мг/нм ³ (3)	кг/т стекла	мг/нм ³ (3)	кг/т стекла
Твердые примеси в атмосфере	1,2	0,0017	0,8	0,0008
Окись азота (4)	72	0,39	103	0,29
SO ₂	0,7	0,0037	4,7	0,013
HCl	5,1	0,028	22,0	0,061
(1) Сообщенные данные относятся к энергии в месте использования и без поправки на первичную электроэнергию.				
(2) Данные о затратах в течение года установки системы контроля за загрязнением атмосферного воздуха и не обязательно типичны для текущих затрат.				

Условия эксплуатации	Печь 1	Печь 2
(3). Концентрации указаны для измеренного содержания кислорода.		
(4). Выбросы окиси азота возникают в результате использования нитратов в составе шихты.		

Движущая сила для реализации

Тепловой коэффициент полезного действия электрической печи лучше, чем у эквивалентной стандартной печи. Объемы отработавшего газа очень низки (только газы от разложения шихты). Использование электричества может быть одобрено в масштабах определенного района, в структуре энергетической политики, основанной не на угле.

4.2.2 Эксплуатация и техническое обслуживание печей

Описание

Эксплуатация и техническое обслуживание стекловаренной печи является основной технологией для ограничения воздействия на окружающую среду в результате старения стекловаренной печи. Эта технология обычно применяется к долговечным регенеративным печам, но некоторые из этих рекомендаций могут также быть применены к другим видам печей.

Стандартные стекловаренные печи (пламенные печи) могут эксплуатироваться в течение длительного периода времени, и тенденция состоит в том, чтобы еще больше увеличить этот период; в среднем более 12 лет и во многих случаях до 18 лет. На всем протяжении срока службы печи происходят износ и старение огнеупорного материала, а так же перемещения огнеупорной структуры (расширение и сжатие), и, следовательно, могут происходить потери тепла и эффективности использования энергии, наряду с трещинами в верхнем строении печи. Трещины могут вызвать проникновение подсосываемого воздуха (зависящего, например, от давления в печи).

Поэтому, очень важно установить постоянный контроль и наблюдение за печью, чтобы следить за тем, что необходимое техническое обслуживание выполнено для ограничения эффектов старения, и для оптимизации условий эксплуатации и их параметров. Наиболее важные работы для технического обслуживания огнеупорного материала:

- всегда принимать необходимые меры для того, чтобы печь и стены регенератора были уплотнены, чтобы не допускать проникновение подсасываемого воздуха;
- закрыть и/или уплотнить все отверстия печи (например, смотровые отверстия, другие отверстия для датчиков контроля, загрузочного кармана ванной печи и блоков горелок), если они не используются;
- чтобы улучшить теплопередачу в регенеративных печах, очищать насадки печи, когда это необходимо, и обеспечивать достаточное техническое обслуживание теплообменников в рекуперативных печах;
- обеспечивать максимально возможную изоляцию для текущего состояния печи.

Относительно режима работы печи, установленные параметры должны сохраняться постоянными в зависимости от производственного процесса и основных технологий, выполняя следующие регулировки, например:

- устанавливая горелки в определенное положение и следя за тем, что они уплотнены с помощью блоков горелок;
- управляя стабилизированной характеристикой пламени, например, длина, яркость факела и распределение температуры;
- контролируя соотношение воздуха/топлива.

Наблюдение и контроль за печью имеют большое значение для получения наилучших результатов. Для используемого оборудования должен быть установлен достаточный регламент технического обслуживания.

Достигнутые экологические выгоды

Наиболее важными преимуществами этой технологии являются потребление энергии и уменьшение выбросов окиси азота. Другим преимуществом может быть уменьшение выбросов пыли путем уменьшения механического выноса в результате лучшего позиционирования горелок и лучших характеристик пламени.

В хорошо обслуживаемой печи эксплуатационное изнашивание приводит к увеличению потребления энергии, которое может быть оценено для регенеративных печей между 1,5 и 3 % ежегодно, в результате ухудшения изоляции и уменьшения эффективности теплообмена. Плохое техническое обслуживание может значительно увеличить эти расходы.

Проникновение подсасываемого воздуха уменьшает эффективность использования энергии, потому что этот воздух предварительно не подогревается и также из-за изменений условий сгорания. Кроме того, дополнительный азот, попадая в печь с воздухом, увеличивает образование окиси азота неконтролируемым способом. Особое внимание нужно уделять печам с использованием горения топлива в кислороде для того, чтобы предотвратить проникновение воздуха, вызываемое недостаточным уплотнением печи и/или блоков горелок, что будет вызвать образование окиси азота.

Кроме уменьшения выбросов окиси азота и потребления энергии эта технология может улучшить производительность и качество произведенного стекла, потому что это может увеличить стабильность стекловарения. Информация, оценивающая эту положительную динамику, пока еще не доступна.

Как правило, в содержащейся в хорошем состоянии печи увеличивается срок эксплуатации всех компонентов (например, свод печи, палисады, свод регенератора, насадка регенератора).

Влияние загрязнения одной среды на другую

Поток твердых отходов создается при чистке насадок печи, которые могут быть загрязнены огнеупорными материалами и/или металлами. В этом случае пыль (главным образом сульфат натрия) не может быть возвращена для повторного использования назад в плавильную печь, и твердые отходы необходимо будет утилизировать.

Применение мер для контроля соотношения воздуха/топлива может вызвать присутствие значительных концентраций СО в регенераторах. Сгорание с воздухом ниже стехиометрического соотношения компонентов топлива и значительное снижение топочных газов (то есть с высокой концентрацией СО) может привести к отложению и конденсации агрессивных солей в регенераторах с возможным повреждением огнеупорного материала насадок печи, и, следовательно, может уменьшиться эксплуатационный срок службы печи.

Рабочие данные

Контроль параметров печи и закрывание всех отверстий печи должны быть включены в оптимальные практические методы эксплуатации печи. График контроля будет

зависеть от печи (например, тип, размер, длительность эксплуатации, износ, тип насадок печи), типа плавившегося и произведенного стекла, характеристик используемого топлива и т.д.

Например, график контроля мог выглядеть следующим образом:

- для мест поступления подсасываемого воздуха (отверстия, трещины): ежедневный визуальный контроль и действие (для уплотнения), когда это необходимо;
- для регенераторов: визуальный контроль, регулярно выполняемый операторами предприятия; при необходимости чистка насадок печи.

Возможность использования

Эта технология может быть применена в течение всего срока службы действующих или новых печей. Она более полезна для всех печей с использованием горения топлива в кислороде, рекуперативных и регенеративных печей. Можно также рассматривать ее применение для других печей, но в каждом конкретном случае требуется определенная экспертиза.

Многие современные компании производящие стекло уже достигли экологических выгод и уменьшения энергии благодаря соответствующему техническому обслуживанию печи, эксплуатационным процедурам и контролю.

Экономика

Затраты, связанные с применением этой технологии, включают в себя обучение квалифицированного персонала для контроля и технического обслуживания, покупки необходимого оборудования, такого как камеры, датчики для кислорода и для выполнения измерений температуры. Если сульфатную пыль отправляют на полигон для захоронения отходов, то будут понесены дополнительные издержки.

Однако, затраты на техническое обслуживание не сравниваются с выгодами, полученными от энергосбережения, выпуска изделий лучшего качества и большей производительности.

Движущая сила для реализации

Выполнение законодательных требований для выбросов окиси азота может быть более сложным в конце срока службы печи. Только поддержание печей в наилучшем состоянии может замедлить увеличение выбросов загрязняющих веществ.

Пример предприятий

Самые большие компании по выпуску стеклянной тары, такие как Saint-Gobain, Owens-Illinois (O-I), Ardagh Glass применяют эту технологию к своим печам. Также в секторе листового стекла большинство компаний (например, AGC, Pilkington NSG Group, Saint-Gobain) применяют эту технологию к своим печам.

4.3 Технологии хранения и обращения с сырьевыми материалами

Разнообразие стекольной промышленности повлекло за собой использование широкого спектра сырьевых материалов. Большинство этих материалов – твердые неорганические соединения или встречающиеся в природе минералы, или продукция промышленного производства. Они изменяются от очень крупнозернистых материалов до мелкоизмельченных порошков. Жидкости и, в меньшей степени, газы также используются в большинстве секторов.

4.3.1 Технологии хранения сырьевых материалов

Сыпучие порошковые материалы обычно хранятся в бункерах, и выбросы загрязняющих веществ могут быть ограничены путем использования закрытых бункеров, которые оснащены оборудованием снижения запыленности, таким как тканевые фильтры. Собранный материал при наличии возможности может быть возвращен в бункер или повторно использован в печи. Там, где объем использованного материала не требует использования бункеров, мелкозернистые материалы могут храниться в закрытых контейнерах или заваренных мешках. Запасы грубых пыльных материалов могут храниться под крышками, чтобы предотвратить выбросы загрязняющего вещества переносимые ветром.

Необходимо уделять внимание хранению привозного стекольного боя, который является потенциальным источником пыли, неорганизованных выбросов и запаха, происходящих из органических остатков, содержащихся во вторичном сырье; хотя, привозной стекольный бой обрабатывается специализированными компаниями перед поставкой, чтобы он соответствовал определенным требованиям к уровню качества. Там, где пыль является особой проблемой, в некоторых производственных установках видимо, придется использовать дорогие подметально-уборочные машины и методы уборки территории с увлажнением. Сырье с летучими соединениями необходимо хранить так, чтобы минимизировать выброс загрязнителей в воздух. Как правило, температуры хранения в емкостях должны поддерживаться минимально возможными, и необходимо принимать во внимание изменения температуры в результате солнечного обогрева и т.д. Для материалов со значительным давлением паров, или для пахучих веществ, может понадобиться применять специальные технологии для того, чтобы уменьшить выбросы, возникающие в результате дыхания резервуара или от вытеснения испарений во время перемещения жидкостей.

Меры/технологии, предназначенные для снижения потери от резервуаров при атмосферном давлении, включают в себя следующее:

- использование для резервуара краски с низкой поглощающей способностью солнечной энергии
- контроль температуры
- изоляция резервуара
- управление материально-техническим снабжением
- использование резервуаров с плавающей крышкой
- использование систем переноса отработанных паров
- использование резервуаров с мембранной крышкой
- использование клапанов давления / вакуумных клапанов там, где резервуары должны выдерживать колебания давления
- применение специализированных методов обработки выбросов, например, впитывание, поглощение, конденсация
- заполнение приповерхностным материалом.

4.3.2 Технологии для погрузки-разгрузки сыпучих материалов

Основные технологии, используемые для погрузки-разгрузки сыпучих материалов, описаны в Разделе 2.1. Существует очень мало проблем, связанных с выбросами в воздух загрязнителей при погрузке-разгрузке сыпучих материалов, которые характерны для стекольной промышленности. Поэтому, в этом разделе только обобщаются те технологии, которые должны по всеобщему признанию формировать рекомендуемые нормы по обращению с этими типами материалов.

Там, где материалы транспортируются наземными конвейерами, необходимо использовать некоторый тип кожуха для обеспечения защиты от ветра, чтобы предотвратить существенную потерю материалов. Эти системы могут быть разработаны таким образом, чтобы охватывать конвейер со всех сторон. Там, где используется пневматическая передача, важно создать герметизированную систему с фильтром для очистки транспортного воздуха перед выбросом. Чтобы снизить количество пыли во время транспортирования на конвейере и механический вынос тонкодисперсных включений из печи, в шихте нужно поддерживать содержание воды на уровне 2 – 4 %. В некоторых процессах (например, в производстве боросиликатного стекла) используются сухие сырьевые материалы, и там, где используются сухие материалы, потенциал выбросов пыли более высок и, поэтому, необходимо уделять повышенное внимание этой проблеме.

Как правило, пыль от систем очистки топочного газа очень мелкая и может содержать существенное количество непрореагировавшего щелочного реагента, который может обладать коррозионными и/или раздражающими свойствами. Следовательно, обращение и хранение этого материала может потребовать особого внимания.

Область, где выбросы пыли являются обычным явлением, это область загрузки шихты в печь. Основные меры/технологии для контроля выбросов загрязняющего вещества в этой области приводятся ниже:

- Увлажнение шихты.
- Применение немного отрицательного давления в печи (применимо только в качестве неотъемлемой стороны работы, в частности в плавильных печах для производства фритт, см. Раздел 2.11.2). Следует отметить, что отрицательное давление может оказывать вредное влияние на эффективность использования энергии печи, так как это

позволит попадать холодному воздуху в печь. На практике слегка положительное избыточное давление, около 5 Па, обычно применяется во всех стекловаренных печах.

- Используйте сырье, которые не вызывают растрескивания при накаливании (главным образом доломит и известняк). Эти явления присущи минералам, которые 'трескаются', когда их подвергают воздействию тепла, с последующим потенциальным увеличением выбросов пыли.

- Обеспечение выемки минерального сырья, при которой используется вытяжка в систему фильтрования (является нормой в стекловаренных печах с холодным сводом).

- Использование шнековых транспортёров закрытого типа.

- Использование кожуха загрузочной коробки (может потребоваться охлаждение).

Выбросы пыли могут происходить непосредственно в воздух или в производственных помещениях. Там, где это происходит, пыль может постепенно накапливаться в пределах здания и может привести к неорганизованным выбросам вследствие перемещения потоков воздуха в и из здания. В потенциально очень пыльных областях, таких как дозирующие устройства, здания могут быть разработаны с минимальным количеством отверстий и дверей, или, где необходимо, могут быть установлены противопылевые завесы. В зданиях с печами часто бывает необходимо обеспечить натуральное охлаждение и, поэтому, должно быть обеспечено наличие вентиляционных отверстий и т.д. Важно обеспечить надлежащий стандарт организации производства и правильное выполнение всех мер по предупреждению запылённости (уплотнения, удаление и т.д.).

Области выполнения процессов, в которых вероятно возникновение пыли (например, отверстие мешочного фильтра, перемешивание шихты фритт, утилизация пыли из тканевого фильтра и т.д.) можно устанавливать вытяжку, которая будет вытягивать пыль в специальное оборудование по устранению загрязнений. Это может быть важным в небольшой установке, где имеет место более высокая степень ручного обслуживания. Все эти технологии особенно справедливы в местах, где необходимо обращаться и хранить более токсичное сырье, например, окись свинца и соединения фтора (см. также Раздел 3.2.2.1 и разделы, характерные для конкретного сектора в Главе 3).

4.4 Технологии для контроля выбросов загрязнителей в воздух при деятельности, связанной с варкой стекла

4.4.1 Твердые примеси в атмосфере

4.4.1.1 Меры борьбы с первичным загрязнением твердыми примесями

Описание

Стекловаренная печь является очень изменчивой средой, какие бы то ни было изменения в химическом составе стекломассы или в условиях эксплуатации могут иметь логически вытекающие последствия внутри процесса стекловарения, что влияет на выбросы загрязняющих веществ. По этой причине важно рассматривать все меры борьбы с первичным загрязнением, описанные в этом документе в качестве пакета мер, а не просто как отдельные технологии. Однако для ясности понимания технологии обязательно описываются отдельно, важные эффекты обсуждаются, где только возможно. Низкий уровень выбросов загрязняющего вещества от механического выноса материала достигается путем поддержания уровня влажности сырья и управления степенью покрытия слоя шихты, размером частиц, скоростью потока газа и позиционированием горелки. Для тех технологических процессов, для которых требуются сухие и/или очень мелкие компоненты шихты, выбросы пыли от механического выноса могут быть намного выше.

Однако вклад в валовые выбросы загрязняющих веществ, тем не менее, будет незначительным по сравнению с вкладом группы летучих соединений. Проблемы, относящиеся к пыли, возникающей в результате закладки материала, обсуждаются в разделе 4.3, приведенном выше.

Поскольку выбросы пыли возникают главным образом из группы летучих соединений, обсуждаемые здесь меры борьбы с первичным загрязнением, концентрируются на этом источнике. Из анализов пыли печей для варки натрий-кальций-силикатного стекла можно прийти к заключению, что разновидности натрия являются основными компонентами, приводящими к образованию пыли в топочных газах. Группа летучих соединений из шихты (например, NaCl) и из расплавленного вещества (например, NaOH) реагирует с оксидами серы, чтобы сформировать сульфат натрия (Na_2SO_4), кото-

рый конденсируется в отработавшем газе при температуре ниже 1100 °С. В большинстве случаев, сульфат натрия используется в качестве осветляющего вещества. Разложение сульфата натрия в расплавленном стекле приводит к созданию концентраций оксида серы, которые намного выше, чем концентрации натрия в камере сгорания и в топочных газах. Что касается образования Na_2SO_4 , окиси серы от сгорания топлива или сульфата шихты, доступным в избытке против стехиометрии по сравнению с испаренным натрием, который является основным параметром для образования пыли. Основными источниками натрия являются стекольный бой или кальцинированная сода и, в меньшей степени, сульфат натрия. Однако использование высоких доз сульфата натрия в составе шихты вызывает увеличение выбросов пыли.

В очень бедных серой газах хлорид натрия, фторид натрия, карбонат натрия и частицы гидроокиси натрия могут быть сформированы во время охлаждения топочных газов до температур ниже 900 °С. Это не является общим явлением, и может возникнуть только тогда, когда используется природный газ, и когда сульфат натрия заменен другим осветляющим веществом, например, сурьмой. Этого никогда не бывает для тарного или листового стекла, но может произойти в специальных стеклах.

Несколько других процессов испарительного переноса можно выделить в натрий-кальций-силикатном стекле:

- Реактивный испарительный перенос с поверхности расплавленного стекла. Оксид натрия (Na_2O) в силикатном расплавленном веществе реагирует на поверхности с водяным паром: Na_2O (расплавленное вещество) + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH}$ (g). Этот тип испарительного переноса может быть основным источником выбросов пыли в печах для варки натрий-кальций-силикатного стекла.

- Испарительный перенос NaCl , который присутствует в виде примеси в синтетическом гидроксиде натрия. Этот испарительный перенос ведет не только к образованию пыли сульфата натрия, но также и к образованию HCl .

- Испарительный перенос сульфата натрия с поверхности расплавленного стекла.

- Реактивный испарительный перенос путем химических реакций на поверхности слоя шихты с компонентами в атмосфере печи. Водяной пар в камере сгорания, как считают, важен для реакции кальцинированной соды для формирования паров гидроокиси

натрия, с подобными реакциями для соединений калия: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH (g)} + \text{CO}_2$.

- Испарительный перенос компонентов сырья с поверхности слоя шихты (например, песка, полевых шпатов, окиси кальция, кальцинированной соды, доломита и сульфата натрия) обычно очень низок. Давления паров очень низкие при температуре ниже 1200 °С и выше 1000 °С; отдельные компоненты уже прореагировали, чтобы сформировать соли кремниевой кислоты.

- Испарительный перенос соединений натрия в пузырьках газа во время процесса осветления также имеет относительно несущественное значение.

- В случае повторного использования привозного стекольного боя (печи для варки тарного стекла), выбросы могут иметь место выбросы компонентов свинца (PbO , PbCO_3 , PbSO_4) из-за наличия в стекольном бое свинцового стекла, фрагментов зеркал и загрязняющих примесей в виде металлического свинца. Дело обстоит не так для натрий-кальций-силикатного стекла в секторе сортового стекла, где, как правило, используется только собственный стекольный бой вследствие требований к качеству. В этих случаях количество стекольного боя, используемого в составе шихты, зависит от процесса и может быть ограничено.

Ситуация отличается для других типов стекла. Как уже объяснялось в Разделе 4.4.1, для боросиликатных стекол, с низким количеством щелочи, реактивный испарительный перенос, как думают, является основным источником выброса твердых примесей в атмосферу. Состав выделяемой пыли значительно изменяется в зависимости от щелочности химического состава шихты и осветляющего вещества.

Образование пыли вследствие испарительного переноса происходит очень легко для содержащих бор стекол, и концентрация неуменьшенных выбросов загрязняющего вещества обычно выше, чем для натриево-кальциево-силикатных стекол. В некоторых случаях они бывают выше более чем в десять раз.

Типы механизмов испарительного переноса, описанных для натрий-кальций-силикатного стекла, являются общими для испарительного переноса в большинстве других типов стекла, но имеется явное изменение в зависимости от химического состава. Наиболее важными факторами, влияющими на испарительный перенос, являются температура, содержание водяного пара в атмосфере печи, снижая количество газов над

расплавленным веществом или слоем шихты и скорости газового потока в поверхностном слое расплавленного вещества. Наличие реакционноспособных частиц также является важным фактором, в том числе натрия и сульфатов в натрий-кальций-силикатном стекле, и бора в боросиликатных стеклах. Однако этот фактор часто ограничивается химическим составом стекла.

Конкретная ситуация возникает при использовании горения топлива в кислороде в процессе стекловарения. Уменьшенный объём топочного газа с меньшими скоростями топочного газа и значимо различным составом газообразных продуктов сгорания в контакте с расплавленным стеклом (значительно большая концентрация водяного пара и CO_2) влияет на результат процессов испарительного переноса, как правило, при более высоких концентрациях испаренных частиц и более агрессивных атмосферах печи; однако, суммарные выбросы пыли по показателю кг/т стекла будут часто уменьшаться, хотя этот эффект сильно зависит от конструкции печи, типа и местоположения горелок.

Наиболее важные меры, которые можно принять для уменьшения выбросов пыли, перечислены ниже:

а. Изменения сырьевого материала

Хлорид натрия может быть значимым фактором в выбросах пыли и хлоридов. Он используется в некоторых специальных стеклах в качестве осветлителя, но больше присутствует в виде примеси низкого уровня в кальцинированной соде, полученной с помощью метода Сольвея. Давление со стороны стекольной промышленности заставило производителей кальцинированной соды значительно уменьшить уровни NaCl (теперь обычно около 1 кг/т). Кроме того значительное сокращение его количества в ближайшей перспективе вероятно потребует дополнительной обработки и поэтому увеличения цены. Доступна натуральная кальцинированная сода, которая фактически не содержит NaCl , но этот материал обычно более дорог в России из-за транспортных расходов на доставку из стран происхождения. Основные поставки натуральной кальцинированной соды производятся из США.

В большинстве печей уровни сульфата в шихте были уменьшены до минимума, соразмерного с хорошим осветлением и поддержанием соответствующего окислительного состояния стекла. Альтернативы сульфату натрия могут представлять собой большую проблему для окружающей среды, например, осветляющие вещества на основе

мышьяка и сурьмы. Не предполагается, что дальнейший прогресс в этой области приведет к существенному уменьшению выбросов загрязняющего вещества. Ограничивающим фактором, как полагают, является концентрация содержащих натрий паров, но для газовых печей, значительно сниженные концентрации сульфатов будут ограничивать реакцию в газообразной фазе.

В стеклах, содержащих бор, бор имеет большое значение для формирования продуктов и характеристик продукта. В последние годы было сделано существенное уменьшение уровня содержания бора, но дальнейший прогресс, становится сложным без воздействия на производительность, потребление энергии и качество. Содержащие бор материалы сравнительно дороги и предпринимаются всевозможные шаги для уменьшения его расхода. В настоящее время нет никаких возможных альтернатив бору, и трудности привели многих промышленников к принятию мер борьбы с вторичным загрязнением, в частности для печей для производства стекловаты и боросиликатного стекла. Как правило, собранная пыль повторно используется в печи.

Несколько компаний в секторе производства стекловолокна из непрерывной нити разработали составы стекла, которые имеют низкие уровни бора и фтора или содержат эти элементы только вследствие следовых уровней в сырье. Сообщалось о выбросах твердых частиц количеством менее 0,14 кг/т расплавленного стекла, можно сравнить с приблизительно 2 кг/т расплавленного стекла для химических составов, содержащих бор, когда не применялись методы борьбы с первичным загрязнением, которые демонстрируют важность бора в образовании пыли. Для этого типа стекла требуется более высокая температура стекловарения, его более сложно превратить в волокна, и к тому же должны быть определены долговременное воздействие на срок службы огнеупорного материала. Подробная информация о технологии является собственностью, и поэтому технология не может все же рассматриваться как общедоступная, хотя она и является чрезвычайно многообещающей. Нарботки различаются у разных компаний, но некоторые из этих химических составов сейчас пользуются спросом.

b. Снижение температуры на поверхности расплавленного вещества

Температура поверхности расплавленного стекла является важным фактором в образовании твердых частичек, так как более летучие соединения образуются при более

высоких температурах. Соотношение между температурой свода печи, температурой поверхности расплавленного стекла и образованием твёрдых частичек демонстрировалось в печах для варки натрий-кальций-силикатного стекла. Уменьшение температуры печи должно уравниваться качеством стекла, производительностью печи и прочими экологическими аспектами, такими как концентрация окиси азота в топочном газе. Меры, которые дают самый большой эффект в уменьшении выбросов пыли в расчете на тонну стекла, это те меры, которые улучшают эффективность использования энергии и, в том числе, теплопередачу к стеклу. Основные моменты предоставлены ниже:

- Конструкция и конфигурация печи для улучшения конвективных потоков и теплопередачи. Эти изменения могут быть реализованы только при реконструкции печи. Большие печи обычно обладают более низким энергопотреблением, что также влечет за собой меньшие выбросы загрязняющего вещества в расчете на тонну стекла.

- Использование дополнительного электроподогрева, который помогает снизить температуру свода печи, передавая энергию непосредственно в расплавленное вещество и улучшая конвективные потоки. Позиционирование электродов является важным фактором, но его сложно изменить, кроме как при реконструкции печи. Использование дополнительного электроподогрева обычно ограничивается стоимостью электричества.

- Расширенное использование стекольного боя, который уменьшит потребность в энергии стекловарения, позволяя работать при пониженной температуре и меньшем потреблении топлива. Кроме того, поскольку стекольный бой уже плавился, его использование помогает уменьшить уровень некоторых летучих веществ и реакционноспособных частиц, которые способствуют образованию пыли, например, хлорида натрия и группы сульфатов. Это особенно справедливо для печей, работающих на смеси мазута и газа, там, где снижение потребности в топливе в результате использования стекольного боя, снижает уровни SO_2 . Использование стекольного боя ограничено доступностью стекольного боя соответствующего качества, состава и обоснованной стоимости. Например, в печах для варки тарного стекла используют 5 – 100 % стекольного боя (собственного и привозного), в печах для варки натрий-кальций-силикатного сортового и листового стекла – обычно 10 – 40 % стекольного боя (обычно только собственного), и в печах для варки стекловолокна из непрерывной нити редко используют стекольный бой.

с. Позиционирование горелки

Другим важным фактором в скорости испарительного переноса от стекломассы является скорость замены газов над расплавленным материалом. Высокая скорость потока газа или высокий уровень вихревого потока на поверхности стекломассы увеличат скорость испарительного переноса. Прогресс был достигнут с помощью позиционирования горелки, чтобы оптимизировать скорость и направление воздуха для системы сгорания, и скорость и направление топлива. Была также выполнена дополнительная работа, предусматривающая объединение этих изменений с изменениями конструкции печи, с целью уменьшения скорости топочного газа над расплавленным стеклом и слоем шихты, с пониженным выталкивающим воздействием на летучие компоненты состава шихты. Изменения, которые включают в себя изменения в конструкции печи, могут быть реализованы только при реконструкции печи, а прочие изменения иногда являются самыми эффективными, когда они реализуются вместе с модернизацией печи. Изменяя позиционирование горелок, важно избежать уменьшения касания огня расплавленного материала, так как это будет увеличивать выбросы пыли, и будет способствовать агрессивному воздействию на огнеупорный материал в верхней части печи с возможным влиянием на качество стекла.

d. Другие технологии

Выбросы загрязняющего вещества из электрических печей с холодным сводом можно ограничить, уменьшая воздушные потоки и турбулентное движение во время загрузки шихты, уменьшая размер зерна сырья и оптимизируя влажность. Меры борьбы с первичным загрязнением редко реализуются для выбросов пыли из стекловаренных вращающихся печей для варки базальтового волокна за исключением брикетирования отходов производства, добавляемых в состав шихты. Основными мерами, которые могут быть приняты, будут мытье сырья для удаления пыли. Однако, большинство стекловаренных вращающихся печей оборудованы мешочными фильтрами, и поэтому имеется небольшой стимул применять дополнительные меры борьбы с первичным загрязнением, поскольку очень маловероятно, что они изменят необходимость принятия вспомогательных мер.

Основные преимущества и недостатки мер борьбы с первичным загрязнением для уменьшения выбросов пыли:

Преимущества:

- Низкая цена
- Сосредоточение внимания на предотвращении, а не на уменьшении
- Технологии не предусматривают использование энергии или потенциальных твердых отходов, которые могут быть связанными с технологиями борьбы с вторичным загрязнением

Недостатки:

- Меры/технологии борьбы с первичным загрязнением обычно не соответствуют уровням выброса загрязняющего вещества, связанного с технологиями борьбы с вторичным загрязнением, такими как электростатические пылеуловители.
- Меры/технологии борьбы с первичным загрязнением вносят в процесс дополнительные эксплуатационные ограничения

Достигнутые экологические выгоды

Уровни выбросов загрязняющего вещества, доступные при использовании только одних мер борьбы с первичным загрязнением, сложно измерять из-за широкого спектра факторов, которые могут влиять на результаты и широкое разнообразие типов печей и химических составов стекла.

Для пламенных печей наименьшие уровни выбросов загрязняющего вещества путем использования только технологии борьбы с первичным загрязнением, достигаются для печей, производящих натрий-кальций-силикатные стекла. Средние массовые выбросы загрязняющего вещества составляют приблизительно 0,4 кг/т расплавленного стекла, а большинство концентраций вредных примесей попадает в интервал 100 - 300 мг/нм³. Имеются некоторые печи, в которых достигаются концентрации менее чем 100 мг/нм³ для пыли, но это случается не так часто. Некоторые предприятия имеют уровни выброса пыли ниже 100 мг/нм³ без вторичных выбросов, и уровни выброса 100 - 200 мг/нм³ (<0,4 кг/т стекла) считаются в настоящее время доступными при использовании мер борьбы с первичным загрязнением.

Маловероятно, что эти цифры могли быть достигнуты для составов, отличных от натрий-кальций-силикатного стекла. Как правило, можно было ожидать, что оптимизация мер борьбы с первичным загрязнением для других составов уменьшит выбросы загрязняющего вещества на 10 – 30 % от начального значения при условии, что никакие конкретные меры не применяются для ограничения выбросов пыли.

Меры борьбы с первичным загрязнением, в сочетании с мерами по борьбе со вторичным загрязнением (системы фильтрации, скрубберы с водяным орошением), уменьшают количество пыли, которое должно быть удалено из топочных газов и повторно использовано или утилизировано.

Влияние загрязнения одной среды на другую

Как правило, описанные технологии предотвращают выбросы загрязняющего вещества, не используя дополнительных веществ, таким образом, предполагается, что эффект влияния загрязнения одной среды на другую будет положительным. Однако, изменение сырья, использованного для подготовки состава шихты, с возможностями уменьшения летучих компонентов, может привести к увеличению удельных энергозатрат. Например, добавление воды в состав шихты для устранения механического уноса, или замена сырья на менее летучее, но требующее более высокой температуры стекловарения, обычно влечет за собой увеличение потребления энергии. Снижение температуры на поверхности расплавленного материала может влиять на качество стекла, приводя к более высокой доле забракованных готовых изделий и к более высоким удельным энергозатратам на единицу производимого продукта. Другое позиционирование горелок, примененное для ограничения явления испарительного переноса, может быть причиной уменьшения эффективности использования энергии печи с последовательным увеличением определенных выбросов загрязняющего вещества от сгорания; кроме того, может произойти изменение явлений испарения/конденсации самосадочных солей с возможным повреждением огнеупорных материалов, подвергающихся воздействию топочного газа.

Возможность использования

Описанные технологии обычно считаются применимыми в промышленности в рамках идентифицированных ограничений. Однако, технологии, успешно реализованные в одной печи, возможно, не будут давать такие же результаты для других печей. Достигнутое уменьшение будет зависеть от начального уровня выбросов пыли. Кроме того, введение более одной из технологий, приведенных в этом разделе, не обязательно обеспечит совокупный уровень уменьшения.

В краткосрочной и среднесрочной перспективе меры борьбы с первичным загрязнением для снижения запыленности способны обеспечивать более значительные снижения для химических составов натрий-кальций-силикатного стекла, чем для прочих типов стекла. Исключением является стекловолокно из непрерывной нити, произведенное с использованием химических составов с низким содержанием или без бора.

Экономика

Доступна очень незначительная информация о затратах на меры борьбы с первичным загрязнением, но источники в промышленности сообщили о том, что затраты на меры, реализованные до настоящего времени, считаются низкими. В действительности, те технологии, которые уменьшают потребление энергии, могут привести к снижению себестоимости.

Меры борьбы с первичным загрязнением могут подразумевать меняющиеся затраты в зависимости от уровня и необходимого времени применения. Меры являются общим пакетом, и это является оптимизацией пакета, который определяет затраты и результаты. Например, использование низкого уровня хлорида или натуральной кальцинированной соды вряд ли уменьшит выбросы пыли до уровней, сопоставимых с вторичными выбросами, и в зависимости от иных факторов, затраты могут быть непропорциональны экономическим эффектам. Однако, это является одним аспектом пакета мер, затрат и результатов, который должен рассматриваться в целом.

Движущая сила для реализации

Реализация мер борьбы с первичным загрязнением для уменьшения выбросов пыли часто базируется на экономических и технологических эффектах, вытекающих из применения выбранных технологий, таких как устранение засорения регенераторов,

коррозии или повреждения материалов, уменьшение испарительного переноса и последующих потерь чрезвычайно полезного сырья и т.д.

Пример предприятий

Применение некоторых из мер борьбы с первичным загрязнением, описанных в этой секции является обычным явлением в рамках стекольной промышленности.

4.4.1.2 Электростатические пылеуловители

Описание

Электростатический пылеуловитель (ESP) способен работать в широких пределах температуры, давления и количества твёрдых частичек. Он не особенно чувствителен к размеру частицы, и может собирать твёрдые частички в условиях, как низкой, так и высокой влажности. Электростатический пылеуловитель состоит из серии высоковольтных разрядных электродов и соответствующих электродов коллектора. Частицы заряжаются и после этого отделяются из газового потока под влиянием электрического поля, генерируемого между электродами. Электрическое поле действует между электродами посредством небольшого постоянного тока с высоким напряжением (до 80 кВ). На практике электростатический пылеуловитель разделяется на несколько дискретных зон (могут использоваться до пяти полей), как показано на рисунке 4.1.

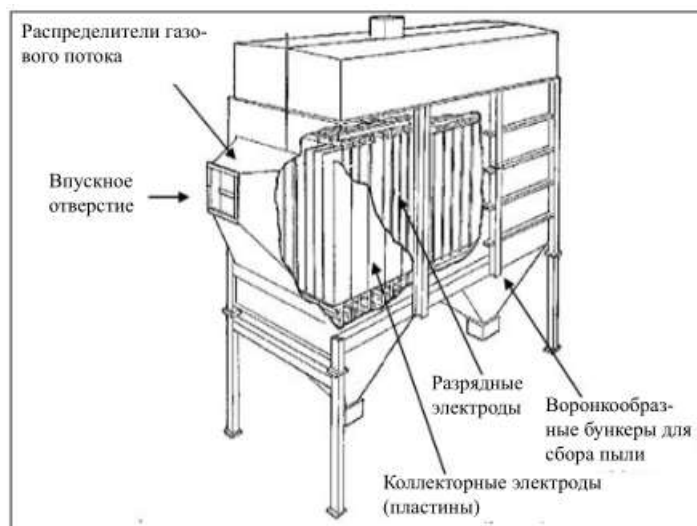


Рисунок 4.1: Электростатический пылеуловитель

Частицы удаляют из газового потока в четыре стадии:

- применение электрического заряда к частицам
- перемещение частиц в пределах электрического поля
- захват частиц на коллекторный электрод
- удаление частиц с поверхности электрода.

Необходимо обстукивать или встряхивать разрядные электроды, чтобы предотвратить нарастание материала, и их прочность должна быть совместимой с передачей постукивания или вибрации. Важной является механическая безотказность разрядных электродов и их несущей конструкции, так как единственный обрыв провода может накоротко замкнуть все электрическое поле электрофильтра. Во влажных электрофильтрах собранный материал удаляют с пластин коллектора, смывая специальной жидкостью, обычно водой, либо периодически, либо с помощью непрерывной аэрозольной ирригации.

Производительность электростатического пылеуловителя описывается уравнением Deutsch-Anderson, которое связывает эффективность сбора пыли с суммарной площадью поверхности электродов коллектора, объемной скоростью потока газов и скоростью перемещения частиц. Для предоставленного материала максимальное увеличение площади поверхности электродов коллектора и продолжительности пребывания в электрических полях являются двумя из наиболее важных параметров. Кроме того, чем больше расстояние между коллекторными электродами, тем выше может быть прикладываемое напряжение. Это расстояние зависит от конструкции подающего устройства.

Для того чтобы дать возможность изменять прикладываемое напряжение к зонам впуска и зонам выпуска, необходима хорошая конструкция выпрямителя тока, который позволяет использовать отдельные секции выпрямителя для каждой зоны или части зоны электростатического пылеуловителя. Это позволяет изменять приложенное напряжение в зонах впуска и зонах выпуска, для того, чтобы учитывать пониженное содержание твердых частиц в выпускном отверстии, и позволяет работу зон при все более высоких напряжениях. На хорошую конструкцию также влияют путем применения систем автоматического управления, которые следят за тем, чтобы на электроды подавалось оп-

тимальное высокое напряжение. Источники фиксированного высокого напряжения вряд ли обеспечат оптимальную эффективность улавливания.

Особо важно удельное сопротивление (инверсия проводимости) зернистого материала. Если оно слишком низкое, частицы, достигающие электрода коллектора, легко теряют свой заряд, и может произойти вторичный унос твёрдой частички. Когда твёрдая частичка имеет слишком высокое удельное сопротивление, на электроде формируется изолирующий слой, который препятствует нормальному коронному разряду, и приводит к снижению эффективности улавливания.

Большинство твердых частичек, встречающихся в стекольной промышленности, имеют удельное сопротивление в рамках соответствующего интервала. Однако в случае необходимости улавливание можно улучшить, предварительно обрабатывая твердые частички, например, можно использовать аммиак и трехокись серы, но это обычно не является обязательным в процессах производства стекла. Также может быть уменьшено удельное сопротивление, путем уменьшения температуры газа или путем добавления в газ влаги.

Достигнутые экологические выгоды

Электростатические пылеуловители очень эффективны при пылеулавливании в диапазоне размера частиц от 0,1 до 10 мкм, и суммарная эффективность улавливания может достигать 95 – 99 % (в зависимости от концентрации вещества на входе в аппарат и размера электростатического пылеуловителя). Действительная производительность главным образом отличается в зависимости от особенностей отработавшего газа, конструкции и срока службы электростатического пылеуловителя, но могут быть достигнуты концентрации вредных примесей в интервале 5 - 10 мг/м³. Для действующих электростатических пылеуловителей возможности для модернизации могут быть ограничены в связи с конструкцией (ограничение по габаритным размерам) и эксплуатационными ограничениями (скорость потока газа в электростатическом пылеуловителе), в такого рода случаях достигаемая производительность может находиться в интервале 20 - 30 мг/м³, однако, в большинстве случаев должна быть возможна модернизация для достижения концентраций вредных примесей приблизительно 15 мг/м³. Рабочие параметры, которые являются важным фактором, не зависят исключительно от количества

применяемых электрических полей. Двухступенчатый электростатический пылеуловитель одной конструкции может быть столь же эффективным, как трехступенчатый электростатический пылеуловитель другой конструкции при другом варианте применения, и вариант выбора будет зависеть от необходимого уровня эффективности работы.

Важным фактором эффективности работы электростатического пылеуловителя является установка скруббера сухой очистки перед фильтром. В зависимости от уровней выбросов оксида серы, которые необходимо достичь, количество добавляемых в систему щелочных реагентов может быть очень высоким. Концентрация пыли в топочном газе может увеличиваться до 10 раз от первоначального значения. В этом случае, скруббер сухой очистки представляет собой основной источник пыли. В результате на эффективность работы фильтра может влиять количество щелочного реагента, добавленного в систему.

Конкретные озабоченности относительно эффективности работы электростатических пылеуловителей, например, присутствие тяжелых металлов в топочном газе, что может потребовать достижения более высоких уровней борьбы с загрязнением. Высокоэффективный фильтр может значительно уменьшить металлические выбросы загрязняющего вещества, в том числе бора. Однако, для топочных газов, которые содержат соединения бора, позиционирование фильтра, независимо от того имеет ли место конденсация борной кислоты до или после фильтра, может значительно влиять на эффективность работы электростатических пылеуловителей по сбору пыли, создаваемой стекловаренной печью.

Влияние загрязнения одной среды на другую

Использование электростатических пылеуловителей приводит к увеличению потребления энергии, но она незначительна по сравнению с потреблением энергии печью, менее чем 1 % (что равняется 1 – 3 % затрат энергии). Будет результирующее влияние на окружающую среду в точке производства электроэнергии, которое будет зависеть от источника электричества. Косвенные выбросы, связанные с использованием электричества, как оценивается, находятся в интервале 8 - 17 кг CO_2 в расчете на т расплавленного стекла; 0,02 - 0,04 кг окиси азота в расчете на т расплавленного стекла и 0,06 - 0,14 кг SO_2 в расчете на т расплавленного стекла, в зависимости от емкости установки.

Дополнительные косвенные выбросы связаны с производством щелочных реагентов, использованных для процесса очистки газа (см. Раздел 4.4.1.3). Во многих областях применения в стекольной промышленности будет необходимо удалять газы, содержащие сероводород перед обработкой. Это обычно будет достигаться с помощью сухой или полусухой газоочистки, которая создает поток твердого материала, в десять раз больший, чем при уменьшении количества пыли. Если этот материал может быть повторно использован в печи, будет общая экономия на расходе сырья; в противном случае будет вид отходов, который нужно будет утилизировать.

На практике, в большинстве случаев собранная пыль может быть повторно использована и, в зависимости от выбранного сорбента, материал может заменить часть другого сырья в частности сульфат натрия (и, где необходимо, материалы, содержащие фторид и свинец). Проблемы могут возникать в секторе тарного стекла, где требования к сульфатам могут быть низкими, вследствие высоких уровней стекольного боя, и для восстановленных стекол, где растворимость серы могла быть очень низкой.

Это может ограничивать потенциал повторного использования пыли особенно, если используется мазут с высоким содержанием серы, и часть собранной пыли должна быть утилизирована за пределами предприятия. Кроме того проблема могла возникнуть, если несколько печей, производящих стекло различных типов и/или цвета, присоединены к единственному электростатическому пылеуловителю. В некоторых секторах возможность повторно использовать собранную пыль может быть ограничена качественными ограничениями продукта и химическим составом стекла, например, в случае, если требуется очень высокое оптическое качество. Дополнительные ограничения повторного использования пыли из фильтров присутствуют, когда применяется предварительный нагрев сухой шихты, вследствие которого возникает мелкая пыль, которая может вызвать сильный механический вынос и закупорку регенераторов.

Повторное использование пыли из фильтров с высокими концентрациями NaCl, обычно образующейся в результате обработки отработавших газов поглотительными агентами на основе натрия, может вызвать повреждения огнеупорных материалов в камере сгорания и/или в регенераторах, в зависимости от температуры и состава насадок печи.

Затраты на утилизацию пыли, которая не может быть повторно использована (включая затраты на классификацию углеводородных остатков), и стоимость природного газа необходимо сравнивать с учетом многих условий (в частности для тарного стекла) для того, чтобы оценить, было ли бы для оператора удобнее сменить топливо вместо того, чтобы создавать поток твердых отходов для утилизации. Одна из основных целей фазы очистки газа, содержащего сероводород, состоит в том, чтобы предварительно обрабатывать газ для электростатического пылеуловителя для того, чтобы устранять коррозию, со, следовательно, более низкими общими выбросами газа, содержащего сероводород. Если пыль из фильтров будет повторно использована, то формируется динамическое равновесие между серой на входе и выходе.

В стекольной промышленности большинство выделенных твёрдых частиц образуются путем реактивного испарительного переноса. Поэтому важно следить за тем, чтобы температура газового потока была ниже температуры образования твердых частиц, которая зависит от присутствия частиц. Главным элементом пыли при производстве силикатного стекла является сульфат натрия с температурой образования около 800 °C; в то время как для боросиликатных стекол конденсация разновидности бора может произойти при температуре значительно ниже 200 °C.

В регенеративных печах температура отработавшего газа обычно находится около 400 °C, и охлаждение обычно не требуется ни для конденсации летучих веществ, ни для достижения ограничений на условия эксплуатации электростатического пылеуловителя. В рекуперативных печах температура отработавшего газа обычно находится около 800 °C, и для конденсации твёрдых частиц, и для охлаждения газа до ограничений на условия эксплуатации электростатического пылеуловителя, требуется охлаждение. Как уже сообщалось выше, для стекол, которые содержат бор (например, стекловата, стекловолокно из непрерывной нити), может потребоваться снизить температуру газа ниже 200 °C перед борьбой с загрязнением, и в то же время, следя за тем, чтобы в системе были ограничены конденсация и соответствующий риск коррозии. Температура отработавшего газа из печей с использованием горения топлива в кислороде обычно бывает >1000 °C, и требуется значительное охлаждение.

Сводка основных преимуществ и недостатков, связанных с использованием электростатических пылеуловителей:

Преимущества:

- Высокая эффективность удаления пыли
- Собранная пыль находится обычно в форме, которая позволяет осуществлять повторное использование
- Низкое снижение давления по отношению к мешочным фильтрам, и, таким образом, эксплуатационные расходы сравнительно низкие
- Может являться частью объединенной системы очистки, например, со скрубберами и SCR
- Электростатические пылеуловители нелегко заблокировать вследствие высокой нагрузки или влагосодержания, которое может быть проблемой при использовании тканевых фильтров
- Как правило (то есть, не ограничиваясь стекольной промышленностью), имеется большой производственный опыт работы в высоких температурах, чем для мешочных фильтров
- Электростатические пылеуловители могут быть разработаны таким образом, чтобы дать возможность позднее добавлять дополнительные поля

Недостатки:

- Использование энергии. Хотя энергия, используемая для работы фильтра, сравнительно низка по сравнению с общей потребляемой энергией печи (<1 %), затраты более значительны, потому что для работы фильтра используют электричество по сравнению с более дешевым органическим топливом. Кроме того, будет воздействие в результате косвенных выбросов, связанных с использованием электричества (CO₂ и прочие выбросы загрязняющих веществ в электростанции)
- Не всегда есть возможность утилизировать потоки создаваемых твердых отходов
- Для многих процессов требуется очистка газа, содержащего сероводород, и в этих случаях расходуется абсорбент. Косвенные выбросы связаны с использованием щелочных реагентов (производственный цикл материала)
- Для электростатических пылеуловителей могут потребоваться более высокие капитальные затраты, чем для других систем, таких как мешочные фильтры

- Решающее значение имеет поддержание эксплуатации установки в рамках проектного режима или же в противном случае эффективность работы может значительно падать
- При использовании высоковольтного оборудования должны соблюдаться меры предосторожности и обеспечения безопасности
- Электростатические пылеуловители могут быть очень большими, и нужно учитывать необходимое для них пространство

Рабочие данные

Средняя концентрация пыли в чистых газах в нисходящем направлении системы контроля за загрязнением атмосферного воздуха обычно бывает низкой. Считается, что в большинстве областей применения хорошо спроектированные двух- или трехступенчатые электростатические пылеуловители обеспечивают менее чем 10 мг/нм^3 и менее чем $0,03 \text{ кг}$ пыли в расчете на t расплавленного стекла. Однако с течением времени и в зависимости от условий эксплуатации эффективность уменьшения пыли может отличаться. В качестве примера на Рисунке 4.2 показана вариабельность результатов точечных замеров для выбросов пыли, выполняемых ежемесячно для печи флоат-стекла, снабженной электростатическим пылеуловителем и работающей со стадией сухой газоочистки, использующей $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В примере средние ежегодные значения (красные точки) часто ниже 10 мг/нм^3 , но точечные замеры (синие точки) могут подойти к 30 мг/нм^3 . Эти изменения являются результатом функционирования фильтра, но могут также зависеть от изменения характеристик входящего газа (температура, состав пыли и т.д.) в результате изменения обработки (например, изменения производительности стекловаренной печи и типа стекла). Это также имеет место во время операций по очистке пластины, когда концентрации пыли могут показать временное увеличение. Во многих приложениях электростатические пылеуловители могут достичь цифр ниже этих уровней либо в результате наличия благоприятных условий, либо в результате использования высокоэффективных конструкций. Уровни выбросов загрязняющего вещества для электростатических пылеуловителей ниже, чем 5 мг/нм^3 , измеряют в нескольких установках; однако, за исключением случаев, когда существуют благоприятные условия, чтобы гарантировать эффективность работы на этом уровне обычно необходимы затраты выше, чем

затраты, установленные в этом разделе. Следует отметить, что в регенеративных печах с поочередными циклами нагревания репрезентативные данные должны всегда быть средней величиной выбросов загрязняющих веществ, произведенных во время двух циклов нагревания или нескольких за время производственного цикла.

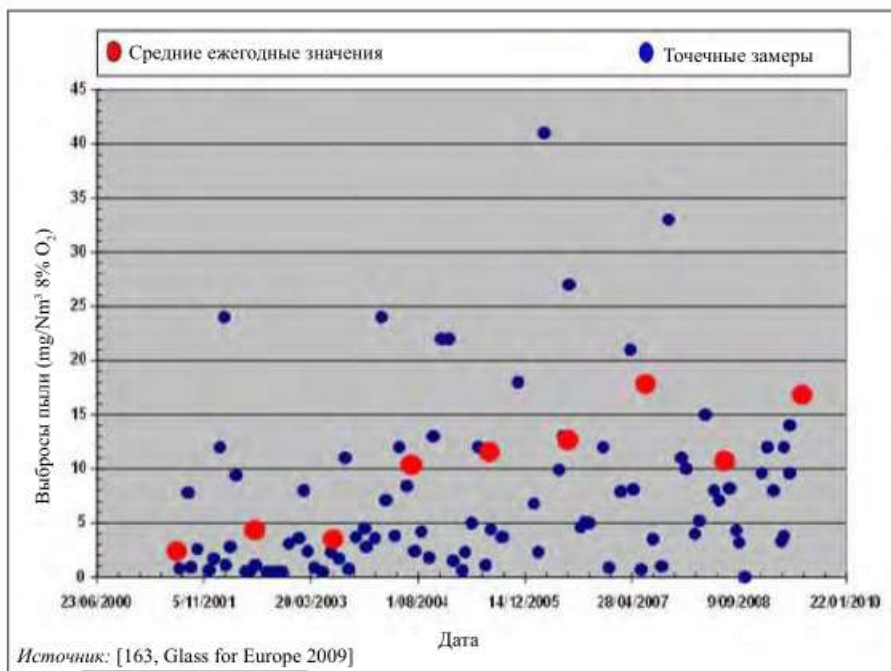


Рисунок 4.2: Результаты выбросов пыли (ежемесячные точечные замеры) из печи для варки флоат-стекла, снабженной электростатическим пылеуловителем и сухой газоочисткой с помощью $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Применение электростатического пылеуловителя является общепринятым, в особенности в установках с высокой производительностью (высокий объем топочного газа) и/или более чем с одной печью. В настоящее время многие большие печи снабжены непрерывным контролем наличия твердых частиц или светонепроницаемости.

Чтобы достичь оптимальных рабочих характеристик электростатического пылеуловителя, необходимо чтобы поток газа через устройство был однородным, и чтобы газ не обходил электрические поля. Соответствующая конструкция входного короба и использование устройств распределения потока во входном патрубке должны добиваться однородного потока на входе в пылеуловитель. Как правило, рабочая температура должна держаться ниже $430\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эффективность работы электростатического пылеуло-

вителя будет уменьшаться во время длительной работы. Электроды могут растрескиваться, сместиться или стать чешуйчатыми, и будет необходим регулярный ремонт, особенно для более старого оборудования.

В вариантах применения, в которых газовый поток может содержать значительные концентрации газов, содержащих сероводород (в том числе оксид серы, HCl и HF), по всеобщему признанию необходимо использовать некоторую форму очистки газа, содержащего сероводород, перед электростатическим пылеуловителем. Она обычно состоит из сухой или полусухой газоочистки с использованием гидроокиси кальция, карбоната натрия или бикарбоната натрия. Эти технологии обсуждаются в Разделе 4.4.3.3.

Газы, содержащие сероводород выделяются из стекольного боя, сырья и из серы, содержащейся в топочном мазуте, используемом для сгорания, и без удаления газа, содержащего сероводород, у электростатического пылеуловителя могут возникнуть большие проблемы с коррозией. В некоторых стеклах, содержащих бор, выделять летучие соединения бора также помогает щелочь. Если отработавшие газы не содержат высокие уровни газов, содержащих сероводород (то есть газовый нагрев и сырье с низким содержанием серы), предварительная обработка может и не понадобиться, например, в большинстве процессов, связанных с производством стекловаты.

В секторах листового и тарного стекла, выбросы пыли при использовании электростатического пылеуловителя, в сочетании с системой очистки газа, содержащего сероводород, находятся в интервале $10 - 20 \text{ мг/нм}^3$. Эти значения наблюдаются для систем сухой газоочистки с использованием гидратированной извести и сравнительно низкой эффективностью удаления оксида серы, между $25 - 33 \%$, но также при работе с лучшей эффективностью удаления оксида серы в интервале $50 - 95 \%$, в зависимости от типа щелочного реагента, типа системы очистки газа, температуры топочного газа и молярной концентрации введенного реагента по отношению к $\text{SO}_x + \text{HCl} + \text{HF}$, присутствующим в топочных газах (см. Раздел 4.4.3.3).

Количество пыли, создаваемой системой фильтрования, может значительно отличаться, в зависимости от требуемой эффективности удаления для газов, содержащих сероводород. Вследствие этого, поток твердых отходов необходимо обработать либо повторно используя пыль в химическом составе шихты, либо утилизируя ее на полигоне для захоронения отходов (см. Разделы 4.4.3.3 и 4.7).

Некоторые примеры уровней выброса пыли, относящиеся к использованию электростатических пылеуловителей приведены в Таблице 4.4.

Таблица 4.4: Уровни выброса пыли, относящиеся к использованию электростатических пылеуловителей для примеров установок

Продукция	Топливо/ технология стекловарения	Общий объем произведенной продукции, т/сутки	Характеристики электростатического пылеуловителя	Выбросы пыли AELs ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
				мг/нм ³ при 8 % O ₂	стекло кг/т
Тарное стекло					
Натрий-кальций-силикатное стекло, зеленое/белое	Природный газ	470	1 поле – сухая газоочистка с использованием Ca(OH) ₂	17 (3)	0,027
Натрий-кальций-силикатное стекло	Природный газ	640	5 полей – сухая газоочистка с использованием Ca(OH) ₂	7.6	0,016
Бесцветное стекло	Природный газ	275	3 поля - без системы очистки газа	23.8	0,037
Янтарное	Природный газ	297	2 поля – сухая газоочистка с использованием Ca(OH) ₂	1.2	0,0019
Изумрудный зеленый / ультрафиолетовый зеленый	Природный газ	367	2 поля – сухая газоочистка с использованием Ca(OH) ₂	27	0,040
Листовое стекло					
Белое	Природный газ	700	4 поля – сухая газоочистка с использованием Ca(OH) ₂	1.5	0,0031
Белое	Природный газ	600	3 поля – сухая газоочистка с использованием Ca(OH) ₂	30	0,084

Продукция	Топливо/ технология стекловарения	Общий объем произведенной продукции, т/сутки	Характеристики электростатического пылеуловителя	Выбросы пыли AELs ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
				мг/нм ³ при 8 % O ₂	стекло кг/т
	газ		очистка с использованием Ca(OH) ₂		
Специальное стекло					
Не определено	Природный газ	170	2 поля – сухая газоочистка с использованием Ca(OH) ₂	20	0,127
⁽¹⁾ Уровни выбросов загрязняющего вещества показывают средние значения периодических измерений (30 - 60 минут). ⁽²⁾ Для низких значений концентрации погрешность в методе измерения обычно такого же порядка величины как и результат измерения. ⁽³⁾ Ежемесячное среднее значение непрерывных измерений.					

Возможность использования

В принципе, эта технология применима для всех новых и действующих печей во всех секторах производства стекла. В случае действующей установки, обновление фильтра с дополнительными полями можно выполнять только тогда, когда плавильная печь находится в ремонте, при условии, что доступно необходимое пространство. Точно так же настройку электростатического пылеуловителя обычно нужно выполнять во время холодного ремонта или реконструкции печи(ей).

Для обеспечения высокой производительности системы важно выполнять регулярное техническое обслуживание электростатического пылеуловителя.

Электростатические пылеуловители не используются со стекловаренной вращающейся печью для варки базальтового волокна из-за опасности взрыва, связанной с оксидом углерода, присутствующим в топочных газах.

Экономика

Главные факторы, влияющие на расходы на электростатический пылеуловитель:

- объем отработавшего газа
- необходимая эффективность
- количество полей
- доведение до необходимого состояния отработавшего газа
- если требуется очистка газа, содержащего сероводород, эффективность скрубберов и агента очистки газа (то есть, гидратированной извести, гидрокарбоната натрия, карбоната натрия)
- особенности предприятия (наличие пространства, компоновка, необходимость подготовки рабочей площадки и т.д.),
- затраты на энергию, электричество, воду и трудовые ресурсы
- расходы на удаление пыли (если нет возможности ее повторного использования).

Каждое дополнительное электрическое поле сверх двух будет увеличивать капитальные затраты примерно на 10 – 15 %, но суммарное увеличение этих систем контроля за загрязнением атмосферного воздуха (АРС), в том числе скрубберов и расходов на эксплуатацию, составляет только приблизительно 5 %.

Затраты, необходимые для установки электростатических пылеуловителей, с большой степенью вероятности будут выше для действующих предприятий, чем для новых, особенно в случаях, когда имеются ограничения по габаритным размерам, и если место установки фильтра расположено на сравнительно большом расстоянии, что требует прокладки дополнительного трубопровода (часто должен быть изолированным).

Для электрических печей и небольших стандартных печей (<200 т в сутки) высокие капитальные затраты могут заставить операторов выбирать альтернативные технологии, в частности мешочные фильтры.

Прямые издержки могут быть значительно выше для более мелких производств и для печей, работающих на мазуте, хотя это также зависит от достигнутой степени уменьшения SO_x . В качестве примера, на рисунке 4.3 показаны прямые издержки на системы контроля за загрязнением атмосферного воздуха (АРС), состоящие из фильтрации и сухой газоочистки с использованием $Ca(OH)_2$, относящиеся к четырем различным си-

туациям для печей флоат-стекла, в зависимости от удельного съема стекломассы и с учетом утилизации всей пыли из фильтров.

Оценка затрат базируется на следующих доступных уровнях выбросов загрязняющего вещества:

- выбросы пыли учитываются в интервале 10 - 20 мг/нм³, с возможными значениями в пределах от 5 до 10 мг/нм³ в зависимости от конструкции электростатического пылеуловителя и проводимых работ (например, временно более высокие значения, связанные с удалением слоев отложения с пластинчатых электродов);
- ограниченное уменьшение выброса SO_x на 25 – 33 % допускается в качестве стандартного рабочего состояния при использовании системы сухой газоочистки с гидратированной известью.

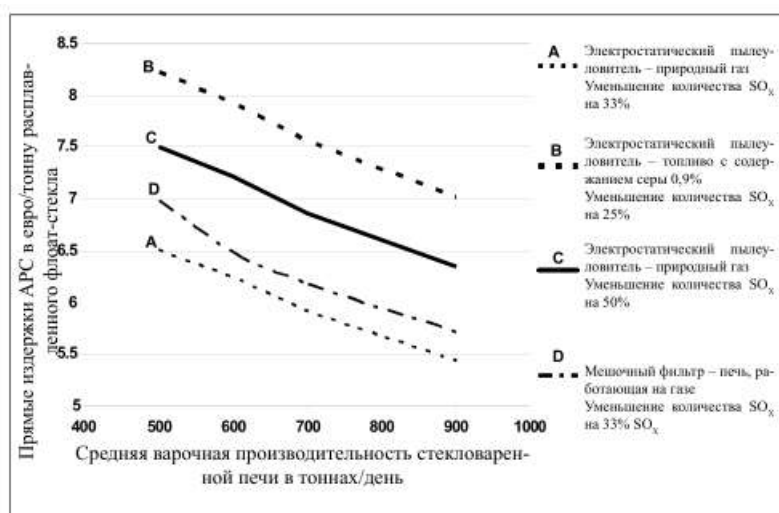


Рисунок 4.3: Прямые издержки в расчете на тонну расплавленного стекла для загрязнения воздуха на контроль за загрязнением при помощи сухой газоочистки и фильтрами, с суммарной утилизацией от пыли от фильтров, для печей флоат-стекла в зависимости от варочной производительности стекловаренной печи

Были оценены приведенные ниже данные о затратах для типичного исходного уровня выбросов загрязняющего вещества, равного 800 - 1000 мг/нм³ SO_x для печей, работающих на газе, и исходя из ограниченного уменьшения выброса SO_x приблизительно на 30 %, достигнутого при условии сухой газоочистки с использованием гидратированной извести.

Производство флоат-стекла:

- Суммарные затраты на капиталовложения для системы контроля за загрязнением атмосферного воздуха (электростатический пылеуловитель + стадия сухой газоочистки) могут изменяться в интервале 240 – 330 миллионов руб., в зависимости от размера печи (500 - 900 т/сутки).

- Расходы на эксплуатацию изменяются в интервале 24– 36 миллионов руб. ежегодно, в случае полного повторного использования пыли из фильтров, и от 42 - 70 миллионов руб. ежегодно в случае полной утилизации пыли из фильтров.

- Прямые издержки могут изменяться в интервале 240 – 300 руб. в расчете на т расплавленного стекла, когда пыль из фильтров полностью повторно используется в печи; нижнее значение относится к большим печам (900 т/сутки), а большее значение – к более малым печам (450-500 т/сутки). В случае полной утилизации пыли из фильтров, прямые издержки в расчете на тонну расплавленного стекла будут приблизительно на 90 - 120 руб. выше. Более высокая эффективность удаления SO_x (приблизительно 50 %), достигнутая путем добавления большего количества гидратированной извести, приведет к дополнительным затратам в размере 60 руб. в расчете на т расплавленного стекла для газовых печей, в случае полной утилизации пыли из фильтров. Увеличение прямых издержек было бы гораздо меньшим, если бы пыль из фильтров полностью повторно использовалась в печи (приблизительно 12 - 18 руб. в расчете на т расплавленного стекла).

- Прямые издержки в расчете на килограмм удаляемого загрязнителя могут изменяться в интервале 540 – 900 руб. в расчете на килограмм удаляемой пыли, и между 27 и 42 руб. в расчете на килограмм удаляемой SO_2 , в зависимости от емкости печи и условий эксплуатации.

Производство тарного стекла

- Суммарные затраты на капиталовложения на системы контроля за загрязнением атмосферного воздуха (электростатический пылеуловитель + стадия сухой газоочистки) могут изменяться в интервале от 130 до 300 миллионов руб. в расчете на печь, в зависимости от размера печи (133 - 560 т/сутки). На практике, в секторе тарного стекла системы контроля за загрязнением атмосферного воздуха часто обрабатывают отработавшие газы более чем от одной печи.

- Расходы на эксплуатацию могут изменяться в интервале от 10 до 50 миллионов руб. ежегодно, нижнее значение относится к газовой печи и повторному использованию пыли из фильтров, а более высокое значение относится к печи с полной утилизацией пыли из фильтров.

- Прямые издержки в расчете на тонну расплавленного стекла сопоставимы со значениями, приведенными для производства флоат-стекла.

- Прямые издержки могут изменяться в интервале от 600 до 1 500 руб. в расчете на килограмм удаляемой пыли и между 30 и 70 руб. в расчете на килограмм удаляемой пыли SO_2 , в зависимости от пропускной способности и условий эксплуатации.

Производство сортового стекла

- Суммарные затраты на капиталовложения для системы контроля за загрязнением атмосферного воздуха (электростатический пылеуловитель + стадия сухой газоочистки) могут изменяться в интервале от 70 до 120 миллионов руб., в зависимости от размера печи (35 - 180 т/сутки).

- Расходы на эксплуатацию могут изменяться в интервале от 2,6 до 15 миллионов руб. ежегодно, нижнее значение относится к небольшим газовым печам (35 т/сутки) и с повторным использованием пыли из фильтров, а более высокое значение относится к большим газовым печам (180 т/сутки) с полной утилизацией пыли из фильтров.

- Прямые издержки в расчете на тонну расплавленного стекла могут быть намного более высокими, чем издержки для сектора тарного стекла. Были получены значения между 480 и 1 000 руб. в расчете на тонну расплавленного стекла, которые зависели главным образом от размера печи.

- Прямые издержки могут изменяться в интервале от 1 200 до 2 500 руб. в расчете на килограмм удаляемой пыли и между 60 и 130 руб. в расчете на килограмм удаляемой SO_2 , который удаляют, в зависимости от пропускной способности и условий эксплуатации.

Рисунки, приведенные выше, могут отличаться на плюс-минус 15 % на капитальные затраты и на 30 % на эксплуатационные расходы, в зависимости от ряда относящихся к конкретному месту факторов. Для установки, которая не требует очистки газа, со-

державшего сероводород, капитальные затраты будут приблизительно на 15 – 20 % ниже, а эксплуатационные расходы будут ниже на 30 – 40 %.

Затраты инфраструктуры будут изменяться в зависимости от размера электростатического пылеуловителя, и от местных обстоятельств для каждой установки (включая количество печей, подсоединенных к электростатическому пылеуловителю, и расстояния от печей до электростатического пылеуловителя). Как уже отмечалось, электростатические пылеуловители могут быть весьма большими, и на действующей установке, где ограничено пространство, может понадобиться выполнять существенные строительные работы.

В Таблице 4.5 приводятся обобщенные данные по фактическим издержкам, относящимся к приведенной в качестве примера установке, производящей различные типы стекла (тарное стекло, листовое стекло, специальное стекло и минеральное волокно) при разнообразных режимах работы.

Таблица 4.5: Сводка примеров фактических издержек на электростатические пылеуловители, применяемые при производстве стекла

	Листовое стекло ⁽²⁾	Тарное стекло ⁽³⁾	Специальное стекло ⁽⁴⁾	Стекловата ⁽⁵⁾
Тип печи	Стекловаренная регенеративная печь с поперечным направлением пламени для варки флоат-стекла	Стекловаренная регенеративная печь с поперечным направлением пламени	Стекловаренная регенеративная печь с поперечным направлением пламени	Стекловаренная печь с использованием горения топлива в кислороде
Емкость печи, т/сутки	800	350	220	206
Фактический удельный съем стекломассы, т/сутки	700	275	170	199

	Листовое стекло (²)	Тарное стекло (³)	Специальное стекло (⁴)	Стекловата (⁵)
Дополнительный электроподогрев	Да	Да	Да	Да
Тип стекла	Белое	Бесцветное стекло	Боросиликатные трубки	Стекло марки С
Стекольный бой	35 %	60 %	25 %	66 %
Удельные энергозатраты, ГДж/т стекла	5,20	3,78	16,44	3,55
Поля электростатического пылеуловителя	4	3	2	2
Температура перед фильтром	300 °С	200 °С	350 °С	Не применимо
Тип сорбента	Ca(OH) ₂	Нет (³)	Ca(OH) ₂	Нет
Количество сорбента, кг/час	15		22	
Повторное использование пыли из фильтров в составе шихты, %	100	100	0	100
Потребление энергии для электростатического пылеуловителя, в том числе для вентилятора, кВтч	320	194	250	Не применимо
Интервал между циклами технического обслуживания	Ежегодно	По мере необходимости	Не определено	Не определено

	Листовое стек- ло ⁽²⁾	Тарное стекло (³)	Специальное стекло (⁴)	Стекловата (⁵)
Данные о затратах (⁷)				
Затраты на капита- ловложения, милли- онов руб.	150	90	180	55 (⁸)
Длительность амор- тизации	10 лет	10 лет	10 лет	8 лет
Эксплуатационные расходы, миллионов руб./год	14	7	15	4 (⁸)
Ежегодные затраты на амортизационные отчисления, миллио- нов руб./год	20	12	24	9
Суммарные годовые расходы, миллионов руб./год	36	19	39	13
Предполагаемые расходы в расчете на тонну стекла, руб./т стекла	140	190	600	180 (⁸)
Связанные уровни выбросов загрязняющего вещества (AELs), средние значения за пол- часа				
мг/нм ³ при 8% O ₂	Пыль: 1,5 SO _x : 1327 HCl: 25 HF: 0,5	Пыль: 23,8 SO _x : 386 HCl: 4,8 HF: 3,0	Пыль: 20 SO _x : незначи- тельно HCl: 9 HF: 4	Пыль: <5 SO _x : незначи- тельно HCl: <1 HF: <1
кг/т стекла	Пыль: 0.0031	Пыль: 0.037	Пыль: 0.127	Пыль: <0.01

	Листовое стекло (²)	Тарное стекло (³)	Специальное стекло (⁴)	Стекловата (⁵)
	SO _x : 2.72 HCl: 0.051 HF: 0.001	SO _x : 0.60 HCl: 0.0075 HF: 0.005	SO _x : незначительно HCl: 0.057 HF: 0.015	SO _x : незначительно HCl: <0.0015 HF: <0.0015

(¹). Установка снабжена системой рекуперации тепла, до и после электростатического пылеуловителя.

(²). Установка снабжена системой рекуперации тепла.

(3). Установка снабжена предварительным обогревателем шихты.

(4). Установка снабжена технологией SCR для уменьшения NO_x.

(⁵). Данные по выбросам загрязняющего вещества показывают ожидаемые уровни на основе результатов измерений, выполненных на аналогичных предприятиях.

(⁶). Количество сорбента зависит от типа произведенного стекла.

(⁷) Данные о затратах приводятся для года после установки системы контроля за загрязнением атмосферного воздуха и не обязательно типичны для текущих затрат.

(⁸). Последние данные о затратах для емкости печи 150-250 т/сутки следующие: затраты на капиталовложения: от 90 до 120 миллионов руб., эксплуатационные расходы: 4 800 000 – 12 000 000 руб. ежегодно, прямые издержки: 270 - 330 руб. в расчете на тонну расплавленного стекла.

Движущая сила для реализации

Реализация законодательно определенных ограничений на содержание вредных веществ в отработавших газах является важнейшей движущей силой для внедрения этой технологии.

Дополнительным фактором в непосредственной причине установки системы для снижения запыленности является требование уменьшить выбросы металлов и/или выбросы примесных газов (SO_x, HF, HCl, и т.д.), которое часто предусматривает использование твердого реагента и образование высоких уровней выделения твердых частиц.

Пример предприятий

Имеется много примеров электростатических пылеуловителей, успешно используемых в стекольной промышленности; более чем 90 печей в Германии и более чем 40 в Италии, а также в других европейских странах, оборудованы электростатическими пылеуловителями, главным образом в сочетании с очисткой газа, содержащего сероводород. Электростатические пылеуловители являются наиболее распространенным фильтром, используемым в стекольной промышленности; эта технология была одобрена промышленностью, в том числе для предприятий для крупносерийного производства стекла.

В настоящее время более чем 60 % всех печей для производства флоат-стекла были снабжены электростатическими пылеуловителями.

4.4.1.3 Тканевые (мешочные) фильтры

Описание

В стекольной промышленности тканевые (мешочные) фильтры имеют много вариантов применения из-за своей высокой эффективности в борьбе с мельчайшими частичками. В настоящее время они наиболее широко применяются для улавливания дымовых газов при варке тарного стекла благодаря современным и надёжным тканям и системам. Но в силу своей способности забиваться при определённых обстоятельствах, предпочтение их использованию отдают не во всех случаях. Во многих случаях всё же находят технические решения для таких ситуаций, но они могут выливаться в дополнительные расходы.

Главное в использовании тканевых фильтров – это выбор тканевой мембраны, проницаемой для газа, но удерживающей пыль. Поначалу пыль оседает как на поверхности волокон, так и в глубине волокна, но по мере нарастания на поверхности слоя пыли он сам становится главной фильтрующей средой. При уплотнении пылевой корки сопротивление потоку газа увеличивается, и для того чтобы регулировать перепад давления на фильтре, нужно периодически очищать фильтрующий слой. Направление потока газа может быть или изнутри мешка наружу ткани, или с наружной стороны ткани внутрь тканевого мешка (см. Рис. 4.4).

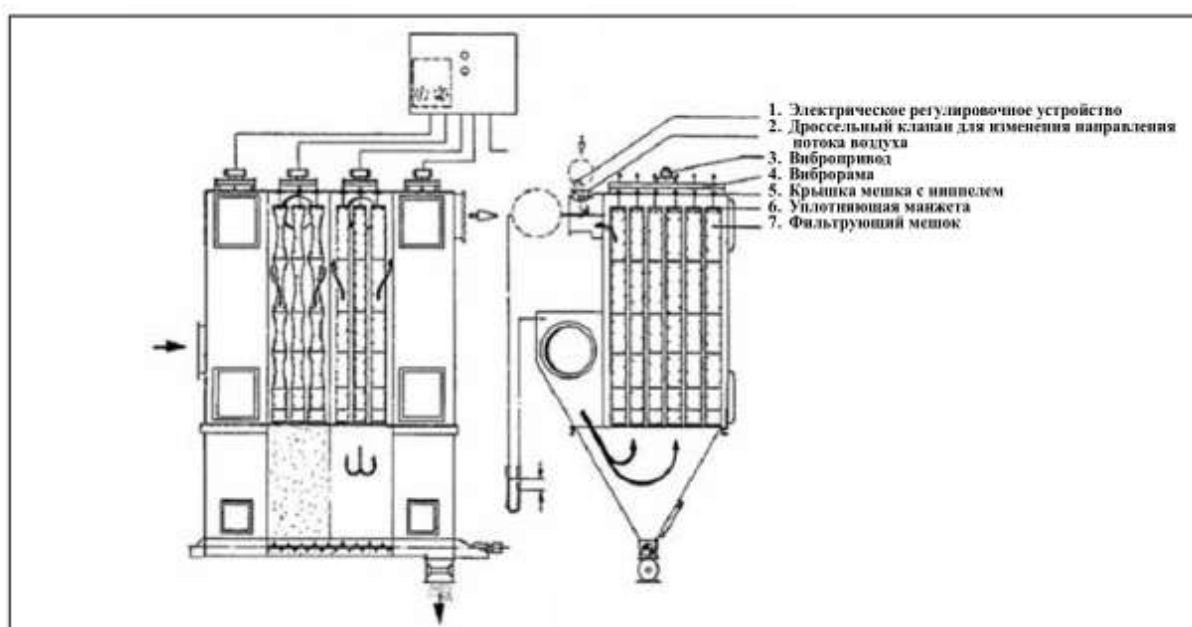


Рис. 4.4: Схема устройства мешочного (тканевого) фильтра

Самый распространённый способ очистки фильтра – это обратным потоком воздуха, механическим встряхиванием, вибрацией и залпами сжатого воздуха. Зачастую используют комбинацию этих методов. Обычные механизмы очистки не приводят к возврату ткани в своё изначальное состояние. Невыгодно слишком сильно очищать ткань, так как частички, осевшие в глубине ткани, способствуют уменьшению порового пространства между волокнами, помогая таким образом достигать большей эффективности.

Тканевые фильтры созданы, исходя из расчётной скорости потока воздуха, задаваемой как максимальная скорость воздуха, проходящего через единицу площади ткани (выражаемая в м/с). Темпы фильтрации лежат, обычно, в диапазоне от 0,01 до 0,06 м/с в зависимости от применения, типа фильтра и ткани. Конструкция фильтра должна оптимизировать баланс между перепадом давления (производственные затраты) и размером (капитальные затраты). Если скорость фильтрации очень высока, то перепад давления будет высоким, и частицы будут проходить и забивать ткань. Если скорость фильтрации очень низка, то фильтр будет эффективным, но очень дорогостоящим.

Из-за тенденции частиц в отходящих газах из печей для плавки тарного стекла прилипать к фильтрующему материалу, иногда очистка осаждённых частиц с фильтрующего материала оказывается затруднительной. Тенденция частиц к агломерации может

способствовать достижению удовлетворительной непрерывной работы за счёт того, что, будучи очищенной с фильтрующего материала, часть потока частичек постоянно рециркулирует в поток грязного отходящего газа. Этот эффект усиливается за счёт применения промывки (скруббинга) газа.

При выборе материала для ткани фильтра необходимо учитывать состав газов, характер или размер частиц пыли, применяемый метод очистки, требуемую эффективность и экономию, а также способ охлаждения газа, если он применяется, а также получающийся в результате водяной пар и точку росы для кислоты. К характеристикам ткани, которые должны учитываться, относятся максимальная рабочая температура, химическая устойчивость, форма волокон и тип пряжи, фабричное плетение, фабричная обработка, устойчивость к истиранию и прочность на изгиб, аккумулялированная эффективность, конечная обработка ткани и её проницаемость.

Полученные экологические выгоды

Тканевые фильтры являются высокоэффективными пылесборниками, и можно ожидать, что эффективность улавливания ими могла бы составить 95 – 99 %. Можно было бы получить эмиссию частиц в объёме 0.5 и 5 мг/нм³, и во многих случаях можно было бы ожидать уровни и ниже 5 мг/нм³. В целом это составит значительно меньше, чем 0,008 кг на тонну расплавленного стекла и меньше, чем 0,02 кг/т стекла в некоторых конкретных случаях, таких как боросиликатное стекло или модифицированное натриево-кальциевое стекло. Однако следует отметить, что в случае непрерывных измерений недостоверность стандартных методов имеет тот же порядок значений, что и измеренная величина; поэтому данные, представляющую низкую концентрацию, следует оценивать с осторожностью.

Необходимость получения таких низких уровней концентрации может быть важна в том случае, если высвобождающаяся в результате процесса пыль содержит значительное количество металлов (приближающееся к обычным предельным значениям для эмиссии или превышающее их).

Удаление элементов бора из отбрасываемых газов может быть более эффективно при использовании именно тканевого фильтра, так как он может работать при относительно низких температурах (см. Раздел 4.4.1).

В сегменте минеральной ваты, особенно для вращающихся печей для варки минеральной ваты, приводятся данные, что по эмиссии пыли применение тканевых фильтров на существующих установках обеспечивает концентрации ниже 10 мг/м^3 только в 60 % случаев.

Если в комбинации с тканевым фильтром применяется этап отмывки, это в результате приводит к меньшей суммарной эмиссии (см. Разделы 4.4.3 и 4.4.4.2). Если пыль рециркулирует, то кислотные газы высвобождаются вторично. Но динамическое равновесие устанавливается, там, где отбор стекла остаётся высоким, уровни сырьевых материалов остаются низкими и значения общей эмиссии остаются низкими. При некоторых газообразных загрязнителях и особых состояниях внешней среды эффективность сухой отмывки может быть выше с тканевыми фильтрами, чем с системами электростатического осаждения, потому что происходит дальнейшая абсорбция на фильтрационной корке, образовавшейся на тканевых мешках, или в процессе рециркуляции внутри механизмов части пыли, обнаруженной в современных тканевых фильтрующих системах.

Эффекты от взаимодействия

Применение тканевых фильтров влечёт за собой расход электроэнергии на применение сжатого воздуха, вентиляторов и систем контроля, что соответствует 1 % от энергопотребления на печь. Косвенные эмиссии CO_2 , связанные с использованием электроэнергии, будут зависеть от источника производства электричества на электрогенерирующей установке. Расчётная эмиссия по печи для варки флоат-стекла в объёме 500 т/сутки составляют 2 500 т CO_2 /год (около 2,5 – 3 % от ежегодной эмиссии CO_2 на печь по варке стекла). Расчётные данные по печи для варки тарного стекла в объёме 300 т/сутки показывают, что косвенная эмиссия CO_2 , связанная с использованием тканевого фильтра, может достигать до 3 % от ежегодной эмиссии CO_2 на печь для варки стекла (от процесса горения и от сырья).

Для печей сортового стекла непосредственная эмиссия CO_2 составляет около 200 – 250 т/год - для печей мощностью 30 – 40 т/сутки и 600 т/год – для крупных печей мощностью 180 – 200 т/сутки (около 3 % от общей эмиссии CO_2 на печь).

Непосредственная эмиссия, связанная с использованием электричества, оценива-

ется как находящиеся в диапазоне 10 – 26 кг CO₂ на тонну расплавленного стекла, 0,025 – 0,045 кг NO_x на тонну расплавленного стекла и 0,09 – 0,16 кг SO₂ на тонну расплавленного стекла, в зависимости от мощности установки.

В случае применения системы электростатического осаждения дополнительная косвенная эмиссия связывается с производством спиртосодержащих реагентов, используемых для скруббинга (отмывки) (бикарбонат натрия, карбонат натрия, гидроксид кальция). Значения оцениваются в диапазоне 60 – 200 т CO₂/год для печей для варки тарного стекла мощностью 200 – 600 т/сутки - <0,5 % от общего объёма эмиссии на печь, и до 300 – 600 т CO₂/год для крупных печей для флоат-стекла мощностью 500 – 900 т/сутки (около 0,5 % от общей эмиссии CO₂ на печь).

Если технология включает этап скруббинга, то создаётся поток твёрдых отходов, который должен быть или направлен обратно в печь для повторного использования, или утилизирован. Что касается применения ЭСО, то при производстве твёрдых отходов может иметь место эффект взаимовлияния, когда рециркулирование пыли невозможно и внешняя утилизация является необходимой. Те же ограничения, что представлены в Разделе 4.4.1.2 по рециркуляции пыли с фильтра, действуют и в случае применения тканевого фильтра.

Оперативные данные

Что касается электростатического осаждения, то эффективность снижения запылённости тканевого фильтра меняется со временем и в зависимости от рабочих условий (см. Раздел 4.4.1.2, оперативные данные).

В системе тканевого фильтра важно поддерживать температуру отходящего газа в правильном диапазоне. Газ должен поддерживаться при температуре выше точки росы в любом из имеющих место конденсируемых видов (т.е. H₂SO₄ или вода) и ниже верхнего температурного предела для фильтрующей среды. Если температура очень низкая, происходит конденсация, которая может вызвать забивание и/или химическое воздействие на материал самой фильтровальной ткани. Если температура очень высокая, материал фильтра может оказаться повреждённым и требовать замены. Обычные фильтровальные ткани имеют максимальную рабочую температуру между 130 и 220 °C, и в целом – чем выше рабочая температура, тем выше стоимость. В большинстве процессов по произ-

водству стекла температура отходящего газа – между 450 и 800 °С. Поэтому газ должен охлаждаться перед фильтром путём растворения, отжигом или через теплообменник.

Если похоже на то, что дымовые газы содержат кислотные включения, то тогда считается необходимым установить этап скруббинга на впускном по отношению к фильтру потоке во избежание конденсации кислоты, которая может повредить тканевую завесу фильтра и сам корпус фильтра. Для дымовых газов, содержащих бор, этап скруббирования помогает осадить летучие частички бора, облегчая тем самым сбор пыли без закупорки.

Несмотря на то, что ткань фильтра является чувствительным материалом, технологию усовершенствовали, и современные фильтры сейчас являются достаточно прочными. Существуют системы контроля, позволяющие хорошо регулировать температуру во избежание повреждения ткани, обеспечивая тем самым хорошую надёжность. Во избежание повреждения фильтрующей ткани требуется хорошо разработанная методическая процедура в сочетании с надёжной, непрерывно функционирующей электронной системой контроля.

В современных системах фильтрации через тканевые мешки содержится свыше 1 000 мешков. Повреждение небольшого количества мешков обычно незначительно влияет на эффективность фильтрации. Любую потенциальную проблему эффективно идентифицируют непрерывные системы мониторинга за пылью.

Итог по обзору главных недостатков и преимуществ мешочных фильтров:

Преимущества:

- Очень высокая эффективность отбора;
- Отбор продукта в сухих условиях;
- Более низкие капитальные затраты для более простых условий применения;
- Эффективный захват металла;
- В целом, повышенная эффективность удаления частичек кислотных газов, например, фторводорода, соединений селена и бора.

Недостатки:

- Генерируется поток твёрдых отходов, который не всегда возможно пустить в переработку;
- Повышенный расход энергии из-за более высокого перепада давления (CO_2 и

косвенные эмиссии от производства электричества);

- Нередко требуется охлаждение газа;
- Иногда требуется доведение до кондиции самой ткани;
- Иногда требуется дорогая ткань;
- Проблемы с точкой росы, приводящие к забиванию тканевых фильтров и корпуса фильтра;
- Воздух для очистки (обратный поток) иногда требуется подогревать;
- Некоторая пыль трудноудаляема, что приводит к падению давления до величины, выходящей за пределы проектной;
- Температура дымового газа на выходе очень низка для применения устройств для селективной каталитической обработки хвостовых газов (SCR), отчего сбрасываемые газы требуется подогревать, что увеличивает потребление электроэнергии на 5 – 10 % по сравнению с потреблением её в расплавляющей печи.

Предназначение

Фильтры с мешками приобрели широкую популярность в ряде секторов силикатного производства. В принципе, тканевые фильтры могут применяться во всех типах печей в пределах силикатного производства, как в новых, так и в уже существующих. Но во многих сегментах при производстве выбора они редко попадали в сферу интереса из-за относительно высоких требований по технической поддержке и потенциальной возможности ткани забиваться, что приводило к дорогостоящей замене фильтрующей среды. Хотя тенденция мешков к закупорке снижается за счёт включения скруббирующего этапа и присутствия низкого уровня содержания серы.

Из-за упомянутых осложнений считается более технически реальным подключать печи различной классификации к системе электростатического осаждения, а не к тканевым фильтрам. В современных системах большинство из вышеназванных проблем были преодолены, и имеется много примеров того, как хорошо работают фильтры с мешками в установках для варки тарного стекла, боросиликатного стекла и в других направлениях по производству стекла.

В секторе листового стекла контроль за давлением является критическим моментом, обеспечивающим высокое качество стекла, необходимое для многих вариантов

применения. Из-за высокого перепада давления, которое они создают, тканевые фильтры, очень сложны в техническом обслуживании, когда требуется создать определённое давление в печи и таким образом выработать стекло требуемого качества. По этой причине, кроме сложностей по созданию низкой температуры дымового газа, фильтры с мешками не являются наилучшим выбором для печей для варки флоат-стекла.

Обычно печи работают на газу с очень низкой концентрацией частичек кислоты и поэтому, при условии использования мешочного фильтра с хорошим техобслуживанием, этап скруббинга может считаться ненужным. Это значительно снижает капитальные и производственные затраты и облегчает рециклинг (повторную утилизацию) пыли. Но скруббинг (промывка) обычно способствует абсорбции и конденсации летучих фракций, т.е. соединений бора и селена.

Следующим затруднительным моментом при применении мешочных фильтров является то, что большинство печей требует тонкой регулировки давления, а присутствие мешочного фильтра с его большим перепадом давления, этому мешает. Современные материалы и системы регулировки сократили эту проблему.

Эта методика широко используется в применении к электрическим печам, вращающимся печам для каменной ваты, печам для варки фритты и, в большей или меньшей степени, к печам для варки тарного стекла. Более того, более низкие, по сравнению с электростатическим осаждением, капитальные затраты на мешочные фильтры могут оказаться более привлекательными, если учесть расходы на техобслуживание и риск забивки фильтра.

Экономика

В целом, инвестиционные затраты для систем с мешочными фильтрами могут быть ниже, чем для ЭСО, но текущие расходы могут быть выше. Но для больших объёмов газа конкретные затраты на мешочные фильтры в комбинации с этапом сухого скруббинга даже выше, чем для ЭСО с системой скруббинга. Это главным образом относится к случаю с печами для варки флоат-стекла или к ситуациям, где печи для варки тарного стекла соединены с единой системой контроля за загрязнением атмосферы.

Основными факторами, влияющими на стоимость мешочных фильтров, являются:

- Объём отходящего газа;

- Площадь поверхности фильтра (зависит от нужной степени эффективности (нужного КПД);
- Качество материала (стекловолокно, полиамид, полиимид, и т.д.);
- Доведение температуры отходного газа до рабочей температуры фильтра;
- Если требуется скруббирование, то эффективность скруббирующей установки и тип скруббирующего реагента (гашёная известь, бикарбонат натрия, карбонат натрия);
- Характеристики установки (пространственная доступность, схема расположения, необходимая подготовка участка, и т.д.);
- Стоимость топлива, электричества, воды и рабочей силы;
- Стоимость утилизации пыли (если повторная переработка невозможна).

В расчёт брали эмиссию с концентрацией пыли в диапазоне $<5 - 10 \text{ мг/нм}^3$ в сочетании с обычным уровнем начальной эмиссии в количестве $800 - 1000 \text{ мг/нм}^3$ вещества SO_x для печей, работающих на газе, и допускали, что эффективность удаления ограничена и составляет 30 % для SO_x в условиях сухого скруббинга гашёной известью, если нет указаний на иное. Данные по расчётной стоимости приводятся ниже.

Производство флоат-стекла

- Расчётная стоимость суммарных капиталовложений в мешочный фильтр в сумме с этапом сухого скруббинга эквивалентна 180 миллионам руб. для печи, работающей на газе, мощностью 500 т/сут, когда в сочетании с мешочным фильтром применяется полусухое скруббирование.
- Производственные расходы оцениваются как находящиеся в диапазоне от 42 миллионов руб. до 56 миллионов руб. в год, в зависимости от типа топлива и возможности рециклинга пыли с фильтра.
- Расчётные удельные затраты на тонну расплавленного стекла могут варьировать от 420 руб. до 600 руб. на т расплавленного стекла, в зависимости от топлива и с учётом общей утилизации пыли с фильтра.
- Удельные затраты могут варьировать от 720 руб. до 1 300 руб. на килограмм удалённой пыли, в зависимости от мощности печи и рабочих условий (тип горючего и утилизация пыли с фильтра).

Производство тарного стекла

- Суммарные инвестиционные затраты на систему контроля за загрязнением воздуха (мешочный фильтр + этап сухого скруббинга) могут варьироваться между 72 до 120 миллионов руб. в зависимости от размера печи (200-600 т/сутки).
- Производственные затраты могут варьировать от 10 миллионов руб. до 30 миллионов руб. в год, при этом самые низкие затраты ассоциируются с 200 т/сутки и рециклингом отфильтрованной пыли, а более высокие затраты связаны с печью, работающей с полной утилизацией пыли с фильтра.
- Удельные затраты на тонну сваренного стекла могут варьировать от 180 руб. до 440 руб., причём самые низкие затраты ассоциируются с крупной печью (600 т/сутки) и рециклингом пыли с фильтра, а более высокие удельные затраты – с печью, работающей с производительностью 290 т/сут и утилизацией пыли с фильтра.
- Удельные затраты могут варьировать от 80 руб. до 140 руб. на килограмм удалённой пыли и от 40 руб. до 70 руб. на килограмм удалённого SO₂, в зависимости от установки и рабочих условий.
- Более высокие инвестиционные затраты, порядка 140 миллионов руб., ожидаются для систем контроля за загрязнением воздуха с мешочными фильтрами + этапом полусухого скруббинга, применяемых в печи с производительностью 350 т/сут. В этом случае удельные затраты на тонну сваренного стекла составляют порядка 300-400 руб.

Производство стеклянной посуды

- Суммарные инвестиционные затраты на системы контроля за загрязнением воздуха (мешочные фильтры + этап сухого скруббинга) могут варьировать между 48 и 70 миллионами руб., в зависимости от размера печи (30-200 т/сутки).
- Производственные затраты могут варьировать между 3,9 миллиона руб. и 10 миллионами руб. в год, при этом самое меньшее значение ассоциируется с малоразмерной печью (30 т/сут), а более высокие значения ассоциируются с более крупной печью (180 т/сут), обе с этапом рециклинга пыли с фильтра.
- Удельные затраты на килограмм удалённого загрязняющего вещества могут варьировать от 140 до 2100 руб. на килограмм удалённой пыли и от 70 до 110 руб. на

килограмм удалённого вещества SO_2 , в зависимости от производительности установки и рабочих условий.

На рис. 4.5 показаны некоторые расчётные затраты для мешочных фильтров плюс сухие скрубберы, применяемые в печах для варки тарного стекла.

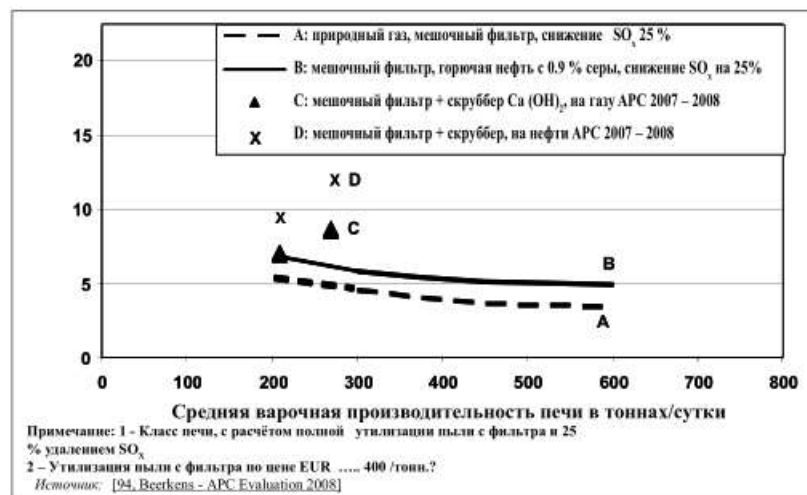


Рис 4.5: Расчётная стоимость сухого скруббирования в комбинации с мешочными фильтрами к печам для варки тарного стекла, с расчётом на полную утилизацию пыли с фильтра и 25 %-ное удаление вещества SO_x .

На Рис. 4.5, удельные расходы по печи, работающей на мазуте - при допущении, что процент снижения эмиссии SO_2 тот же - оказываются на 30 – 35 % выше, чем для печей, работающих на газе, главным образом из-за более дорогостоящей утилизации сернистой пыли с фильтра и повышенной стоимости гашёной извести (из-за более высоких уровней концентрации SO_2 в газах, отходящих от печей, работающих на мазуте, требуется больше гашёной извести). В последнее время эти затраты увеличились из-за более высоких капитальных (инвестиционных) затрат на установку (сам фильтр, скруббинг и манифольды), как показано на Рис. 4.5 для установок C и D. Обычные затраты на более мелкие установки по варке стекла находятся в диапазоне 360-600 руб. на тонну расплавленного стекла, но иногда можно ожидать даже более высоких затрат. Для установок производительностью свыше 400-500 т/сутки затраты находятся в диапазоне 210-300 руб. на тонну сваренного стекла. Эти расходы касаются газовых печей, на которых пыль с фильтров собирается и утилизируется на полигоне твёрдых отходов. Удельные расходы вырастают на 60-90 руб. на тонну сваренного стекла в случае с печью, работа-

ющей на мазуте и утилизации пыли с фильтра.

В Таблице 4.6 даны примеры фактических затрат по трем печам, производящим специальное стекло в различных рабочих условиях.

Таблица 4.6: Примеры фактической стоимости мешочных фильтров, применяемых в секторе специального стекла на трех печах.

	Печь No 1 (¹)	Печь No 2
Тип печи	Электрическое стекловарение	На кислороде
Топливо		Природный газ
Мощность печи	86 т/сут	50 т/сут
Фактическая скорость вытягивания	80 т/сут	40 т/сут
Тип стекла	Боросиликатное прозрачное	Боросиликатное
Стеклобой	70 %	60 %
Специфические случаи потребления энергии (²)	Стекло с характеристикой 4,18 ГДж/т (усреднённое по двум печам)	Стекло 6,72 ГДж/т
Температура перед фильтром	80 °C	105 °C
Тип сорбента	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂
Количество сорбента	3 кг/час	15 кг/час
Повторное использование пыли с фильтра в составе партии	0 %	0 %
Потребление энергии для фильтрационной системы, включая вентилятор	20 кВт/ч	34 кВт/ч
Инвестиционные затраты (³)	26 миллионов руб.	90 миллионов руб.
Срок амортизации	10 лет	15 лет
Производственные расходы	3 миллиона руб./год	5 миллионов руб./год
Амортизационные расходы	3,6 миллиона руб./год	7,4 миллиона руб./год
Суммарные годовые расходы	6 миллионов руб./год	12 миллионов руб./год

	Печь No 1 (¹)		Печь No 2
Расчётная стоимость на тонну стекла	240 руб./т стекла		850 руб./т стекла
Уровни выбросов попутных газов (AELs)	Средние значения за полчаса		Средние значения за полчаса
мг/нм ³ , сухой газ	Пыль: 1.2 (⁴)	Пыль: 0.8 (⁴)	Пыль: 0.3 (⁴)
	SO _x : 0.7	SO _x : 4.7	SO _x : 5.6
	HCl: 5.1	HCl: 22.0	HCl: 6.9
	HF: 0.3	HF: 0.3	HF: 0.45
кг/т стекла	Пыль: 0.0017	Пыль: 0.0008	Пыль 0.0027
	SO _x : 0.037	SO _x : 0.013	SO _x : 0.054
	HCl: 0.028	HCl: 0.061	HCl: 0.066
	HF: 0.0018	HF: 0.0009	HF: 0.0043
(¹) Данные относятся к установке с двумя электрическими печами; указанная производительность – это сумма по двум печам.			
(²) Представленные данные относятся к точке использования и не скорректированы на первичную энергию.			
(³) Данные о затратах относятся к системе фильтрации и сухому скруббингу. Данные эти относятся к годовичному сроку работы системы контроля за загрязнением воздуха и вовсе необязательно представляют текущие расходы.			
(⁴) Низкие значения концентраций связаны с точечными замерами, которые могут быть связаны с особенно благоприятными условиями. Неопределённость метода измерения обычно имеет тот же порядок величины, что и измеренная величина.			

Побудительный мотив для воплощения идей

Самая важная движущая сила – это соответствовать допустимым предельным значениям эмиссии.

Дополнительным фактором в побудительной силе, приводящей к установке любой системы мешочных фильтров в сочетании с полусухим скруббингом, могло бы быть понижение эмиссии металлов (Pb, Se, и т.п.), и/или газообразной эмиссии (SO₂, HCl, HF, и т.д.). Когда металлы связываются с эмиссией пыли, то хорошим решением в такой си-

туации могут быть мешочные фильтры. Для летучих металлов, таких как селен и мышьяк, мешочные фильтры, работающие при низких температурах, способствуют хорошему улавливанию металлов.

Пример с установками

В последние годы для стекла было смонтировано более 16 установок с мешочными фильтрами, а в других секторах по производству стекла их было намного больше. В России только в одной установке по производству листового стекла применяется мешочный фильтр.

4.4.1.4 Механические пылеуловители

Описание

Термин «механические пылеуловители» используется для описания методики, в которой используются механические силы (гравитация, инерция, центробежные) для отделения пыли от потока газа, например:

- циклонно-вращательное движение, передаваемое газу и пыли, отделяемой под действием центробежной силы;
- гравитационные осадители – газ входит в большие камеры, снижая скорость и заставляя пыль выпадать в осадок;
- пыльные камеры с отбойными перегородками - заставляют газ менять направление и осаждают пыль;
- жалюзийные заслонки малых перегородок расщепляют, и меняют направление потока воздуха, заставляя пыль оседать.

Эффективность этой методики по отбору пыли мала по отношению к малым частицам, особенно для диаметров менее 10 мкм, и из-за того, что по большей части встречаются именно малые размеры частиц, эта методика очень редко используется. Исключением является циклон, который можно найти в некоторых случаях применения, в особенности на этапе предварительной обработки, используемом в других методиках. Ниже приводятся сведённые воедино рабочие принципы и основные преимущества и недостатки. Но здесь циклоны рассматриваются не очень подробно, так как не считают-

ся эффективными для борьбы с выбросами в печах.

Циклон – это устройство для очистки газа внутри. Пыль отделяется от потока газа, когда направление потока газа меняется, а пыль продолжает движение в прежнем направлении по инерции, после чего оседает на отборочной поверхности. Имеется два вида циклонов: на реверсивный поток и на прямой. Наиболее распространены циклоны на реверсивный поток, состоящие из цилиндрического корпуса с коническим основанием, бункера для отбора пыли с входными и выходными отверстиями. Имеется два основных типа циклонов на реверсивный поток: тангенциальные и осевые. Эта классификация возникает вслед за геометрией входного отверстия.

Входящий поток газа отводится по каналам в воронку, и его кольцевое движение поддерживается центробежной силой. Частицы с критическим размером выбрасываются из входной спирали в более широкое кольцевое проходное пространство, и располагаются на стенках циклона. Поток воздуха пыль несётся на сборочный бункер, у основания конуса поток газа меняет направление на обратное, и чистый газ возвращается по центру циклона по выходной спирали.

В целом, эффективность циклона увеличивается при соответствующем увеличении таких величин, как: плотность пылевидного материала, длина циклона, количество оборотов газа, отношение диаметра корпуса к выходному отверстию, диаметр частиц, количество пыли и гладкость стенок циклона. Эффективность снижается, когда снижается: скорость газа, плотность газа, температура, диаметр циклона, диаметр на выходе газа, диаметр на входе газа, ширина канала для входа газа и площадь для входа газа.

Циклоны используются во многих отраслях промышленности, и особенно полезны для улавливания частиц диаметром более 10 мкм. В зависимости от конструкции, среднеразмерные и крупные циклоны обеспечивают эффективность при отборе на уровне 45 – 90 % при размере частиц 10 мкм и 5 – 30 % при размере 1 мкм. Обычно они располагаются до того, как будут использованы более дорогостоящие технологии, с целью удаления из газа грубых частиц и снижения, таким образом, пылевой нагрузки, поступающей на главное очистное оборудование.

Свод главных преимуществ и недостатков, связанных с использованием циклонов:

Преимущества:

- Низкие капитальные и производственные затраты (включая техобслуживание);
- Умеренный перепад давления;
- Требуют мало места, по сравнению с другой техникой;
- Способность оставаться в рабочем состоянии при высокой пылевой нагрузке;
- Возможность использования с широким диапазоном разновидностей газов и пыли;
- Могут работать при высоких температурах и давлении;
- При изготовлении могут применяться материалы в широком диапазоне.

Недостатки:

- Невысокая эффективность при отборе малых частиц;
- Трудно удалять легкие материалы и материалы игольчатой формы;
- Может происходить закупоривание, если перейдена точка росы;
- Предотвращение взрыва горючих материалов затруднено;
- Потенциальные проблемы с абразивной пылью.

Предназначение

Настоящая методика редко используется в одиночку в рамках стекольной промышленности, за исключением сектора минеральной ваты, где циклоны нередко используются в комбинации с другими препятствующими загрязнению среды системами, очищающими сбрасываемые газы от выбрасываемых с выходящим потоком веществ. В целом циклоны используются для удаления грубых материалов с целью уменьшения количества пыли, поступающего на главную пылезадерживающую систему.

4.4.1.5 Высокотемпературные фильтрующие средства

Описание

Одной из проблем с обычными мешочными фильтрами является необходимость поддерживать температуру сбрасываемых газов в пределах приемлемого для материала фильтра диапазона. Когда температура повышается выше верхнего предела, фильтр должен быть обойдён или газ охлаждён, например – растворением. Обычные материалы для фильтра имеют температуру 120 – 180 °С, а с некоторыми материалами она доходит

до 250 °С (стекловолокно). Стоимость материалов увеличивается значительно в том случае, если они могут работать при температуре свыше 180 °С. В некоторых вариантах применения используется высокотемпературная среда, но такие фильтры не являются обычными мешочными, и по конструкции они, как правило, похожи на свечку-фильтр.

Высокотемпературные фильтры с успехом применялись для предотвращения выбросов из вращающихся печей для каменной ваты, но они больше не используются или из-за высокой стоимости, или по причине закрытия завода. Наиболее широко распространёнными высокотемпературными фильтрами для удаления пыли, используемыми в других отраслях промышленности, являются керамические фильтры или фильтры-свечки из высокотемпературной ваты. Эти фильтры выполнены из алюмо-силикатных материалов и могут использоваться до температур 1000 °С. Сейчас появился новый тип фильтров, в котором включена технология керамических фильтров со встроенными катализаторами для удаления NO_x .

Полученные экологические выводы

С применением высокотемпературных керамических фильтров была достигнута концентрация пыли $<10 \text{ мг/нм}^3$. Имеется более поздняя информация о применении более совершенных керамических и каталитических фильтров для удаления загрязняющих веществ.

Сводные данные о главных преимуществах и недостатках, связанных с применением высокотемпературных фильтров:

Преимущества:

- Могут работать при высокой температуре, вплоть до 1000 °С;
- В целом, стойкие к кислотным газам;
- Высокая эффективность фильтрации; до 99.9 %;
- Нет необходимости снижать температуру отходящих газов, смешивая их с воздухом;
- Системы отбора тепла могут быть установлены после фильтра (очищенный газ), находящегося при высокой температуре.

Недостатки:

- Жёсткие и дорогостоящие материалы;

- Высокая стоимость техобслуживания и ремонта повреждений;
- Низкая химическая устойчивость к фторводороду при высокой влажности и низких температурах.

4.4.1.6 Влажные скрубберы

Описание

Системы влажного скруббинга могут использоваться для контроля как за газообразными, так и за аэрозольными эмиссиями, хотя их применение более эффективно для удаления газообразных загрязняющих веществ. В то время как базовая технология является одинаковой для обоих случаев, конструкторские критерии по удалению аэрозольной и газовой эмиссий сильно отличаются. Но для снижения капитальных затрат системы влажного скруббинга нередко используются для контроля за смешанными эмиссиями – аэрозолей и газов. Конструкторский проект неизбежно является компромиссом, но может быть и ударным проектом, где отдельные системы контроля являются непропорционально дорогостоящими. Системы влажного скруббинга могут также быть чувствительны к закупориванию нерастворимыми частицами, в результате чего образуется илудий в отходы раствор. Эта методика более подробно описывается в Разделе 4.5.6.1.2, посвящённом нерастворяющим операциям при варке минеральной ваты, особенно в случаях применения в зоне формования, а в Разделе 4.4.3.4 – для удаления кислотных газов (SO_x , HCl , HF , соединений хлора, и т.п.).

В некоторых случаях применения могут быть рассмотрены скрубберы завихряющего действия (вентури). Эти системы имеют высокое давление и, соответственно, большое потребление энергии и производственные расходы. И, несмотря на то, что с помощью скрубберов вентури можно достичь большой эффективности в удалении пыли, они в большинстве случаев считаются технически и экономически мало пригодными из-за масштабности процессов по производству стекла. Но удаление пылевой эмиссии влажными скрубберами может найти применение в некоторых специальных операциях, в особенности, если требуется удаление также и газовой эмиссии. Для большинства печей для варки стекла влажный скруббинг не выглядит как полезная методика или наиболее оптимальная методика для эффективного удаления аэрозольного вещества.

Достигнутые экологические выгоды

Оперативные данные, характеризующее применение систем влажного скруббинга при варке обычного стекла, отсутствуют.

Оперативные данные по применению влажного скруббинга для варки специального стекла в электрических печах приведены в Разделе 4.4.3.4

Суммарные данные по преимуществам и недостаткам, связанным с использованием влажных скрубберов:

Преимущества:

- Одновременное удаление твёрдых и газообразных загрязняющих частиц;
- Необходимость меньшего пространства.

Недостатки:

- Образование потока сбросовой воды, которая требует очистки;
- Высокая эффективность только при высоких перепадах давления и высоких уровнях потребления энергии;
- Трудности и большие затраты на извлечение пыли/грязи для повторного использования их в рецептуре по шихте.

Экономика

Ниже приводится итоговая оценка производственных и инвестиционных затрат на применение систем влажного скруббинга в печах для варки стекла:

- Для печей, работающих на кислороде, с производительностью 100 – 150 т/сутки и производящих Е-стекло, капитальные затраты оцениваются в 159 миллионов руб., а производственные годовые затраты - 17 миллионов руб. и специальные затраты – в диапазоне 840-1 290 руб. на тонну сваренного стекла, исходя из стоимости утилизации пыли - в диапазоне 6 000-24 000 руб. за тонну пыли.

- Для обычных воздушно/газовых печей с производительностью 100 - 150 т/сутки, производящих Е-стекло, капитальные затраты оцениваются в 180 миллионов руб., при ежегодных производственных затратах 18 миллионов руб. и специальных затратах в диапазоне 1 000-1 200 руб. на тонну сваренного стекла, исходя из стоимости утилизации пыли или грязи - в диапазоне 6 000-24 000 руб. за тонну пыли.

4.4.2 Окиси азота (NO_x)

Термин “окиси азота” (NO_x)’ включает нитрит азота (NO) и диоксид азота (NO_2), выражаемый как эквивалент NO_2 . Окись одновалентного азота (N_2O) не является нормальным загрязнителем в силикатной промышленности и не входит в термин ‘ NO_x ’. Три главных источника для эмиссии NO_x в процессе варки это: сырьевые материалы, топливо и тепловые NO_x . Четвёртый источник – это быстрые NO_x (от реакции азота по сложному маршруту с краткосрочными радикалами углеводородов) – является сравнительно незначительным.

Когда нитраты присутствуют в материалах шихты, NO_x будут выделяться по мере расстекловарения материала. В целом, азотосодержащие компоненты, в основном, выделяются как NO_x и не встраиваются в стекло. Например, когда расплавляется нитрат натрия (NaNO_3), натриевый компонент встраивается в стекло как Na_2O , а оставшаяся часть компонента высвобождается в виде газов (NO_x , O_2 и N_2).

Топливные NO_x возникают из окисления азота и азотосодержащих компонентов, присутствующих в топливе, но общее поступление их незначительно по сравнению с тепловыми NO_x . При горении природного газа, топливные NO_x фактически равны нулю. Но в природный газ может быть добавлен азот для регулировки индекса Воббе и теплотворной способности. Это особенно важно для тепловых NO_x в печах, работающих на кислороде, и обсуждается это в Разделе 4.4.2.5.

В силу присутствия высоких температур в варочных печах (до 1650°C в печи и до 2500°C в пламени) основным источником NO_x является генерируемые термически NO_x , возникающие из окисления азота в атмосфере горения при температуре свыше 1300°C . Основным источником азота является воздух в среде горения, азот природного газа (в случае горения кислородного топлива) и утечки воздуха в печь. Преобладающим видом является NO (90 – 95 %), образующаяся в результате суммарной реакции $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$. Уровни NO_2 очень низкие, и большинство NO_2 , замеченные в выбросах, возникают в результате атмосферного окисления NO . Условия в печи таковы, что оксид одновалентного азота (N_2O) в эмиссии отсутствует.

В печах, обогреваемых электричеством, NO_x возникают только при разложении

шихты на компоненты. В печах для каменной ваты общая атмосфера является восстанавливающей и эмиссия NO_x в целом является очень низкой. Эмиссия может возникать, если установлена система форсажной камеры дожигания. Назначение такой системы – окислять моноокись углерода и сероводорода.

Методики, которые улучшают эффективность потребления энергии, приводят, в целом, к снижению общей эмиссии NO_x , выраженной в кг NO_x /т сваренного стекла. Но концентрация NO_x не всегда снижается, в особенности, если объёмы сбрасываемого газа тоже низки. Снижение тепловых NO_x есть результат комбинации факторов, но в принципе это результат снижения температуры и объема топочного воздуха. Методика, понижающая эмиссию NO_x и предназначенная главным образом для снижения энергопотребления, изложена в Разделе 4.8.

4.4.2.1 Модификации процесса горения

Описание

Образование тепловых NO_x определяется серией химических реакций и, с точки зрения качества, определяется приводимой ниже формулой.

$$\frac{d[\text{NO}_x]}{dt} = \frac{A}{T^{0.5}} \exp\left(-\frac{B}{T}\right) \times [\text{N}_2] \times [\text{O}_2]^{0.5}$$

Где A и B являются константами скорости реакции, T – температура пламени (К) и t – время существования при температуре T (с). Все газы (NO_x , N_2 , O_2) приводятся в концентрациях (гмоль/м³).

Поэтому, главные факторы, влияющие на формирование NO_x : температура пламени, содержание кислорода в зоне реакции и время нахождения азота в высокотемпературной зоне пламени. Основные меры по регулированию NO_x направлены на изыскание возможностей по созданию условий наименее благоприятных для формирования NO_x во избежание одновременного присутствия азота и кислорода при высоких температурах. Основные методики, снижающие тепловые NO_x , суммируются ниже.

а. Редуцированный воздух: пропорция топлива

Протечки воздуха в печь, особенно вокруг сопел горелок и через питатель периодического действия, могут привести к повышению уровня NO_x . Блок горелки относительно легко загерметизировать; также могут быть приняты меры, предотвращающие поступление воздуха через область периодической подачи шихты. Эти меры относительно дешёвы и абсолютно эффективны. Снижение NO_x чётко зависит от начального уровня, но может достигать до 10 %. В целом печи работают с запасом воздуха от 5 до 10 % (т.е. превышение кислорода составляет 1-2 %), чтобы обеспечить полное сгорание. Уменьшая соотношение воздух/топливо до уровней, близких к стехиометрическим уровням, можно достичь значительного снижения NO_x , также результатом применения методики может стать значительная экономия энергии; хотя небольшой избыток воздуха обычно всё же требуется во избежание значительных потерь очистительного реагента из партии загрузочной шихты и обеспечения качества стекла. Для эффективной отработки методики будет необходимо отслеживать уровень NO , CO и O_2 в сбрасываемом газе. Если горение является достехиометрическим (с недостатком воздуха), то уровни монооксида углерода и износа огнеупора могут увеличиться и окислительно-восстановительный уровень стекла может измениться, что повлияет на качество стекла.

Изменения такого типа должны выполняться тщательно и поэтапно, чтобы избежать проблем и добиться наилучших результатов. В некоторых случаях (например, в рекуперативных печах), если считается, что в целом в печи идёт стехиометрическое горение, горелки на некоторых позициях могут гореть при излишках топлива в самых горячих частях печи, а другие горелки могут гореть при небольшом избытке воздуха в более холодных частях. В целом, соотношение будет ближе к стехиометрическому.

в. Понижение температуры воздуха для горения

Температура пламени может быть снижена за счёт понижения температуры предварительного нагрева воздуха для горения. Например, в рекуперативных печах температуры воздуха для горения значительно ниже, чем в регенеративных печах, что приводит к более низким температурам пламени и более низким концентрациям NO_x . Но результатом более низких температур в предварительном нагреве является снижение эффективности печи (меньшее удельное производство стекла), снижение эффективности сгорания топлива и таким образом повышение потребности в топливе и потенциальное

увеличение эмиссии (кг/т стекла) веществ NO_x , CO_2 , окислов серы, аэрозольной пыли и т.п. Таким образом, маловероятно, чтобы эта методика была прибыльной как экономически, так и экологически.

с. Ступенчатое сжигание

Если топливо и воздух/кислород вводятся в одном и том же месте горелки, то создаётся пламя с горячей кислородной первичной зоной, а дальше находится вторичная более холодная зона. Большая часть NO_x производится в самой горячей зоне. Поэтому, за счёт снижения пропорции воздуха или топлива, поступающего в горелку, снижается максимальная температура и образование NO_x . Оставшаяся часть топлива – воздуха или кислорода – добавляется в зону горения позже. Применение этого принципа – это основа ступенчатого горения, как с воздухом, так и с топливом.

Ступенчатая подача воздуха влечёт за собой достехиометрическое горение, а последующая добавка воздуха или кислорода в печь завершает горение. Имеется несколько путей достижения ступенчатого горения с воздухом или кислородом. Первые эксперименты со ступенчатой подачей горячего воздуха вызывали проблемы. Техника ступенчатого вдувания воздуха (CBV = BAS) и воздуха обогащённого кислородом (CBVOK = OEAS) были разработаны в США.

Ступенчатое сжигание топлива основывается на следующем принципе: в горловой части отверстия развивается пламя от импульсного впуска небольшого количества газа (около 10 % от всей энергии). Вторичное пламя перекрывает корневую часть пламени, сокращая содержание кислорода в первичном пламене и его температуру в центре. Поэтому образование NO_x снижается. Эта методика широко применялась в силикатной промышленности и широко используется в большинстве обычных печей.

d. Рециркуляция отходящего газа

Отработанный газ из печи может повторно нагнетаться в пламя, чем снижается содержание кислорода и, следовательно, температура и эффективность образования NO_x . В стекольной промышленности трудности применения этого метода наблюдались тогда, когда он применялся в полном масштабе. Инновация в применении, основанная на внутренней рециркуляции дымовых газов (называемая “беспламенное сжигание” или

“беспламенное окисление”), была задействована с 2007 г. на рекуперативных печах, производящих специальное стекло (для ламп) на установке Осрам в Аугсбурге, Германия. Применяемая система основывалась на использовании специальных горелок с технологией, имеющей торговую марку “Глас-ФЛОКС” (“Glass-FLOX[®]”) с автоматической рециркуляцией отработанного газа. В этом случае рециркуляция дымовых газов осуществляется непосредственно в камере сжигания; сжигаемые газы используются для разбавления дымов по методике ФЛОКС (FLOX[®]). При применении оказалось, что снижение эффективности образования эмиссии NO_x находится в диапазоне 46-59% от первоначального значения. Но этот вариант применения всё ещё считается нововведением и поэтому рассматривается в Разделе 6.1.

е. Горелки с низкими NO_x

Этот термин используется для обозначения спектра специальных решений или систем горелок компаний по производству стекла, предназначенных для минимизации образования NO_x . Эти системы могут, в принципе, меняться, а также могут включать ряд особенностей, включая и часть тех, что описаны выше и тех, что приводятся ниже. Основные свойства, характерные для горелок с низкими NO_x , это:

- Замедленное смешивание топлива и воздуха с целью понижения пиковых значений температуры пламени (формирование пламени);
- Минимальная скорость нагнетания, которая всё же позволяет закончить сжигание (замедленное по времени, но законченное сжигание);
- Повышенная (излучением) эмиссионность пламени, с оптимизацией передачи тепла на сваренное стекло. Поэтому более низкий уровень температур всё ещё обеспечивает нужный уровень энергии для варки стекла высокой прозрачности (эффективная эмиссия тепла);
- Различные насадки и конструкции насадок позволяют на каждой из горелок генерировать многочисленные струи из топлива; некоторые струи защищены от воздуха другими струями, создавая тем самым сажу для улучшения передачи тепла и охлаждения пламени, с последующим снижением образования NO_x . Производство сажи может представлять потенциальную проблему для качества стекла;
- Полное сжигание при минимальном соотношении воздух/топливо.

Достигнутые экологические выгоды

Знаковое снижение эмиссии, которого можно достичь с применением модификаций процесса горения, приводится в описании к каждой методике. Эти методики не являются сборными, так как в них имеются различные способы достижения того же набора целей. Поэтому, 10 % снижения, обеспечиваемые одной методикой, нельзя просто сложить с 10 % снижения, обеспечиваемыми другой методикой. Общее снижение эмиссии с применением оптимизированных систем горения широко варьируется от менее, чем 10 % до более, чем 70 %. Например, для тех случаев, где или было проведено не много работы или вообще никакой работы не было проведено с применением этой технологии, в большинстве случаев применения снижения выбросов можно было бы ожидать в объёме NO_x на 40-60 %.

Фактические уровни эмиссии, достигнутые с этими технологиями, значительно варьируются, в зависимости от точки старта, возраста и конструкции печи и особенно от того, насколько жёстко они используются и отслеживаются. Большого эффекта можно достичь и при применении малых мер, если их применить правильно. За последние десять лет в стекольной промышленности наблюдался значительный прогресс в деле минимизации эмиссии NO_x за счёт модификации процесса горения и того, что на эту работу было затрачено очень много ресурсов.

Собранные с 2005 года данные, касающиеся применения первичных технологий в печах для тарного стекла, показаны в Таблице 3.15, для газовых печей средняя концентрация по NO_x даётся как 1000 мг/нм^3 .

Эффекты от взаимовлияния

Главный эффект от взаимовлияния, связанный с применением большинства из описываемых технологий, - это эмиссия угарного газа (CO) вследствие местных условий достехиометрического горения в печи, с потенциальными проблемами в рекуператорах и регенераторах, где CO главным образом и окисляется в CO_2 .

Со временем в верхней части регенераторов может произойти горение, вызывающее повышение температуры, которая генерирует эмиссию SO_x более высокого уровня по причине явления летучести/разложения сульфатов, отложившихся на поверхности

регенераторов.

Местные окисляющие условия также могут быть причиной увеличения испарений со сваренного стекла при более высоких уровнях аэрозольной эмиссии. Более того, может иметь место раннее разложение сульфатов, используемых в партии шихты, с последующим снижением эффективности процесса осветления и с более высокими уровнями эмиссии.

Оперативные данные

В целом ванная печь с торцевыми горелками даёт меньшую эмиссию NO_x (См. Раздел 4.2), а технология, описываемая в данном разделе, в целом более эффективна для печей с торцевыми горелками. В секторе тарного стекла в печах с торцевыми горелками достигли уровней эмиссии $700 - 1100 \text{ мг/нм}^3$ и $0,9 - 2 \text{ кг/т}$ стекла. Для торцевых печей значения концентрации были получены такие: $550 - 800 \text{ мг/нм}^3$ и менее чем $1,5 \text{ кг/т}$ стекла.

Результаты по рекуперативным печам более вариативны, но причиной этому может быть более разнообразное использование этих печей. Результаты, сравнимые (или иногда более низкие) с теми, что получены для регенеративных печей, были получены на печах для тарного стекла и для непрерывной стеклянной нити.

В целом, эмиссия угарного газа (измеренная на дымовой трубе), связываемая с применением технологии модификации горения, по предположениям должна быть ниже 100 мг/нм^3 .

Уровень эмиссии CO в размере 30 мг/нм^3 , как сообщают, относится к рекуперативной печи с производительностью варки 400 т/сутки , работающей на природном газе и предназначенной для варки тарного стекла. В печи используются горелки с низкой эмиссией NO_x , достигающей уровня 500 мг/нм^3 (1 кг/т). Значения концентрации эмиссий и CO , и NO_x являются результатом точечных измерений.

Не рассчитывают, что применение первичных технологий в секторе фритты даст те же результаты, что и в других секторах, в силу особых характеристик малых печей, которые обычно работают в окисляющей среде (избыток воздуха для сжигания, обогащение кислородом), а также при применении этих технологий с рядом рецептов шихты, имеющих значительное содержание нитратов (см. Раздел 3.10.2.2).

Итог по главным преимуществам и недостаткам, связанным с применением модификаций процесса горения:

Преимущества:

- Низкие относительные стоимости.
- Для большинства типов печей достижимо значительное снижение эмиссии NO_x .
- Методика применима как к новым, так и к старым печам (хотя иногда они только что после ремонта).
- Эти методики нередко могут являться результатом значительных экономий энергии.
- Низкие температуры в печи и особое использование энергии также приводят к снижению общей эмиссии.

Недостатки:

- Для получения наилучших результатов требуется значительная экспертиза.
- Для получения наилучших результатов, возможно, понадобится модифицированная конструкция печи
- Следует заботиться о предотвращении проблем, касающихся качества стекла, из-за изменений в редоксе.
- Во избежание предотвращения повреждения огнеупорной кладки следует контролировать уровни CO. Более того, уровни CO должны контролироваться на предмет излишнего испарения из сваренного стекла, а также во избежание преждевременного разложения одеяла из загруженной шихты.
- Мощная восстановительная атмосфера может вызвать увеличение эмиссии SO_2 из-за явлений увеличенного испарения и разложения.

В Таблице 4.7 представлены некоторые примеры уровней эмиссии NO_x , связанной с применением в варочной печи технологии модификаций горения.

Таблица 4.15: Примеры уровня эмиссии NO_x , связанной с применением модификаций горения природного газа

	Гарное стекло (¹)	Гарное стекло (²)	Листовое стекло (²)
Тип печи	Перекрёстное горение, регенеративное	Горение с торцев, регенеративное	Перекрёстное горение, регенеративное

	Тарное стекло (¹)	Тарное стекло (²)	Листовое стекло (²)
Общая производительность печи	350 т/сут	300 т/сут	800 т/сут
Фактический темп вытягивания	275 т/сут	297 т/сут	700 т/сут
Дополнительный электроподогрев	Нет	Да	Да
Тип стекла	Флинт	Янтарное	Флоат-стекло
Стеклобой	60 %	72 %	35 %
Тип первичных измерений	Пониженное соотношение топлива/воздух, уплотнение измерителя; конструкция печи, модификация горелки	Пониженное соотношение топлива/воздух, уплотнение измерителя; конструкция печи, модификация горелки, регулировка лямбда	Пониженное соотношение топлива/воздух, уплотнение измерителя; конструкция печи, модификация горелки, регулировка лямбда
Удельное потребление энергии	3.78 Дж/т стекла	4.21 Дж/т стекла	5.20 Дж/т стекла
Уровни выброса попутных газов (эмиссия NO_x)			
мг/нм ³ , сухое, газ при 8 % O ₂	909	507	750
кг/т сваренного стекла	1.42	0.82	1.54
⁽¹⁾ Печь оборудована предварительным подогревом шихты и стеклобоя ⁽²⁾ Печь оборудована системой отбора тепла.			

Предназначение

Большинство из описанных технологий может применяться как с существующими, так и с новыми печами. Но преимущества от использования этих технологий могут быть полностью реализованы только тогда, когда они скомбинированы с оптимальной конструкцией и геометрией печи, что возможно только для новых печей.

Успех, достигнутый с применением этих технологий, может также зависеть от степени опытности оператора и от научного ресурса. Для оптимизации работы систем требуется длительный период последовательных экспериментов и наблюдений, а также технические экспертизы и практика на хорошем уровне. Для тех операторов, которые не обладают таким ресурсом, консультанты-специалисты предлагают услуги по модификации процесса горения и оптимизации работы. Такая исследовательская работа, конечно же, удорожает технологию.

Степень внедрения этих технологий также может зависеть от требований к продукту и процессу. Например, в производстве некоторой стеклянной посуды или тарного стекла (роскошные бутылки или флаконы) требования к качеству продукта определяют такие требования к стеклу как: высокоокисленное и очень прозрачное.

Это влечёт большее время выдержки, повышенные температуры и применение окисляющих реагентов, каждый из которых способствует большей эмиссии NO_x , а также ограничению применения некоторых из описываемых выше технологий. Этот пример более подробно обсуждается в приводимом ниже Разделе 4.4.2.2.

Во всех секторах промышленности существует тенденция к непрерывному усовершенствованию процесса путём использования приведенных технологий, когда это возможно; а также к попытке определения уровней эмиссии, которых можно ожидать в будущем при использовании основных технологий.

Экономика

В расходы входит закупка регулируемых горелок, более дорогостоящих огнеупорных материалов для регенераторов, кислородных датчиков (для печей с поперечным (поперечным направлением пламени) горением требуется большее количество кислородных датчиков и более сложная система контроля по сравнению с регенеративными печами с торцевыми горелками), устройства регулировки соотношения воздух-топливо, техобслуживание, рабочая сила для проведения модификации и контрольной проверки горелок.

Замена горелок и смена блоков в горелках обычно составляет 3-6 миллионов руб. для печей с торцевыми горелками и 18-24 миллиона руб. для печей с поперечным направлением пламени.

Стоимость системы с кислородными датчиками обычно составляет 1,2-1,5 миллиона руб. для торцевых печей и 3,6-7,5 миллиона руб. для печей с поперечным направлением пламени.

В случае изменения конструкции печей учитывались дополнительные затраты на огнеупорные материалы и стальную конструкцию, которые могут составлять до 120 миллионов руб. для печей флоат-стекла и 42 миллионов руб. для торцевых печей тарного стекла.

Стоимости модификации процесса горения относительно низки и иногда могут компенсироваться за счёт более низких производственных затрат из-за экономии энергии. Стоимость горелок является возмещаемой стоимостью (не дополнительной стоимостью) и для новой печи дополнительная стоимость будет очень низкой. Системы для поэтапного сжигания воздуха могут быть значительно дороже.

Движущие мотивы к реализации мер

Усовершенствование и реализация первичных мер по снижению эмиссии NO_x основывается на том принципе, что действия, предпринимаемые с целью избежать образования NO_x , имеют, в целом, более благоприятное влияние на окружающую среду, чем технологии “на конце трубы”, включая меньший удар по карману и потенциальную экономию энергии при последующем снижении других загрязняющих агентов, например, CO_2 . Несмотря на то, что технически реально ввести как первичные, так и вторичные меры на одной и той же печи, всё же нужно проводить полную, экономическую и кросс-медиа (оценка на основе данных, полученных из разных печатных источников) оценку того, оправданны ли эти меры с точки зрения охраны окружающей среды и экономики. В частности, если с применением первичных мер был достигнут или предвидится, что будет достигнут, некоторый уровень эмиссии, то решение о том, оправданны ли дополнительные затраты на вторичные меры, должно приниматься с рассмотрения в первую очередь того, чего можно достичь путём первичных мер.

Установки в качестве примера

В настоящее время в секторе тарного стекла в более чем 75 % печей применили первичные технологии. В других секторах также с успехом применяют одну или более

из этих технологий. Во многих печах России применяются регулируемые горелки и датчики кислорода, обеспечивающие контроль процесса горения (соотношение воздух-топливо). Это относится к секторам по тарному стеклу, стеклянной посуде, флоат-стеклу и специальному стеклу.

4.4.2.2 Состав шихты

При варке стекла нитраты служат окисляющим реагентом. Несомненно, большинство широко распространённых нитратов являются натриевыми, но в некоторых случаях при варке специального стекла применяют также нитраты калия или бария. Нитраты натрия (NaNO_3) нередко используют в сочетании с окисляющими реагентами (например, As_2O_3 , Sb_2O_3 , CeO_2), которые требуется окислить или держать их в состоянии максимального окисления до того, как начнётся процесс осветления (окисляющий газ высвобождается из расплава). Таким образом, нитрат натрия непосредственно принимает участие в процессе осветления, хотя в большинстве случаев прекрасным осветляющим реагентом был бы сульфат натрия. Во время процесса стекловарения нитрат диссоциирует с образованием NO , NO_2 , N_2 , и O_2 . O_2 используется для окисления расплава (особенно железа Fe^{2+} до Fe^{3+}), для того чтобы получить очень прозрачное стекло, окислив некоторые органические компоненты в загружаемом материале. Нитраты применяются совершенно по-разному в разных секторах стекольной промышленности. Их редко используют при изготовлении листового стекла или тарного стекла, за исключением производства высококачественных изделий (роскошные бутылки или флаконы для парфюмерии и косметики), очень бесцветных изделий или сильно окрашенного стекла, например серого или бронзового. Нитраты используются в секторе стеклянной посуды для некоторых очень высококачественных изделий, в которых требуется оптическая чистота и низкий уровень содержания Fe^{2+} . Нитраты широко используются в секторе специального стекла для телевизоров (для катодных трубок), боросиликатного, ситаллов и оптического стекла, а также в секторе фритт.

Для электрических печей, производящих очень окисленное стекло, или там, где плавится сырьё, содержащее органические вещества (например, отходы стеклянной ваты), могут также потребоваться нитраты в качестве окисляющих реагентов.

При производстве стеклянной ваты нитраты нередко используются для компенсации потребления кислорода в процессе горения органического материала в составе шихты, особенно когда к составу добавляют большие объёмы вторично перерабатываемого (рециркулирующего) стекла. При производстве фритты нитраты содержатся в партии закладки, включающей много продуктов, для того чтобы получить требуемые характеристики. В целом, по расчётам в 7-9 % производимой стекольной продукции России содержится значительное количество нитратов.

Типичное значение для вносимых нитратов составляет около 0,5 – 1 %, т.е. 5-10 кг NaNO_3 на тонну стекла. Для некоторых процессов, например, телевизионного стекла или фритты эта величина может достигать до 4 % и иногда выше. Во время стекловарения основные выпускаемые газы – это NO и O_2 при низком уровне N_2 и NO_2 . Для 1 % нитратов, вводимых в загрузочную порцию шихты, максимальная эмиссия NO_x составляет 5,4 кг/т стекла. Это значение эквивалентно приблизительно 2200 мг/нм^3 при содержании O_2 – 8 %, например, для обычной отечественной печи для варки стекла. Фактическая эмиссия из нитратов NO_x варьирует от 30 до 80 % от максимума при том, что типичное значение для промышленных условий составляет порядка 50 – 65 % (хотя нередко обнаруживают и полный диапазон значений).

Количество NO , вышедшей из нитратов, зависит от темпов нагрева, состояния окислительно-восстановительного показателя среды и действия окисляющих газов (понижающие пламя), контактирующих со слоем шихты, содержащей нитраты.

Эффективные альтернативы нитратам ограничиваются проблемами экономическими и экологическими. Например, сульфаты использоваться могут, но их требуется в три раза больше, что приведёт к эмиссии SO_2 . Могут также использоваться окиси мышьяка, но они выводятся из процесса во всех случаях, когда это практически возможно, по экологическим соображениям. В некоторых случаях может использоваться окись церия, но во многих случаях он бывает во много раз дороже, чем нитрат натрия. При некоторых модификациях процесса может быть также сокращена потребность в нитратах, но это, в целом, запрещается по соображениям качества, энергии, ограничений в пропускной способности или генерирования тепловых NO_x .

В заключение, в настоящее время в промышленности существует мнение, что уровень нитратов может быть снижен путём экспериментирования до уровня, мини-

мально соизмеримого с продуктом и с требованиями к процессу стекловарения, но в силу экономических и экологических соображений эффективной альтернативы всё ещё не достигли.

Более того, в процессах, где добавляется всего лишь малое количество нитрата, удвоение уровня эмиссии может замаскировать эмиссию тепловых NO_x , что может снизить побуждение оптимизировать условия горения.

Добавление нитратов нельзя рассматривать как особенность процесса стекловарения, изолированную от прочих факторов. В целом, стекло, для которого требуются нитраты, также имеет свои специфические ограничения, связанные с его применением. Например, процесс стекловарения натрий-калиевого стекла стеклянной посуды или роскошного тарного стекла отличается от производства бутылочного стекла не только использованием нитратов, но также и: временем выдержки (по крайней мере, на 50 % дольше), требованием к гораздо более сильным окисляющим условиям в расплаве и в печи, и к более высокой температуре стекла (больше на величину, составляющую от 50 до 100 %). Все эти проблемы способствуют более высокой эмиссии на единицу стекольной продукции, и могут быть в два-три раза выше, чем при производстве тарного стекла в регенеративных печах с торцевыми горелками.

Стоимость методов снижения, как добавляемых нитратов, так и уровней эмиссии, которых можно достичь, очень трудно выразить в количественном выражении; они сильно зависят от точки отсчёта и особенности случая.

Затраты на методы снижения добавляемого количества нитратов и уровней эмиссии, которых можно достичь, очень трудно выразить в количественном отношении; они сильно зависят от точки отсчёта и специфики случая.

4.4.2.3 Специальные конструкции печей

Озабоченность вопросами эмиссии NO_x заставила некоторых конструкторов печей предложить печи рекуперативного типа, соединяющие в себе разные особенности, которые, предположительно, должны снизить температуру пламени и, следовательно, уровни NO_x . Самой известной из печей этого типа является стекловарочная печь хорошо известная под торговой маркой $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$. Ещё одна из имеющихся конструкций – это

стекловарочная печь торговой марки Flex[®], которую первоначально предполагалось использовать в периодическом режиме, но до сих пор большинство построенных печей управляются в непрерывном режиме. Ясно, что стеклоплавильная печь Flex[®] имеет эмиссии по NO_x сравнимые с печью LoNO_x[®]. Краткое описание печи Flex[®] приводится в Разделе 2.3.7, а подробно здесь обсуждается только печь LoNO_x[®].

Конструкция печей регенеративного типа может также быть изменена с целью снижения эмиссии NO_x. Но подробная информация о таком применении отсутствует. В целом, важными параметрами, касающимися конструкции печи по отношению к генерированию или ограничениям эмиссии NO_x, являются следующие:

- Тип горелок;
- Число работающих горелок;
- Углы установки горелок;
- Угол сопла горелки;
- Диаметр сопла горелки (который определяет скорость, с которой воздух входит в камеру сгорания);
- Расстояние между горелкой/соплом горелки и стекломассой;
- Высота и размер камеры сгорания (в целом, увеличенные размеры связаны с низкими эмиссиями NO_x и несколько увеличенным потреблением энергии для стекловаренной печи)
- Геометрия пламени в пропорции к камере сгорания.

Описание

В стекловаренной печи LoNO_x[®] используется комбинация из освещения в мелкой ванне и предварительного нагрева сырья с целью получить пониженный уровень эмиссии NO_x, по возможности без ухудшения пониженных термических характеристик.

Предварительный нагрев воздуха для сжигания является рекуперативным процессом, а двухступенчатый предварительный подогрев сырья используется для компенсации снижения предварительного нагрева воздуха по сравнению с регенеративными печами. Отработанные газы с главных горелок перед тем, как поступить на рекуператоры, пропускаются над входящим в печь сырьём в обширной зоне теплообменника. Побыв над рекуператорами, отработанные газы пропускаются через внешний теплообменник

со стеклобоем, перед тем как окончательно покинуть систему.

Осветлитель в неглубокой ванне принуждает критически важную токовую дорожку располагаться ближе к поверхности ванны со стеклом, за счёт чего снижается разность температур между ним и верхней частью печи. Эта печь может работать на более низких температурах, чем сравниваемая с ней обычная печь.

Стекловаренная печь торговой марки $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$ длинная и узкая и разделена на три части. Верхняя часть используется для предварительного нагрева и затем предварительного стекловарения шихты и стеклобоя. Далее идёт первичная зона осветления, где глубина стеклянной ванны уменьшится до 40 мм (или меньше). Завершается резервуар глубокой зоной осветления.

Подогрев осуществляется горелками в зоне стекловарения и, главным образом, в зоне осветления. Отработанные газы уходят с верхней части шихты и стеклобоя в первой части печи, с последующим предварительным нагревом сырьевых материалов. Печь разделена внутренними перегородками, чтобы сырьё, поступающее в печь, не подогревалось непосредственно тепловым излучением от самой горячей части печи. Поэтому поддерживается температурная разница между сырьём и газами, чем достигается эффективная передача тепла.

Можно сделать небольшой форсаж напряжению для поддержания конвекционных токов в зоне предварительного нагрева, избежав тем самым понижения температуры. Эффект усиливается барботёром, установленным у конца зоны стекловарения.

Внешний теплообменник для стеклобоя установлен после рекуператора и является важной частью стеклостекловаренной печи $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$. Это – система непосредственного нагрева, где горячие отработанные газы и стеклобой, который нужно подогреть, находятся в контакте друг с другом. Стеклобой и отработанный газ движутся по направлению друг к другу.

Стеклобой входит в башенную конструкцию сверху и медленно продвигается вниз к выходу; отработанные газы поступают снизу и выбрасываются сверху. Теплообменник имеет лопасти в виде жалюзи, которые более равномерно распределяют отработанный газ по колонне стеклобоя. Время нахождения стеклобоя в теплообменнике составляет около пяти часов. Отработанный газ входит в теплообменник при температуре обычно 500 °C и покидает колонну обычно при 200 °C. Температура предварительного

нагрева стеклобоя обычно 350 °С.

Полученные экологические выгоды

Благодаря более низким температурам горения были достигнуты очень низкие уровни эмиссии для NO_x . Для стеклостекловаренной печи $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$ сообщают данные - ниже 500 мг/нм^3 , что равняется: до $<1 \text{ кг NO}_x$ на тонну сваренного стекла. С расширением производственной практики и применения технологий по оптимизации горения могут быть получены более низкие уровни эмиссии.

Эта технология может обеспечить хорошую экономию энергии; сообщалось о цифрах приблизительно в 3,3 ГДж/т сваренного стекла с долей стеклобоя 90 – 95 % и увеличением электрического напряжения на 3 %. Цифра эта, хотя и не скорректированная на первичную энергию, выдерживает сравнение с современными регенерирующими печами, хотя уровень стеклобоя в 90 – 95 % может быть и труднодостижим из-за отсутствия стеклобоя, остающегося от потребителей, и это обычно отражается на статистике эффективности использования энергии.

Нормальные производственные условия и специфическое потребление энергии сравнимо с регенерирующими печами.

Имеется информация, касающаяся производительности печи $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$ с производительностью 358 тонн в сутки тарного стекла с содержанием стеклобоя 80 %, показывающая потребление энергии в 4.0 ГДж/т стекла (включая увеличение энергии, но не учитывая общую первичную энергию) и измеренную эмиссию для NO_x в 336 мг/нм^3 при 8 % кислороде.

Перекры́стные эффекты

Конструкция печи $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$ предназначена для работы с высоким уровнем стеклобоя, что может вызывать эмиссии металла и кислотных газов (SO_x , HCl , HF), содержащихся в материале-сырце.

Из-за небольшой глубины стекла неотъемлемой особенностью конструкции является то, что печь длинная, узкая, а площадь печи может быть значительно больше, чем в конструкции обычной рекуперативной печи при конкретной скорости вытягивания. Из-за этого увеличивается востребованность к пространству, капитальные затраты и объё-

мы конструкционного материала, который должен быть использован для строительства печи, и должен быть утилизирован в конце срока эксплуатации.

Так же, как и во всех системах с предварительным нагревом, имеется потенциальная возможность эмиссии органических веществ, включая вещества с запахом и потенциальные диоксины/фураны. Замеры показали, что эмиссия диоксинов ниже чем, $0,1 \text{ мг/нм}^3$. Дальнейшее обсуждение этих вопросов приводится в Разделе 4.8.

Предназначение

Для печей специальной конструкции технология основывается на значительном предварительном нагреве состава шихты, чего трудно достичь, если уровень стеклобоя невысок. Такие печи бывают реально работоспособны, когда используют высокие уровни стеклобоя, например, более 70 %. Размеры шлам-бассейна (узкого и длинного) могут также ограничивать возможности применения в местах с малым пространством.

Экономика

Ещё в 20-ом веке было подсчитано, что в расчёте на печь для тарного стекла производительностью 350 тонн в сутки дополнительные производственные затраты от применения этой технологии были незначительны, но дополнительные капитальные затраты могли составить 120 млн. руб. В настоящий момент больше нет никакой информации.

4.4.2.4 Процесс Феникс

Описание

Процесс Феникс основан на комбинации первичных мер по оптимизации горения в регенеративной печи с поперечным направлением пламени и снижением потребления энергии. Также как и с технологией модификации горения, описываемой в разделе 4.4.2.1, оптимизация горения по процессу ФЕНИКС касается:

- Сокращения доступа воздуха;
- Подавления резервуаров с горячими точками для гомогенизации температуры пламени; регулируемого смешения топлива и воздуха для горения, без проблем по каче-

ству стекла или эмиссии монооксида углерода.

Процесс ФЕНИКС также подразумевает полную модификацию системы горения и, особенно, использование инжекторов нового типа. Эти инжекторы запатентованы и они разные, в зависимости от типа используемой энергии (газа, мазута или смешанного вида энергии), а также связаны с новой конструкцией горелок, включая:

- Габаритные размеры (длина, ширина, глубина стекла), а также, в зависимости от скорости вытяжки,;

- Конструкцию сопел горелок;

- Регенераторы (отдельные камеры).

Технология может применяться к печам, использующим газ, мазут или смесь этих двух источников энергии. Регулировка процесса горения осуществляется за счёт обеспечения:

- Снижения доступа воздуха для атомизации (распыления) мазута, специальных патронных гнёзд, уменьшающих поступление холодного воздуха, и технического обслуживания печей;

- Понижения темпов смешивания топлива и воздуха, в частности, путём оптимизации количества, типа и позиции (угла) инжекторов в сопле.

Технология также включает ревизию системы управления печью и установку средств управления параметрами печи. В частности забор проб кислорода сделан сверху регенеративной камеры, чтобы лучше отслеживать уровни избытка кислорода.

Достижения в области охраны внешней среды

Процесс ФЕНИКС даёт возможность непрерывной стабилизации на уровне 700 – 800 мг/нм³. Например, эмиссия NO_x на установке Столберг, с печью с поперечным пламенем для флоат-стекла (см. Рис. 4.6) была стабилизирована на уровне 800 мг/нм³ с февраля 2005 г., который соответствует удельному коэффициенту эмиссии в менее чем 1,7 кг вещества NO_x на тонну сваренного стекла.

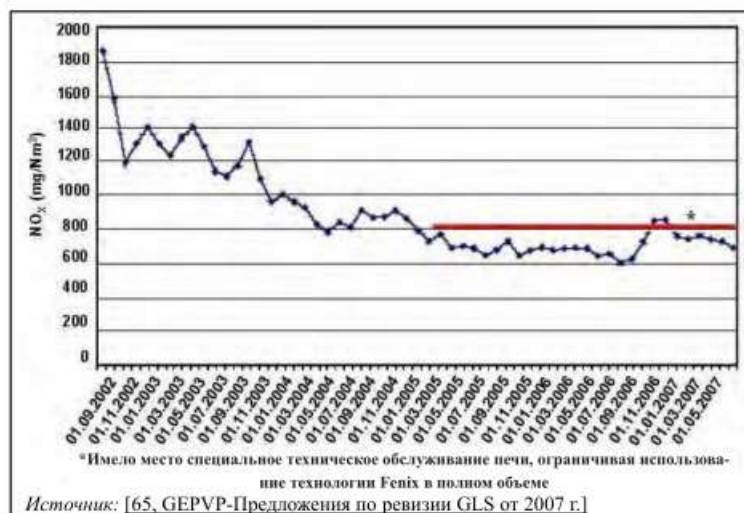


Рис. 4.6: Эмиссия NO_x с процесса ФЕНИКС

Оперативные данные

На стекловаренной печи листового стекла, работающей на смеси 60 % газа и 40 % мазута, эмиссия NO_x была стабилизирована в диапазоне 700 – 800 мг/нм³. Между тем процесс ФЕНИКС был применён и на других печах, показав тот же самый диапазон эмиссии (между 700 и 800 мг/нм³).

Предназначение

Процесс ФЕНИКС требует осторожного применения квалифицированной командой. Технологию эту можно применять для флотат-процессов тогда, когда она интегрирована на стадии проектирования и строительства печи. Эту технологию применяли только в регенеративных печах с поперечным пламенем, и в силу специфичности её невозможно привязать к другим технологиям для стекловаренных печей.

Экономика

Капитальные затраты, включая затраты на модификацию печей (верхний предел для рефракторов), новые горелки и усовершенствованные системы управления достигают 90 миллионов руб. за применение к некой существующей печи, где частью используемого топлива является мазут. Для какой-либо новой установки или для модернизированной установки дополнительные затраты будут ниже, порядка 60 миллионов руб.

Следовало бы также уделить внимание лицензионному сбору и времени, необходимому на реализацию.

4.4.2.5 Кислородно-топливное горение

Описание

При кислородно-топливной варке стекла воздух для горения заменяется кислородом (с чистотой $>90\%$). В результате исключения большей части азота из атмосферы горения снижается объём отработанных газов (состоящих, главным образом, из CO_2 и воды) на 70 – 85 %, в зависимости от чистоты кислорода.

Кислородно-топливное стекловарение может быть эффективным с точки зрения снижения NO_x , за исключением того, что описывается ниже, технология может считаться технически выверенной.

В целом, кислородно-топливные печи имеют ту же самую базовую конструкцию, что и рекуперативные стекловарочные печи, с многочисленными боковыми горелками и единственным выходным отверстием для отработанных газов. В большинстве современных печей геометрия оптимизирована под кислородно-топливное горение с минимизацией NO_x . В печах, спроектированных под кислородное сжигание, в настоящее время не используются, в целях экономии, системы отбора тепла для предварительного нагрева кислорода, подаваемого на горелки.

Потенциально эта технология рассчитана на экономию энергии прямо на участке, так как нет необходимости подогревать атмосферный азот до температуры пламени. Необходимо подогревать меньшие объёмы воздуха для горения и, поэтому, меньше энергии теряется с отходящими из печи газами. Потенциальная экономия энергии сильно зависит от обычной печи, с которой она сравнивается. Но общую экономию энергии следует оценивать, исходя из косвенной энергии, связанной с использованием кислородно-топливного горения.

При оценке производительности кислородно-топливной печи в сравнении с обычной печью (топливно-воздушной) следует учитывать эффективность системы отбора тепла с отработанных газов (рекуператоры, регенераторы и т.п.), а также энергию, необходимую для производства кислорода. Этот комплексный подход обсуждается в

этом разделе ниже.

Образование тепловых NO_x сильно снижается, так как источник азота в печи уменьшается, хотя некоторое количество азота всё ещё продолжает оставаться в атмосфере сгорания. Происходит это из-за остаточного азота в кислороде (PSA, VSA/VP SA 4- 6 %, криогенного <0.5 %), азота в топливе (природный газ с 2 – 15 % азота), азота из разлагающихся нитратов и из любого паразитного воздуха. Из-за высокой температуры пламени любое присутствие любого N_2 легче конвертируется в NO_x , и даже невысокие значения для N_2 могут оказаться вполне значимыми. Поэтому важно минимизировать доступ воздуха в печь.

Объём потока печного отработанного газа в 4-7 раз ниже, если его сравнить с дымом из печей с воздушным горением, температура их может быть очень высокой (1200 – 1450 °C) и, поэтому, обычно там требуется охлаждение. Из-за высокого содержания коррозионных веществ (хлоридов или сульфатов) охлаждение обычно происходит разбавлением водой. После разбавления объём отработанного газа обычно составляет порядка 30 – 100 % от объёмов обычного отработанного газа, в зависимости от необходимых объёмов разбавления.

Для кислородно-топочного стекловарения требуются горелки других размеров, чем те, что используются в обычном воздушно-газовом горении. С момента введения технологии в практику система горелок подверглась значительной доработке - от более ранних модификаций существующих конструкций кислородно-топливных горелок для других случаев кислородно-топливного применения до современных, узко специализированных, с низкой эмиссией NO_x , высокоэффективных горелок, разработанных специально для производства стекла. Эти системы могут обладать такими же характеристиками, что и прочие высокоэффективные горелки с низкой эмиссией NO_x , используемые в обычном горении. Некоторые важные особенности основных патентованных систем, приводятся в сводном виде ниже:

- Горелки с длинным, широким ярким пламенем, с равномерной теплопередачей;
- Много инжекторов кислорода на одну горелку, для процесса ступенчатого сжигания в режиме плоского пламени с широким охватом;
- Плоское пламя с широким охватом;
- Смешивание топлива с кислородом с задержкой, чтобы снизить пиковую темпе-

ратуру пламени в богатой кислородом зоне;

- Отсутствие водяного охлаждения;
- Регулируемость пламени по разгону и по форме;
- Работает на разном топливе.

Необходимый для горения кислород может доставляться в готовом виде от поставщика или готовиться на участке. За исключением применений в очень малых объемах (например, для изолированных печей для фритты), требуемый объем кислорода экономичнее производить на участке. Но если участок находится близко к промышленной линии кислорода, то обычно более эффективно бывает получать кислород непосредственно из трубопровода. Имеется две главные технологии для производства кислорода на участке – криогенным способом и через систему абсорбирования. Установка по производству кислорода обычно принадлежит поставщику, и управляется поставщиком, выставяющим счёт за поставленный кислород, хотя некоторые операторы делают выбор в пользу того, чтобы иметь собственную установку. Кислородные установки на участке оборудованы складом с запасом жидкого кислорода.

Кислород производится криогенным способом путём сжатия воздуха и пропуска его через очистительную установку для удаления пыли, воды, окиси углерода и следов загрязняющих веществ. Затем очищенный воздух охлаждается и проходит через низкотемпературную дистилляционную колонну, где происходит сепарирование. Отделённый газ может подогреваться в теплообменниках с образованием газообразного кислорода и азота и, если требуется, из более холодной части системы может отбираться жидкий азот.

Процесс абсорбции обычно принимает одну из двух форм: Короткоцикловая Безнагревная Адсорбция или Автоклавная Адсорбция. Обе они являются некриогенными системами и сепарация происходит при комнатной температуре. Сжатый воздух поступает через дно одной из двух абсорбирующих ёмкостей, заполненных цеолитом, поглощающим большую часть азота. Кислород отбирается из верхней части ёмкости до тех пор, пока цеолит не насытится азотом. Затем поток воздуха направляется ко второй ёмкости, в то время как азот из первой ёмкости выбрасывается в воздух. В вакуумной системе азот удаляется вакуумом, а в системе под давлением; он выбрасывается под давлением. Обычно вакуумная система обеспечивает наилучшую эффективность.

Обычно эта технология намного дешевле, чем получение криогенного кислорода на грузовиках, но она имеет ограниченную производительность, по сравнению с криогенной системой, и выбирается обычно в случае потребности в кислороде в среднем объёме.

На большинстве участков, где кислород поставляется только для одной или двух печей, выбор делается в пользу этих технологий (PSA, VSA/VP SA). Для большого числа печей с большой потребностью в O_2 (например, флоат-стекло), предпочтение может быть отдано криогенной системе. Выбор зависит главным образом от экономических факторов, на которые могут влиять местные условия. В случае с установками для флоат-стекла криогенные системы со-генерируют кислород для сжигания и азот для флоат-камеры.

Технология частичного кислородно-топливного нагрева использовалась в производстве стекла в течение многих лет. Были протестированы две различные технологии – продувка кислородом, которая представляла собой дополнительное нагнетание кислорода O_2 в обычной воздушно-топливной печи для улучшения передачи тепла, или добавление горелок, работающих на смеси чистого кислорода и топлива. Технология использовалась главным образом для решения проблем по качеству и вытягиванию стекла путём установки очень горячего пламени точно на плавящуюся поверхность, для того чтобы увеличить температурный градиент и, соответственно, увеличить конвекционные потоки внутри расплава. Этим также снижается поток сбрасываемого газа, в то время как энергии в печь подаётся столько же. В настоящее время эта технология ещё используется в том же исполнении, но используется не так широко из-за проблем потенциального увеличения эмиссии NO_x , имеющих место из-за высоких температур. Используются также кислородные горелки с нулевым входом, например, на печах для флоат-стекла с торца печи в конце цикла работы печи для улучшения стекловарения слоя шихты.

Полученные экологические выгоды

Следует отметить, что концентрация загрязняющих веществ для печей, работающих на кислороде, может показывать намного большие значения, чем те, что относятся к воздушно-топочным печам, вследствие снижения объёма топливно-газовой смеси. Коррекция концентраций в эмиссии до 8 % по кислороду не имеет большого значения

для кислородных печей, так как содержание кислорода в топливно-газовой смеси включает и возможный избыток кислорода, подаваемого на сжигание, и воздух, поступающий в печь и систему отработанного газа. В этих случаях более подходящим является использование коэффициентов выброса (эмиссии) (кг/т стекла).

Этот принцип должен применяться даже тогда, когда комбинация из топлива и газов от разных печей, где используются разные технологии сжигания (кислород-топливо, обогащение кислородом, воздух-топливо), передаётся на единственную дымовую трубу, что нередко является типичным случаем для установки по производству фритты, для того чтобы избежать некорректной оценки эмиссии.

Главным достоинством кислородного горения является значительное потенциальное снижение эмиссии NO_x (с учётом коэффициентов выброса) по сравнению с эквивалентной печью, работающей на воздушно-топливной смеси без прочих первичных или вторичных технологий по снижению, которая составляла бы свыше 70 %.

Эта цифра чётко зависит от точки сравнения и может быть выше, чем 95 %, и ниже, чем 60 %. Сообщают о конкретных значениях эмиссии порядка 0,5 кг NO_x /т стекла, в зависимости от удельного потребления энергии, от типа природного газа, от типа/качества кислорода и возраста печи. В конкретных случаях, с применением кислородно-топливного горения получают эмиссию всего лишь в 0,23 кг/т стекла. (см. Таблицу 4.17).

В секторе фритты сообщается, что эффективность снижения эмиссии NO_x , достигнутая с применением кислородо-топливных печей, попадает в диапазон 20 – 45 %, благодаря особой конфигурации и рабочим условиям в стекловарочных печах (несколько отрицательное давление), что мешает воздуху входить печь (см. Таблица 3.51).

Помимо выбора горелок, достижимые уровни серьёзно зависят от подаваемого в систему горения типа природного газа, который может содержать высокий процент азота, а также других параметров, представленных в разделе оперативных данных, приведённых ниже.

Кислородно-топливное сжигание может также помочь снизить общие летучие выбросы из печи (аэрозоль, фториды, хлориды и т.д.), благодаря уменьшению потока газа над расплавом и, в некоторых случаях, снижению турбулентности, несмотря на высокую концентрацию паров воды в атмосфере печи, что стимулирует испарение щело-

чей или бора.

Эмиссия аэрозоли в производстве натрий-калиевого стекла может быть снижена на 10 – 30 % от стартового уровня эмиссии (воздух-топливо). Аэрозольные выбросы наиболее эффективно удаляются из стекла, содержащего бор (вплоть до 50 %), в частности из щелочно-боратного стекла. Но в случаях, где внедрение кислородного горения приводит к снижению используемого топлива, это также приводит и к снижению SO_2 , с учётом коэффициентов выброса. Но эмиссия SO_x может увеличиться, если удерживаемое в стекле количество серы снижается из-за нарушения равновесия между расплавом стекла и горячими дымовыми газами. Непосредственная эмиссия CO_2 также снижается.

Перекры́стное влияние

Главный эффект от кислородно-топливного сжигания представлен эмиссией (до выброса отработанного газа из дымовых труб) на электростанции при выработке электроэнергии при производстве кислорода. Для производства кислорода требуется около 0,4 - 1 кВтчас/нм³ и, согласно источникам первичной энергии, соответствующие эмиссии будут сдвигать в большую или меньшую сторону потенциальную эмиссию NO_x , CO_2 , а также варьировать снижение энергии, обеспечиваемое в результате применения технологии кислородно-топливного горения при плавлении.

Что касается всех мер по снижению эмиссии, требующих энергозатрат, то экологические выгоды, наблюдаемые на участке, частично размываются, когда в расчёт берутся косвенные эмиссии.

В частности, перекры́стный эффект, о котором сообщается, представляет собой следующее:

- Эмиссии, косвенно связанные с производством кислорода, составляют, как известно, от 10 до 15 % от снижения прямых эмиссий NO_x ;

- Примеры говорят о том, что увеличение эмиссии CO_2 имеет диапазон от 35 до 230 %, по сравнению с уменьшением прямых эмиссий, полученным через экономию энергии;

- В среднем, производство кислорода по методу VSA/VPSC требует приблизительно 1,44 МДж/нм³, что соответствует около 24 % энергии горения в печи, если учитывать, что КПД преобразования в электричество на электростанции составляет 33 %

(энергия сгорания в количестве 1 МДж поставляемая в кислородно-топливную печь эквивалентна первичной энергии в 1,24 МДж).

- SO_x , пыль и прочие выбросы в атмосферу связаны с производством электричества.

В целом, можно сказать, что если экономия энергии от применения в плавящей печи кислородно-топливной смеси перевешивает затраты на производство кислорода, то тогда сниженная эмиссия будет значительно перевешивать эмиссию, связанную с производством кислорода. В рекуперативных печах без принятия дополнительных мер по извлечению энергии (предварительный нагрев стеклобоя или бойлер на тепле от топочных газов) средняя экономия энергии будет составлять около 25-35 %, включая энергию, потреблённую на производство кислорода. Для крупных регенеративных печей эта величина находится в диапазоне 0 – 15 %. Для очень эффективных регенеративных печей эта цифра может быть отрицательной.

Ниже представлено несколько примеров оценки перекрёстного эффекта от сжигания кислородно-топливной смеси, применённой в печах:

- Для печи для тарного стекла производительностью 225 т/сутки непосредственное снижение эмиссии NO_x составляет 80 т/год, а эмиссия NO_x , связанная с производством кислорода – 11 т/год, таким образом, чистое снижение эмиссии составляет 69 т/год. Снижение выброса из печи CO_2 эквивалентно 1 942 т/год, но производство кислорода даёт косвенную эмиссию CO_2 в объёме 4444 т/год. Кроме того, эмиссия SO_2 из средней по мощности электростанции насчитывает до 30 т/год.

- Для печи по производству непрерывной стеклянной нити снижение непосредственной эмиссии NO_x составляет 80 т/год, но увеличение косвенной эмиссии NO_x (электростанция) равно почти 9 т/год. Эмиссия CO_2 с печи снижается на 5 390 т/год, в то время как увеличение косвенной эмиссии CO_2 увеличивается на 3 530 т/год.

В случае потенциально быстрого разрушения огнеупора верхнего строения стекловарочной печи, образование твёрдых отходов (требующий замены огнеупорный материал) давал бы дополнительный кросс-медиа эффект при кислородно-топливном сжигании.

Производственные данные

Известно, что последние версии кислородно-топливных горелок в комбинации с оптимизированной конструкцией печи дают эмиссии NO_x в диапазоне 0,3 – 0,8 кг NO_x /т сваренного стекла в секторе тарного стекла, которая обычно равняется от 200 – до 500 мг NO_x /м³.

В секторе фритт полученное снижение эмиссии NO_x , связанное с применением кислородно-топливного стекловарения, значительно ниже. Опубликованные данные свидетельствуют, что уровни эмиссии находятся в диапазоне от 7 – до 11 кг NO_x /т сваренного стекла, что сравнимо с типичными уровнями, составляющими около 13 кг/т стекла или выше при использовании обычных воздушно-топливных печей и воздушно-топливных печей, обогащённых кислородом. Эти величины относятся к производствам, в которых в составе шихты могут содержаться значительные уровни нитратов, где необходимые рабочие условия в печи позволяют мешающему (паразитирующему) воздуху входить в камеру сгорания (см. Раздел 3.10.2.2).

Эмиссия NO_x сильно зависит от следующих факторов:

- Процесса производства кислорода: кислород, произведённый по технологии PSA или SA/VP SA, всё же ещё содержит небольшой процент азота;
- Качество природного газа; в России газ часто поставляют с содержанием азота более 10 %;
- Тип используемых горелок; горелки со ступенчатым горением обычно приводят к снижению показателей эмиссии по NO_x (<0,5 кг/т сваренного стекла, в секторе тарного стекла);
- Потребление энергии печью; этим определяется объём потока выбрасываемого газа на единицу массы расплавленного стекла и зависит, среди прочих факторов, от требуемого качества стекла, размера печи и процента стеклобоя в шихте;
- Качества топлива; некоторые типы топлива могут содержать низкие количества органически связанного азота.

Один из самых важных вопросов, связанных с этой технологией, это потенциальная экономия энергии, которой можно достичь. Как упоминалось выше, это нередко может быть решающим фактором в экономическом выживании технологии в конкретных условиях применения. При рассмотрении вопросов экономической эффективности этой технологии её надо сравнивать не только с печью, которую она замещает, но и со

всеми имеющимися вариантными и альтернативными методами снижения эмиссии, с учётом энергии, используемой для производства кислорода.

Экономия энергии на участке может быть более 50 %, когда малые термально неэффективные печи конвертируются в печи с кислородно-топливным горением. Для средней по размеру рекуперативной печи, где нет специализированных мер по экономии энергии, стандартные уровни изоляции, а также использование только внутреннего стеклобоя, использование энергии для кислородно-топливного стекловарения было бы приблизительно на 20-50 % ниже. Однако, для крупных, экономически эффективных регенеративных печей с оптимизированной термальной производительностью экономия может приблизиться к нулю или даже отрицательным значениям, когда учитывается первичная энергия, с увеличением до 5 %. В этих случаях экономия энергии на участке не компенсировала бы стоимость кислорода. Каждый случай уникален, и должен рассматриваться с учётом индивидуальных обстоятельств.

Общим правилом является то, что кислородно-топливные печи должны быть хорошо заизолированы и загерметизированы для того, чтобы не было проблем с коррозией и агрессивным воздействием на огнеупорную верхнюю структуру паров расплавленного стекла. Кислородно-топливное сжигание может привести к повышенному распаду, но это зависит от выбора огнеупорного материала и рабочих параметров печи.

Главный вопрос, который мог бы улучшить экономическую сторону технологии варки стекла при кислородно-топливном сжигании, является усовершенствование процесса отбора тепла из отработанных газов. Высокая температура отработанных газов повышает потенциальную способность по отбору тепла. Отработанные газы требуется охладить перед тем, как они достигнут рабочей температуры очистного оборудования и обеспечить, чтобы любое аэрозольное вещество, происходящее из летучих материалов, сконденсировалось.

Характер выбрасываемых из многих печей газов ограничивает возможность применять теплообменники прямого действия из-за проблем быть испорченными сконденсированными частичками аэрозоли и коррозией. Эти проблемы увеличиваются при высокой концентрации газа при кислородно-топливном сжигании.

Особая проблема возникает с боросиликатным стеклом, где дымовые газы должны быстро остужаться для того, чтобы предотвратить образование клейкой твёрдой фа-

зы, которая является корродирующей и быстро вызывающей быструю порчу трубопровода и ухудшение очистного оборудования, такого как электростатические осадители. По этим причинам охлаждение в таких случаях стремятся производить путём разбавления воздухом.

Но по мере накопления опыта таких мер, в сочетании с кислородно-топливным горением, может быть применено больше. Нет фундаментальных обоснований, объясняющих, почему большинство из этих технологий нельзя использовать с кислородно-топливным горением, но имеются важные технические вопросы, к которым необходимо обратиться и на решение которых требуется должное время (например, возможную порчу жароупорных материалов, изменение цвета в расплаве стекла, пенообразование и т.п.).

Кислородно-топливное сжигание влечёт за собой более высокие температуры пламени, что в некоторых случаях может приводить к более высоким скоростям вытягивания на м² печи (увеличение до 25 %). Это особенно важно там, где есть желание увеличить производительность печи, но нет пространства для размещения обычной печи желаемого размера. Такая ситуация ещё больше способствует тому, что система предварительного подогрева отсутствует. В некоторых случаях применения эта технология также может привести к улучшению процесса управления и улучшению качества стекла. Особенно это верно для некоторых специальных видов стекла, требующих более высоких температур стекловарения. Но более высокие уровни кислорода и эвапората воды могут влиять на химию стекла в некоторых его разновидностях, требующих изменения рецептуры шихты.

Всё ещё существует озабоченность по поводу повышенного износа огнеупорного материала и, следовательно, срока службы печи. В некоторых случаях это может также приводить к более высокому уровню дефектов стекла (например, капание со свода). В натрий-калиевом стекле высокое давление эвапората воды может вызвать высокое давление эвапората NaOH, что может способствовать износу огнеупора, особенно выше уровня стекла.

Поставщики огнеупоров разработали новые материалы, такие как усовершенствованные материалы из кремния и шпинеля $MgO-Al_2O_3$ в качестве альтернативы дорогостоящим плавленным литым алюмо-циркониевым или алюминиевым материалам. Но всё

же ещё остаётся некоторая доля финансового риска, связанная с технологией кислородно-топливного горения. Применение высококачественных огнеупорных материалов может значительно увеличить капитальные затраты и при этом остаётся сомнение, могут ли они быть достаточно стойкими во всех случаях применения.

Уменьшение срока службы печи может также сильно влиять на экономичность печи особенно это важно для крупных печей, таких как печи для флоат-стекла. Экспериментальные данные сильно варьируются от применения к применению, от очень плохих результатов до очень хороших. На основании результатов большой проделанной работы проблему эту можно значительно сократить. Некоторые производители боросиликатного стекла заявляют о продлении срока службы печей, и в некоторых случаях после конверсии печей наблюдались более низкие температуры в замке свода. Было доказано, что для того, чтобы избежать образования силиката натрия и стекловарения свода, температуры в замке свода всегда должны поддерживаться на достаточно высоком уровне (свыше 1460 – 1470 °C).

Новые системы с горелками с высоким коэффициентом излучения гораздо более эффективны при передаче тепла в стекло. В комбинации с аккуратно выполненной конструкцией печи и тщательно установленными и высококачественными горелками эти горелки способствуют поддержанию работы в пределах термической устойчивости огнеупоров. При этих условиях печь для производства натрий-калиевого тарного стекла с кремниевым замковым сводом всё ещё продолжает работать после 14 лет эксплуатации.

Технология кислородно-топливного стекловарения постоянно развивается, и печи, в конструкции которых применены самые современные технологии, вероятнее всего, будут иметь более длительные сроки службы, чем прежние печи. В некоторых случаях были отмечены проблемы с пенообразованием. Это может быть причиной проблем с качеством, снижением КПД и жаропрочностью.

Высокая концентрация эвапората воды в атмосфере печи, созданная кислородно-топливным сжиганием, способствует высвобождению газа из расплава, чем потенциально улучшает осветлённость (меньше пузырьков), но значительно повышает пенообразование. Эффект влияния атмосферы печи на устойчивость пены ещё изучен не полностью и является предметом дальнейших исследований.

При изготовлении стекловаты высокий уровень кислорода в печи может облег-

чить рециркуляцию отходящих газов, содержащих органические материалы, без применения нитратов.

Несмотря на то, что считается, что кислородно-топливные печи оправдали себя технологически, всё же остаётся некоторая возможность для оптимизации печей с точки зрения - геометрии, высоты замкового свода, расположения горелок и высоты их над расплавом, положения выхлопных отверстий, что может повысить другие возможности для извлечения тепла из потока дымовых газов малого объёма, но очень высокой температуры, - это предварительный нагрев шихты или предварительный нагрев природного газа, а также другие возможности по использованию извлечённой энергии, которые могут быть разработаны. Высокая концентрация CO_2 в дымовых газах потенциально может облегчать их улавливание.

Итоговые сведения по основным преимуществам и недостаткам, связанным с применением кислородно-топливного стекловарения:

Преимущества

- Могут быть достигнуты низкие значения эмиссий для NO_x (обычно $<0.5 - 0.8$ кг/т сваренного стекла для натрий-калиевого тарного стекла минимальной известной нам величиной 0.23 кг/т).
- Капитальные затраты на печи обычно бывают незначительными.
- В некоторых случаях применения технология является нейтральной с точки зрения затрат или приводит к экономии.
- В отдельных случаях применения возможно значительное снижение потребления энергии (особенно там, где эта технология заменила рекуперативные печи).
- Возможно, более низкие эмиссии летучих веществ и пыли, имеющих вид массового потока, где снижаются потоки отработанного газа. Это может приводить к снижению капитальных затрат на очистное оборудование.
- Возможно более высокая производительность/ м^2 и более совершенный контроль за процессом.
- В некоторых случаях может быть улучшено качество стекла.
- Может быть облегчено улавливание CO_2 , благодаря более высокой концентрации дымовых газов.

Недостатки

- Если значительная экономия энергии нереальна, то технология может оказаться очень дорогостоящей, особенно для больших натрий-калиевых печей. Причина этому – разница цен между газом и электричеством.

- Показатель эффективности затрат сильно варьирует в зависимости от применения и должен оцениваться индивидуально.

- Имелось много проблем с износом огнеупора, приводящим к снижению срока службы печи, которые не были полностью решены.

- Производство кислорода требует электроэнергии в размере 7 % от общего потребления энергии печью, но до 20 %, если она выражается в терминах первичной энергии.

- Косвенная эмиссия от производства электроэнергии (CO_2 , NO_x , SO_x) может уравнивать потенциальные экологические выгоды.

- Эта технология является, по существу, мерой, относящейся к первичной энергии, и, являясь таковой, снижает образование NO_x , но не снижает уровень NO_x , возникающий из нетермальных источников, т.е. из нитратов материала шихты.

- Технология особенно эффективна, будучи установленной на перестроенной печи.

- Хранение, выработка и использование кислорода влечёт за собой неотъемлемые риски и, поэтому необходимо рассматривать вопросы соответствующей безопасности.

- Выработка кислорода может быть источником шума, который должен контролироваться.

- Из-за снижения способности стекла удерживать серу эмиссия дополнительной SO_x может увеличиться, и компенсировать её можно путём регулирования количества сульфатов в рецептуре по шихте.

- В печи может возникнуть явление пенообразования.

- Когда требуется стекло высокого качества, использование этой технологии может быть ограничено из-за потенциальной порчи материала огнеупора в печи.

В Таблице 4.7 представлены данные по уровням выбросов, полученным при использовании кислородно-топливного стекловарения в установках, производящих тарное и специальные виды стекла.

Таблица 4.7: Уровни эмиссии NO_x , связанные с использованием кислородно-газового стекловарения в стекловаренных печах

	Тарное стекло ⁽¹⁾	Специальное стекло	Специальное стекло	Специальное стекло ⁽²⁾
Суммарная производительность печи, т/сутки	300 + 350	50	50	40
Фактическая скорость вытягивания, т/сутки	222 + 280	40	50	40
Повышение напряжения	Нет	Да	Да	Да
Тип стекла	Медовое, зелёное	Боросиликатное	Боросиликатное, тарное	Ситалл
Стеклобой, %	66 (среднее значение)	60	40	50
Удельное потребление энергии, ГДж/т стекла ⁽³⁾	4,20 (среднее значение)	6,72	10,37	12,31
Уровни связанной эмиссии кг NO_x /т стекла (AELs = УСЭ)	0,23	1,42	6,67 ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾	5,59 ⁽⁵⁾

⁽¹⁾. Установка включает две печи.

⁽²⁾. Установка оборудована системой отбора тепла, размещённой перед мешочным фильтром.

⁽³⁾ Учитывается только первичное потребление энергии без учета энергии, затраченной на производство кислорода.

⁽⁴⁾. Величина рассчитана на основе представленной информации (поток массы, объём дымового газа, сваренное стекло, измеренная концентрация эмиссии).

⁽⁵⁾. В рецептуре по шихте содержатся нитраты.

Применимость

Хотя кислородно-топливное стекловарение на 100 % хорошо организовано и мо-

жет считаться в целом в стекольной промышленности уже принятой технологией, нельзя недооценивать проблемы внедрения.

Технология широко применяется в производстве непрерывной стеклянной нити; её применение в силикатной промышленности ограничивается рядом факторов. Технология всё ещё считается связанной с возможно высоким финансовым риском для печей высокой мощности - >500 т/сутки. Несколько вопросов всё ещё требуют дальнейшего исследования, как например выбор оптимального огнеупора для купола печи, предотвращение и стабилизация пенообразования и отбор тепла с дымовых газов.

По некоторым печам с кислородно-топливным сжиганием остались проблемы с пенообразованием, которые ещё не решены.

В целом, выгоднее отложить установку до модернизации следующей печи для того, чтобы максимизировать потенциальные выгоды и тем самым избежать любых ожидаемых производственных проблем. В принципе, кислородно-газовые горелки могут быть установлены во многих процессах, за исключением печей с торцевым их расположением, не ожидая ремонта печей в холодном состоянии. Установка в горячих условиях может привести к экономии энергии и увеличению скорости вытяжки. Но вряд ли это приведёт к снижению эмиссии NO_x , и фактически уровни NO_x могут увеличиться; также имеется опасность ускорения износа огнеупора.

В 1998 было подсчитано, что 5 – 10 % всемирного производства стекла было выполнено на технологии кислородно-топливного стекловарения. В том числе в Европе было выполнено 25 %, а в Северной Америке 56 % варки стекла. С тех пор эти показатели варьировали вслед за различными тенденциями по секторам.

По всему миру имеется, по крайней мере, 200 промышленных печей с технологией кислородно-топливного стекловарения. Эта технология особенно широко применяется в секторе непрерывной стеклянной нити и в секторе специального стекла. В мире имеется пять печей для флоат-стекла с кислородно-топливным сжиганием (три в США, одна в Японии и одна в Европе) и около 40-50 печей с кислородно-топливным сжиганием для тарного стекла, внедрённые главным образом в США.

Также имеется несколько примеров кислородно-топливных варочных печей, успешно работающих по производству минеральной ваты, специальных видов стекла и фритт.

С применением кислородно-топливного сжигания много проблем было в производстве стеклянной посуды из-за сильного пенообразования, которое могло повлиять на соответствие повышенным требованиям к качеству, предъявляемым к этому виду стекла. Однако на некоторых установках с успехом применяют кислородно-топливные печи.

Что касается сектора листового и тарного стекла, то здесь главным барьером в применении кислородно-топливного стекловарения является высокая стоимость кислорода и специального огнеупорного материала, требующегося для печей.

В Европе одна кислородно-топливная печь работала в секторе листового стекла (прокатное стекло) и один случай применения на печи для флоат-стекла стартовал во Франции. Восемь печей работают в настоящее время на производстве тарного стекла, представляя собой 3,2 % общего европейского производства в секторе (в Германии, Нидерландах и Италии). В производстве непрерывной нити более 50 % печей в Европе работают на кислородно-топливной смеси, некоторые с повышением (бустингом) напряжения. В производстве стеклянной фритты в 15 % применяется кислородно-топливное стекловарение. В значительном количестве европейских печей по производству минеральной ваты, хозяйственного и специального стекла (в частности, боросиликатных стеклянных трубок) печи работают на кислородно-топливной смеси.

Применение кислородно-топливного сжигания тянет за собой и возможный дополнительный связанный эффект, который необходимо учитывать, – экологическое воздействие на среду, вызванное производством кислорода.

Экономика

Финансовые аспекты кислородно-топливной варки могут сильно варьировать в зависимости от сектора к сектору и от случая к случаю. Основными факторами, влияющими на стоимость, являются:

- Капитальные затраты, сравнимые с наиболее вероятными альтернативными случаями (исключая дополнительные расходы на более стойкие огнеупорные материалы (замковый свод печи и каналы для дымовых газов);
- Возможная экономия энергии, которая может быть получена (сильно зависит от размера и дизайна печи)
- Преобладающая стоимость получения кислорода для установки;

- Потенциальное влияние на срок службы и финансовые риски, которые оно за собой влечёт.

Относительные достоинства кислородно-топливного стекловарения широко варьируются от случая к случаю, а решение о внедрении метода может очень сильно зависеть от других факторов, например, если требуется увеличить скорость вытягивания без увеличения размеров печи или если завод расположен очень близко к источнику кислорода. На экономику могут сильное влияние оказывать специфические для участка факторы, и каждый случай должен основываться на конкретных обстоятельствах.

Важным фактором, влияющим на капитальные затраты, является и тот, что кислородно-топливные печи не имеют обычной системы предварительного подогрева воздуха для горения и поэтому капитальные затраты, в общем, ниже, чем для регенеративной и рекуперативной печи, имеющей сопоставимую скорость вытягивания. Это особенно очевидно для новых установок, где экономия по общей стоимости осуществляется за счёт системы предварительного подогрева. В целом, наиболее прогрессивные кислородно-топливные печи более дорогостоящи, чем прогрессивные горелки с низким NO_x , а стоимости системы контроля за кислородом – весьма значительные. Но для большинства печей сверхзатраты на кислородно-топливные горелки значительно ниже, чем экономия от системы предварительного подогрева.

Озабоченность по поводу влияния технологии на срок службы огнеупора заставляет использовать более дорогостоящие материалы для замкового купола печи. Если необходимо, то эти дополнительные затраты могли бы значительно снизить преимущество от капитальных затрат. Фактически, первоначально (1990-1995 г.г.) ожидалось, что срок службы кислородно-топливных печей для производства стекла будет короче, чем у традиционных печей, сжигающих топливо и воздух. В европейском секторе тарного стекла имеется, по крайней мере, несколько печей на кислороде с тем же сроком службы. Конструкция печи, качество материала (особенно купола) и герметичность верхнего строения печи являются важными факторами, определяющими срок службы печи.

Экономическая конкурентоспособность технологии зависит, главным образом, от потенциальной экономии энергии и соответствующих затрат на альтернативные методы для достижения сопоставимых уровней эмиссии NO_x .

Во многих случаях применения, где требуются печи размерами от малых до сред-

них, могут быть получены значительные экономии энергии, что делает эту технологию более конкурентоспособной. И действительно, в некоторых случаях применения (особенно, когда печи производят <50 т/сутки) только экономия энергии может быть достаточной мотивацией для установки этой технологии. Имеется тенденция, что более крупные обычные печи по природе своей более эффективны с точки зрения затрат энергии, и потенциальное снижение в потреблении энергии (включая энергию на получение кислорода) при переходе на кислородно-топливное сжигание является намного меньшим, что и вызывает общее удорожание (главным образом затрат на кислород) метода. С другой стороны, для более крупных печей требуются большие объёмы кислорода, что обычно ассоциируется с лучшей ценой за м³.

Для кислородно-топливных печей с высокопрочным кремниевым сводом и для сводов, построенных из материалов диффузной отливки (алюмо-циркониево-силикатной (AZS) или алюминий) рассчитали сравнительные стоимости 18-24 миллиона руб. Эти материалы диффузной отливки могут увеличивать стоимость свода в печи флоат-стекла на 240-300 миллионов руб.

Исключение этапа предварительного подогрева воздуха и последующее снижение капитальных затрат – это характерно не только для наиболее распространённых секторов стекла (тарное, непрерывная стеклянная нить накаливания, специальное стекло и т.п.), но и в индустрии фритт, где использование предварительного подогрева воздуха в рекуперативных теплообменниках хорошо поставлено и применяется в большинстве печей.

Для регенеративных печей системы регенерации восходят к первой печи, построенной на той позиции, после чего они были отремонтированы, модернизированы или заменены с перестройкой, при необходимости, каждой печи. Поэтому, несмотря на то, что экономия была значительной, она не может быть такой же высокой, как на новой установке. С рекуперативными печами рекуператор обычно меняется с перестройкой каждой печи, но поддерживающая станина может использоваться повторно, если конструкция печи и её положение меняются не сильно. Капитальные затраты на новые установки могут значительно варьировать при каждом монтаже. В целом, известно, что экономия для рекуперативных печей составляла порядка 20 %, а для регенеративных печей – порядка 30-40 %.

Если поставщик работает от кислородной установки, то капитальные затраты обычно включаются в счёт за кислород, а не рассматриваются отдельно.

Помещение для кислородного оборудования обычно предоставляется компанией по производству стекла, но стоимость его низкая. Если же компания делает выбор в сторону того, чтобы работать на кислородной установке самостоятельно, то капитальные затраты могут возрасти до 10 % от стоимости печи. Если азот, как побочный продукт от производства кислорода, можно или использовать, или продать, то тем самым он будет способствовать снижению общих затрат.

В литературе по стекольной промышленности, в нескольких её документах цитируется, что стоимость кислородно-топливного сжигания такая же высокая, как и стоимость SCR. Но это не всегда отражалось на практике при работе с некоторыми операторами, известными как сделавшими конверсии без повышения затрат или, в некоторых случаях, сэкономивших на производственных затратах. Большая часть позитивных результатов проистекает из конверсии малых не-регенеративных печей, с относительно высоким удельным потреблением энергии.

Если не принимать во внимание срок службы огнеупора, то в большинстве случаев определяющим фактором в отношении эффективности затрат на кислородно-топливное сжигание будет разница между экономией энергии и затратами и дополнительными многосторонними эффектами кислородного сжигания в сравнении с затратами и дополнительными многосторонними эффектами альтернативной технологии для очистки от NO_x .

Это специфичный случай, и в то время как для многих более мелких печей равновесие является выгодным, для крупных печей экономия, в целом, низка и экономический баланс будет гораздо больше зависеть от конкретных обстоятельств, а прочие факторы (особенно среднегодовые капитальные затраты) будут иметь гораздо большее значение. Более первостепенные энергетические затраты и, особенно, затраты на кислород (каждые из которых повержены переменам) также чрезвычайно важны.

На Рис. 4.7. ниже представлена суммарная разница в удельной стоимости сжигания при сравнении кислородно-топливных печей и обычных печей по производству стекла. Представлены расчётные данные по регенеративным печам для флоат-стекла и тарного стекла и небольших рекуперативных печей для хозяйственного стекла.

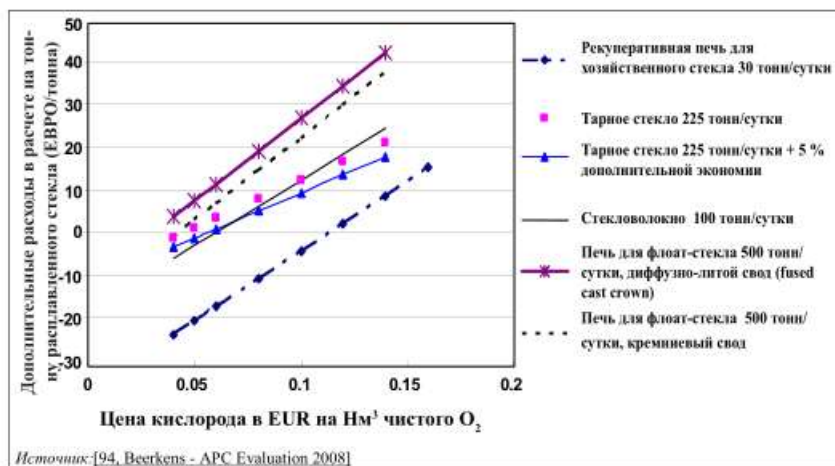


Рис. 4.7: Разница в удельной стоимости стекловарения после конверсии из обычных печей в кислородно-топливные установки для производства стекла разного вида

Была оценена удельная стоимость в применении к кислородно-топливному плавлению для различных типов стекла и печей разной мощности. Допустимые уровни эмиссии, принятые для расчёта, были взяты следующие:

- Флоат-стекло: 1,5 – 2 кг NO_x на тонну расплавленного стекла
- Тарное стекло: 0,5 – 0,9 кг NO_x на тонну расплавленного стекла
- Специальное стекло (без нитратов в шихте): 1 – 1,5 кг NO_x на тонну расплавленного стекла.

Тарное стекло

Расчётные стоимости для печей различных мощностей (200 т/сутки и 450 т/сут), при сравнении регенеративной печи с торцевыми горелками с кислородно-топливной печью свидетельствуют о снижении капитальных затрат в диапазоне от 120 млн. руб. для малой печи и 268 млн. руб. для крупной печи, при увеличении ежегодных производственных затрат, соответственно, на 27 млн. руб. в год и 90 млн. руб. в год (также зависит от цены на кислород, предполагая, что она составляет 3,6 руб. за нм³). Увеличение удельной стоимости на тонну расплавленного стекла эквивалентно 180 руб./т стекла для малых печей и 300-330 руб./т стекла для печи большей мощности. Стоимость удаления NO_x оценивается как 180-240 руб. на кг NO_x для небольшой печи и как 300-360 руб. на кг NO_x для печи большей мощности.

Флоат-стекло

Оценка стоимости в применении к кислородно-топливного сжиганию в печи для флоат-стекла мощностью 500 т/сутки показывает снижение капитальных расходов, эквивалентное 450 миллионам руб. в случае, если у печи кремниевый свод, и до 210 миллионов руб., когда для свода использован диффузно-литой материал (AZS или алюминий). Производственные расходы возрастают на 160 миллионов руб. в год, включая отчисления на CO_2 , (хотя эти затраты подсчитать трудно, так как они зависят от участка и подвержены различным изменениям) и могут рассчитываться на основании стоимости кислорода, эквивалентной 3,6 руб. на м^3 . В зависимости от стоимости материала, взятого для купола печи, эти удельные стоимости увеличились бы от 400 руб. на тонну стекла до 680 руб. на тонну стекла. Более низкая цена на кислород значительно бы сократила увеличение цены на тонну сваренного стекла. При цене 2,7 руб. на м^3 , увеличение удельной стоимости находилось бы в диапазоне от 66 руб. до 340 руб. на тонну стекла. При оценке печи для флоат-стекла получают стоимость удаления NO_x находящуюся в пределах от 180 до 300 руб. на кг удалённого NO_x .

Хозяйственная стеклянная посуда

Для стеклянной посуды стоимость дополнительных капиталовложений для печи производительностью 30 т/сутки эквивалентна 30 миллионам руб., из-за необходимости иметь для этого типа стекла высококачественный огнеупорный материал. Понижение эксплуатационных расходов ожидается в случае, если цена кислорода будет ниже 7 руб./ м^3 . Для существующих печей производительностью 70 т/сутки конверсия от регенеративной конфигурации к кислородно-топливной привела к снижению капитальных затрат, эквивалентных 135 млн. руб. Производственные расходы увеличились на 36 миллионов руб. в год, что эквивалентно увеличению цены тонны стекла на 720-780 руб., основываясь на цене кислорода в 6 руб. на м^3 .

Непрерывная стеклянная нить

Для печи мощностью 100 – 120 т/сутки, увеличение капитальных затрат на конверсию от печи рекуперативного типа в печь для кислородно-топливного сжиганию бы-

ло оценено как 90 млн. руб., при уменьшении производственных расходов, эквивалентном 15 миллионов руб. в год, с учётом стоимости кислорода 6 руб. на м³. В этом случае удельная стоимость на тонну расплавленного стекла будет увеличена на 360 руб., а стоимость удаления NO_x будет эквивалентна 180-195 руб. на кг NO_x.

Стеклянная вата

Для стеклянной ваты применение кислородно-топливного сжигания для ванны-печи мощностью 125 т/сутки даёт удельную стоимость стекловарения в 6000 руб. на тонну стекла, рассчитанную на основании капитальных/инвестиционных затрат (включая амортизацию и затраты на выплату процентов) и производственные расходы (включая расходы на энергию, сырьё, отчисления на CO₂, утилизацию отходов и т.п.). Оценка основана на цене за кислород при доставке на точку, составляющей 6 руб. за м³ и стоимости электричества 5,5 руб. на кВт-час, включая налоги. Оказывается, что для печи с более высокой производительностью метод кислородно-топливного сжигания имеет более низкую удельную стоимость.

Примеры данных по фактической и расчётной стоимости приводятся в Таблице 4.8 для установок по производству стекла различного типа при разнообразных производственных условиях.

Таблица 4.8: Примеры фактической и расчётной стоимостей кислородно-газовой варки тарного и специального стекла

	Тарное стекло (¹)	Специальное стекло	Специальное стекло
Производительность печи, т/сут	300 + 350	50	50
Фактическая скорость вытягивания, т/сут	222 + 280	40	50
Повышение напряжения	Нет	Да	Да
Тип стекла	Медовое /бутылочное	Боросиликатное	Боросиликатное
Стеклобой, %	66 (среднее значение)	60	40
Удельное потребление энергии, ГДж/т стек-	4,20 (среднее	6,72	10,37

	Тарное стекло (¹)	Специаль- ное стекло	Специаль- ное стекло
ла (²)	значение)		
Уровни связанной эмиссии (AELs), кг NO _x /т стекла	0,23	1,42	6,67
Связанные стоимости (³)			
Производство кислорода	На участке, криогенное	Доставля- емый на участок, криоген- ный	На участке, криогенный
Стоимость электроэнергии, руб./кВт-час	3	4	4
Стоимость доставки кислорода, руб./м ³	2,8	6,6	3,9
Цена на природный газ, руб./кВт-час	1,2	1,5	1,5
Удельная стоимость за кислородно- топливную варку, руб./т стекла	600 (среднее значение)		- 138
Общая стоимость инвестиций, включая амортизацию всей установки, руб./т стекла	2050	5640	5400
Ставка налога, %	6		
Срок службы, лет	12		
Расчётная стоимость инвестиций для сопо- ставимой обычной регенерационной печи, руб./т стекла	2400 (⁶)	7200	8500
Расчётная разница, %	-15	-22	-36
(¹) Установка оборудована двумя печами. Система извлечения тепла установлена перед большим фильтром. Значения для использования стеклобоя и потребления энергии яв- ляются средними по двум печам.			
(²) Данные о потреблении энергии не корректируются относительно первичной энергии.			
(³) Данные по стоимости относятся к году установки и не обязательно представляют те- кущие затраты.			

Стимул к внедрению

Кислородно-топливное сжигание – это первичная технология, применяемая для снижения эмиссии NO_x и, в некоторых случаях, других атмосферных эмиссий (аэрозолей). Применение кислородно-топливного стекловарения в некоторых секторах стекольной промышленности (специальное стекло, непрерывная стеклянная нить накаливания, минеральная вата) рассматривается как хороший технический и экономический вариант процесса варки. Снижение потребления энергии может являться движущей силой, стимулирующей применение технологии кислородно-топливного стекловарения в печах в этих секторах промышленности.

В секторе фритт-стекла эффективность удаления NO_x , связанного с кислородно-топливным сжиганием, составляет около 20 – 45 %. Поэтому для этого сектора технология считается, главным образом, хорошей альтернативой процессу стекловарения.

4.4.2.6. Химическое восстановление с помощью топлива (CRF)

Химическое восстановление с помощью топлива (CRF) описывает технические способы, когда топливо добавляется в поток отходящих газов, чтобы химически восстановить NO_x (окись азота) до N_2 за счет ряда реакций. Топливо не горит, но проходит пиролиз (термодеструкцию), чтобы образовать радикалы, которые реагируют с компонентами топочных газов, чтобы образовать H_2O и N_2 . две основные техники, которые были разработаны для использования в стекольной промышленности, и представляют собой процесс 3R и процесс дожигания. В настоящее время оба этих способа ограничены для регенеративных печей. Процесс 3R был полностью разработан для применения в рамках промышленности, но дожигание пока не продемонстрировало свою способность промышленного применения в стекольной промышленности.

Процесс основан на ряде химических реакций, которые происходят между впрыснутым ископаемым топливом и оксидами азота, присутствующими в топочных газах.

Во время первой стадии процесса углеводородные радикалы (CH_x) образуются в основном с помощью термического разложения в зоне, в которую впрыскивается топливо (обычно природный газ). Радикалы реагируют с NO_x , образованными в печи, чтобы образовать другие разновидности азота, такие как HCN и NH_3 . Сразу после образования

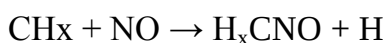
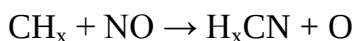
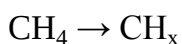
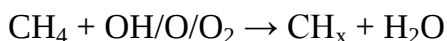
эти разновидности быстро вступают в реакцию с первичными молекулами оксида азота (NO), чтобы образовать молекулярный азот (N₂). После получения возможности выполнить дожигание топливо должно смешиваться с горючими газами, сгоревшим воздухом и впрыскивается, чтобы закончить горение дожигания. В зоне выгорания любые восстановленные разновидности азота полностью конвертируются в молекулярный азот (N₂) или обратно в NO (оксид азота).

4.4.2.6.1. Процесс 3R

Описание

Основой процесса 3R является добавление природного газа управляемым способом к потоку отходящих газов в регенеративной печи. Топливо не горит, но распадается и действует так, чтобы химическим способом восстановить NO_x, образованные в этой печи. Технология разработана для использования в регенеративных печах, в которых механизм регенератора обеспечивает необходимые условия температуры, турбулентного смешивания и время выдержки для прохождения реакций. Название процесса «3R» относится к реакции и восстановлению в регенеративных печах.

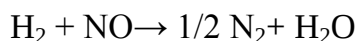
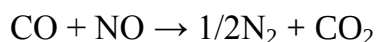
Существуют две основные стадии в процессе 3R: обработка оксида азота (deNO_x) и дожигание. На стадии обработки оксида азота (deNO_x) существуют два принципиальных механизма, первый захватывает реакцию между радикалами топлива 3R и NO. Радикалы (CH_x) образуются очень быстро, после попадания топлива в регенерационную печь. Основные реакции происходят на этой стадии:



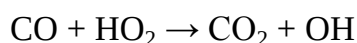
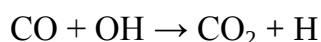
Эти реакции являются очень быстрыми, и происходят в основном в верхней камере регенерационной печи. На них приходится примерно 25 % восстановления NO_x.

Второй механизм действует, когда отходящие газы проходят через насадку регенерационной печи, в которой время выдержки остается относительно длительным. CO и H₂ (образованные из первичных сортов топлива и топлива 3R) обладают достаточным

периодом времени при достаточно высокой температуре, чтобы восстановить большинство оставшихся NO до N₂. Эта реакция происходит по всей длине системы регенерации, но в основном в камере насадки, и охватывает преобладающую часть восстановления NO_x, полученную в ходе процесса 3R. Основными реакциями являются следующие:



Вторая стадия процесса охватывает выгоревшие восстановленные разновидности в основном не прошедшие реакцию CO и H₂. Эти разновидности окисляются с помощью контролируемой подачи воздуха в топочные газы ниже регенерационной печи. Основные реакции представлены ниже:



Технические приемы 3R следует рассматривать в качестве вторичных, таких как «Избирательное каталитическое восстановление» (SCR) и «Выборочное некаталитическая редукция» (SNCR), т.к., это не допустит образования оксидов азота, и не только восстанавливает термический NO_x, но также NO_x из других источников, таких сырьевые материалы.

Достигнутые преимущества защиты окружающей среды

В зависимости от установки достигнутые уровни выбросов после применения 3R для флоат-стекла в регенеративных печах и печах тарного стекла находятся в диапазоне 1.0 - 1.5 кг/т расплавленного стекла. Можно получить общее восстановление NO_x между 70 – 85 % и уровни концентрации вредных примесей NO_x ниже вплоть до 500 мг/м³ или еще ниже в соответствии с данными отчетности от поставщика технологии 3R.

Межсредовое влияние (загрязнений)

Основными недостатками 3R являются использование углеводородных сортов топлива, чтобы получить необходимое восстановление NO_x, которые охватывают неизбежные расходы и ведут к росту выбросов CO₂.

Это означает, что предпочтительно объединить 3R с более обычными первичными мерами по восстановлению NO_x , чтобы восстановить требования по топливу для 3R. Но в этом случае надо принять в расчет совокупные расходы и межсредовое влияние, особенно на тонну частично обработанного NO_x .

Если смонтирован котел утилизатор отходящих газов, и можно использовать рекуперированную энергию на площадке или местным способом, то можно восстановить значительную часть энергии в топливе 3R. В таких случаях общий рост выбросов CO_2 будет минимальным; однако, использование 3R не обязательно предполагает, что применение котла утилизатора отходящих газов будет экономически оправдано, но если он уже смонтирован (или его монтаж запланирован), то 3R в результате приведет к полезному росту тепловой нагрузки печи, с которой этот котел найдет применение. В общем, это может привести в значительной экономии энергопотребления на предприятии, и использование других источников энергии (т.е., котлов на ископаемых сортах топлива) может быть снижено. Важное ограничение количества энергии, которая может быть восстановлена (рекуперирована), часто исходит из отсутствия запросов на пар в рамках установки.

При наличии рекуперации тепла отходящих газов на производстве, требуется дополнительное топливо в размере примерно 7 % энергии для стекловарения. Это ведет в результате к росту выбросов CO_2 в размере 25 - 35 кг на тонну выплавки стекла или 4 - 6 т на тонну обработанного NO_x . Расчетный рост выбросов не включает в себя дополнительные не прямые выбросы CO_2 (100 - 150 т/год) и NO_x , связанных с использованием дополнительной электрической энергии, которая необходима для увеличения мощности вентиляторов (дополнительный объем отходящих газов).

На практике точная потребность в топливе должна быть обеспечена нужным восстановлением NO_x , и может варьироваться в зависимости от специальных условий печи.

Недостатки регенерационной печи в процессе 3R могут быть только в случае неверного применения этого метода или его неверной эксплуатации. Восстановление топочных газов может привести к росту коррозии, которая появляется из-за явлений конденсации и появления отложений в зависимости от типа материала огнеупоров, используемых в регенерационной печи.

Операционные данные

Уровень восстановления NO_x получаемого за счет процесса 3R зависит в основном от количества дополнительного топлива, и его можно регулировать, чтобы соответствовать разным стандартам по выбросам. Для разных случаев применения печей флоат-стекла со сжиганием воздуха/топлива, полученные величины концентрации NO_x , могут быть ниже 500 мг/м^3 при 8 % O_2 сухом объеме. Однако применение следует тщательно контролировать, особенно если используются некоторые типы огнеупора.

Основные аспекты технических приемов 3R представлены ниже:

- Температурное окно для впрыска топлива обычно составляет $>1300 - 1400^\circ\text{C}$ для горячих газов на вытяжке, поступающих в регенерационную печь.
- В конце концов, все впрыснутые углеводороды конвертируются в пар CO_2 и H_2O , в зависимости от количества доступного кислорода.
- Обычные случаи восстановления выбросов NO_x составляют, в общем, диапазон 70 – 85 % от первоначальных величин, но есть сообщения о более низких уровнях восстановления в связи с более низкими количествами впрыснутых углеводородов.
- Количество дополнительного топлива, необходимого для процесса 3R составляет примерно 7 – 10 % от общего количества используемого, чтобы обеспечить энергию для стекловаренной печи, 8 % это среднее значение. Для печи флоат-стекла на 500 т/сутки, дополнительное потребление топлива составляет обычно от 350 до 375 м^3 природного газа в час. Для печи тарного стекла на 300 т/сутки, дополнительное топливо составляет 125-150 м^3 природного газа в час.
- В условиях специального потребления энергии рост из-за применения способа 3R оценивается в примерно 0.5 ГДж/т для флоат-стекла и 0.36 ГДж/т для тарного стекла.
- Дополнительные аспекты, относящиеся к применению метода 3R, касаются огнеупорных материалов в регенерационной печи, которые могут быть не в состоянии оказать сопротивление восстановительным газам (CO , углеводородам и саже), отложениям соли с восстановительными свойствами или концентрациям высокощелочных металлов. Для применения метода 3R следует не применять некоторые типы огнеупоров, чтобы не допустить потенциального ущерба регенерационной и снижения ее срока службы.

Обзор основных преимуществ и недостатков, связанных с использованием технических приемов 3R:

Преимущества

- Можно получить значительное уменьшение/восстановление NO_x
- Применимо для большинства типов регенеративных печей (не существует способов применения для ваннных стекловаренных печей с подковообразным пламенем)
- Не нужны крупные изменения конструкции производства или его эксплуатации
- Низкие капитальные затраты
- Можно применять без необходимости остановки печи
- Не требуется химических реагентов
- Рост потребления топлива в некоторых случаях компенсируется рекуперацией тепла отходящих газов

- Сокращает (восстанавливает) NO_x для всех его источников

Недостатки

- Рост потребления топлива (обычно 7 % в некоторых случаях можно снизить за счет рекуперации тепла отходящих газов)
- Рост выбросов CO_2 (20 - 30 кг/т расплавленного стекла, но в некоторых случаях его можно снизить за счет рекуперации тепла отходящих газов)
- Потенциальные выбросы CO
- озабоченность относительно влияния на огнеупоры регенерационной печи в некоторых случаях применения
- Не приемлемо для НЕ-регенеративных печей

Применимость

Технический метод был рассмотрен и считается приемлемым для регенеративных печей, его можно внедрить, как на новых, так и на действующих производствах. Процесс 3R применяется в основном в промышленности флоат-стекла, а также есть небольшое количество случаев применения в других отраслях.

Есть озабоченность, что восстанавливающая атмосфера, создаваемая в регенерационной печи, может быть нарушена некоторыми типами огнеупорных материалов особенно при высоких температурах, как это было отмечено на практике. Значительный

опыт работы этим методом был получен для печей флоат-стекла, в которых была отмечена тенденция к использованию качественных огнеупорных материалов в регенеративных печах. Вероятность повреждения огнеупоров значительно выше для огнеупоров более низкого качества (т.е., тех в которых содержится Ca, Fe и Cr), которые были обнаружены в некоторых производствах тарного стекла. Это весьма специфично для каждого случая, но замена существующих огнеупоров на материалы с более высоким термическим и химическим сопротивлением может потребовать значительных расходов.

Разработчики этого метода ожидали, что модификации регенерационной печи не потребуется в большем количестве случаев.

Экономика

Типовые капиталовложения составляют сумму в диапазоне от 12 миллионов руб. до 21 миллиона руб. в зависимости от количества отверстий для горелок и размера печи.

Эксплуатационные расходы состоят в основном из дополнительных расходов на природный газ, впрыснутый в верхнюю часть камеры регенерационной печи; следовательно, они сильно зависят от цены топлива. Дополнительный расход на оплату лицензии уходит за использование технологии. Формула оплаты за лицензию довольно сложна, но в течение срока службы лицензии, она практически сравнивается с примерно 30 руб. на тонну расплавленного стекла.

Флоат-стекло

Оценка данных расходов, связанных с применением метода 3R, для флоат-стекла и на основе предположительно достигнутого уровня выбросов NO_x равна $<500 \text{ мг/м}^3$, и представлена ниже:

- Капиталовложения, которые варьируются в связи с размером печи, могут быть в диапазоне примерно от 18,6 миллиона руб. (500 т/сутки) до 21,6 миллиона руб. (900 т/сутки).

- Эксплуатационные расходы, состоящие из дополнительного природного газа и лицензии 3R, могут быть в пределах от 60 миллионов руб. до 80 миллионов руб. в год.

- На основе цен на природный газ применение метода 3R приводит в результате в специальных расходах к 300-400 руб. на тонну расплавленного стекла для печи флоат-

стекла производительностью 500 т/сутки, и примерно 330 руб. на тонну флоат-стекла для печи 650 т/сутки. Расходы снижения (восстановления) выбросов NO_x на кг составляют 85-110 руб. на кг удаленного NO_x . Для печей флоат-стекла ежегодные выбросы NO_x составляют обычно 700 - 1 000 т NO_x /год, в зависимости от размера печи и первоначальных выбросов NO_x .

- Данные о затратах не включают в себя рекуперацию тепла от котлов утилизаторов отходящих газов.

Тарное стекло

Оценка расходов для применения метода 3R в печах тарного стекла представлена ниже:

- Капиталовложения могут быть в диапазоне от 11 миллионов руб. (200 т/сутки) до 17 миллионов руб. (600 т/сутки).

- Обычные эксплуатационные расходы составляют 18 миллионов руб. в год для печи мощностью 200 т/сутки и до 47 миллионов руб. в год для печи мощностью 600 т/сутки. Это приводит в результате к 240-270 руб./т расплавленного стекла для печей тарного стекла маленького и среднего размера и 220 руб./т расплавленного стекла для очень больших печей.

- Расходы, рассчитанные для снижения (восстановления) выбросов NO_x , составляют примерно 150 руб. на кг удаленного NO_x . Для более маленьких печей тарного стекла (200 - 300 т/сутки) полученное снижение выбросов составляет примерно 125 - 150 т/сутки, и для печи 600 т/сутки можно уменьшить выбросы на более чем 300 т/год NO_x .

- Данные о затратах не включают в себя рекуперацию тепла от котлов утилизаторов отходящих газов.

Растущая стоимость топлива и штрафы, связанных с ростом выбросов CO_2 , вероятно повлияют на использование метода 3R в будущем.

Ведущая сила для внедрения

Соответствие законодательным ограничениям, и получение преимущества от небольших необходимых капиталовложений, являются двумя побудительными силами для использования этого технического приема.

Заводы - образцы

В настоящее время есть, по крайней мере, 14 печей со смонтированным оборудованием 3R в мире. Случаи применения есть в основном в отрасли флоат-стекла и немного случаев в других отраслях.

4.4.2.7. Избирательное каталитическое восстановление (SCR)

Описание

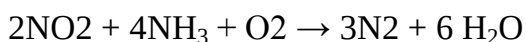
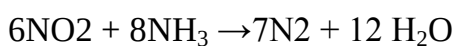
Избирательное каталитическое восстановление (SCR) охватывает реакции NO_x с аммиаком в каталитической среде при нужной температуре. Есть несколько катализаторов, причем каждый действует в течение температурного окна с небольшими отличиями. Самыми распространенными катализаторами являются оксиды ванадия и титана (обычно TiO_2 и V_2O_5), нанесенные в виде пропитки на металлическую или керамическую подложку. Можно также использовать цеолитовое молекулярное сито с реакцией, происходящей в микроскопической пористой структуре. Можно оптимизировать рабочие характеристики цеолитов за счет добавления металлов, таких как платина и палладий в структуру. В зависимости от того, какой катализатор используется, важно поддерживать правильную рабочую температуру – обычно 200-500 °C с оптимальной величиной 300-450 °C.

Катализаторные блоки, используемые в стекольной промышленности, представляют собой модульные ячеистые структуры (пчелиные соты), а не гранулированные или пластинчатые формы, которые применяются в других отраслях. Размер такого блока зависит от объема обрабатываемых отходящих газов и нужного восстановления NO_x . Модульная структура даёт возможность для быстрой замены секции или добавления дополнительного катализатора. Срок службы катализатора зависит от многих факторов, но особенно от состава отходящих газов и компоновки производства. Большинство поставщиков гарантирует срок службы в три года или больше, поэтому для большинства

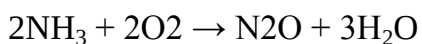
случаев промышленного применения можно ожидать длительность работы в 5-6 лет без значительного ухудшения.

Системы обычно проектируются так, чтобы получить восстановление 75-95 % NO_x , несмотря на то, что эффективность долговременного удаления оксидов поддерживается между 70 и 80 %. В теории эффективность восстановления NO_x растет вместе с молярной пропорцией NH_3 : NO_x , но эту величину обычно удерживают возможно более близко к 1:1, чтобы минимизировать проскальзывание аммиака. NO_x реагирует с NH_3 в соответствии с общим порядком реакций, как показано ниже. Эти реакции обычно происходят при 950 °C (см. раздел 4.4.2.8), но наличие катализатора понижает температуры за счет абсорбирования NH_3 , которая реагирует с NO от газовой фазы. Аммиак впрыскивается выше по цепочке реакций от катализатора, либо в качестве жидкого NH_3 , либо как водный раствор. Мочевина используется в некоторых случаях применения, но не пользуется популярностью в стекольной промышленности.

Основные реакции окисления – восстановления представляют собой следующее:



Также имеет место быть несколько нежелательных реакций:



С избирательным каталитическим восстановлением (SCR) производство N_2O остается очень небольшим, и обычно не является проблемой. Образование SO_3 и последующая реакция ведет к тому, что бисульфат аммония (NH_4HSO_4) может стать проблемой особенно при сортах топлива с высоким содержанием серы. Бисульфат аммония может отравить катализатор и вызвать загрязнение и коррозирование оборудования. Некоторые пылесодержащие щелочные металлы (т.е., MgO , CaO , Na_2O , K_2O) или тяжелые металлы также могут действовать как катализаторный яд (антикатализатор).

Хотя существуют системы борьбы с большой пылью во время процессов работы со стеклом, необходимо смонтировать блок удаления пыли перед устройством избирательного каталитического восстановления (SCR). Это устройство должно снижать кон-

центрацию пыли до $10 - 15 \text{ мг/м}^3$, и это почти всегда электростатический осадитель. Низкая эксплуатационная температура рукавных фильтров требует, чтобы отходящие газы были повторно подогреты до температуры реакции для катализатора, что значительно увеличивает эксплуатационные расходы и может, в общем, рассматриваться как чрезмерно дорогая методика. Также необходимо, продувать воздух сквозь катализаторную среду (примерно каждые 2 часа), чтобы не допустить закупоривания и засора оставшимися тонкими частицами пыли. Использование «Избирательного каталитического восстановления» (ESP) означает, что во многих случаях система очистки кислотных газов тоже должна быть смонтирована на оборудования до устройства «Избирательного каталитического восстановления» (ESP).

Достигнутые преимущества защиты окружающей среды

Полученные уровни выбросов NO_x зависят в основном от концентрации на входе и от количества катализатора и используемого аммиака. Уровень аммиака обычно сохраняется ниже пропорции 1.1:1, до ограничения потенциального прорыва аммиака. Есть сообщения о концентрациях вредных примесей ниже 500 мг/м^3 в некоторых случаях в рамках стекольной промышленности, в отраслях тарного и листового стекла с применением двухслойного катализатора. О более высоких величинах примерно 700 мг/м^3 сообщают для установок с применением однослойного катализатора.

В теории возможно указанное достаточное количество катализатора, очень низкие уровни выбросов, но на практике существуют многие ограничения, которые сдерживают рабочие характеристики.

Без высокой степени усилий по обработке первичных оксидов азота NO_x , остальные и более типичные выбросы стекольной печи будут в диапазоне $1200-2000 \text{ мг/м}^3$, а восстановление 80-90 % дает еще более высокие величины в диапазоне от ниже 200 до 500 мг/м^3 и от 0.5 до 1.0 кг/т расплавленного стекла для отрасли тарного стекла и от 1 до 1.5 кг/т для листового стекла. Если их объединить с первичными усилиями, описанными в разделе 4.4.2.1, то можно ожидать очень низкие величины, но в этом случае надо принять в расчет совокупные расходы и межсредовые последствия на тонну обработанных NO_x .

На практике, как уже было указано ранее, фактические величины для применения в случаях с тарным и листовым стеклами находятся в диапазоне 400-800 мг/м³, с эффективностью удаления в диапазоне 70-80 % в зависимости от первоначальной концентрации NO_x. Для секторов производства специального стекла с использованием нитратов в формуле шихты с первоначальной концентрацией NO_x до 5000 мг/м³, как сообщается, величины будут примерно 900 мг/м³ с использованием метода избирательного каталитического восстановления (SCR). Эти величины обычно связаны с проскальзыванием аммиака в диапазоне 8-20 мг/м³; однако, как сообщается, в наличии есть величины <30 мг/м³, если получены концентрации NO_x в нижнем краю диапазона, или если применяется только система с однослойным катализатором.

Межсредовое влияние загрязнений

Основные межсредовые последствия, связанные применением избирательного каталитического восстановления (SCR), заключаются в потенциальных выбросах аммиака, использовании электроэнергии и образовании твердых отходов в конце срока службы катализатора. Использование аммиака связано не только с проскальзыванием непрореагировавшего раствора, но также с требованиями к защите окружающей среды и безопасности во время транспортирования, хранения и использования аммиака (чтобы не допустить и контролировать опасности крупных аварий, с наличием опасных веществ). Также надо рассматривать непрямые выбросы, относящиеся к производству аммиака.

Проскальзывание аммиака из-за системы избирательного каталитического восстановления (SCR) в отходящие газы обычно составляет менее 30 мг/м³. Как сообщается, концентрация примерно 30 мг/м³ в случае применения однослойного катализатора на производстве флоат-стекла с начальным уровнем NO_x 2400 мг/м³ и эффективностью удаления 71 %. Как сообщается, концентрация составляет 33 мг/м³ для двухслойного катализатора для печи флоат-стекла в связи с малой кратковременной концентрацией NO_x примерно 340 мг/м³.

Как сообщается, выбросы аммиака составили 20 мг/м³ для печи специального стекла с начальной концентрацией 5278 мг/м³ и эффективностью восстановления 80 %.

Обычно дополнительный слой катализатора может снизить проскальзывание аммиака и увеличить возможность снижения выбросов NO(x) (всего удаление NO(x) >80

%). Однако повышение рабочих характеристик получено за счет дополнительных расходов, которые надо принять в расчет.

Использование электричества (для дополнительной мощности вентилятора и воздуха под давлением, чтобы очистить модули катализатора и атомизировать раствор аммиака в отходящих газах), а также потребление аммиака связано с непрямыми выбросами, относящимися к их производству. Оценка, выполненная для метода избирательного каталитического восстановления (SCR) и примененная к печам флоат-стекла приводит в результате к 1.8-2.5 тоннам в год не прямых выбросов NO_x и 800-1500 т CO_2 в год в зависимости от размера печи флоат-стекла. Непрямые выбросы NO_x представляют собой только от 0.3 до 0.5 % количества $\text{NO}(x)$ восстановленного с помощью избирательного каталитического восстановления (SCR) (600-1300 т в год для печей флоат-стекла мощностью 500-600 т/сутки) и не прямые выбросы CO_2 составляют почти 1 % выбросов CO_2 стекольной печи.

Отходы возникают, когда надо обновить катализатор после истечения его срока службы. Обычный срок службы катализатора составляет 4-5 лет (как сообщается, для тарного стекла >10 лет), и объем произведенных отходов может составлять 20 м³ для стекольной печи производительностью 700 т/сутки.

Операционные данные

В большинстве случаев применения в рамках стекольной промышленности способ избирательного каталитического восстановления (SCR) используется, чтобы обеспечить соответствие с действующим национальным законодательством, которое часто указывает не менее 500 мг/м³. Уровни выбросов NO_x <500 мг/м³ (<800 мг/м³ для высоких величин концентрации на впускном патрубке) обычно достигаются с использованием избирательного каталитического восстановления (SCR). Нынешние эксплуатационные данные заданы действующим законодательством и касаются, как NO_x , так и выбросов остаточного аммиака.

В некоторых отраслях величины <200 мг/м³ были получены, и можно ожидать, что величины около указанных уровней можно получить в некоторых случаях в стекольной промышленности. Однако следует отметить, что эти более низкие величины не

были получены на практике в стекольной промышленности, и следует рассмотреть, как технические, так и экономические сложности.

Большинство действующих случаев применения способа избирательного каталитического восстановления (SCR) в рамках стекольной промышленности были получены за счет уменьшения (восстановлении) в диапазоне 70-80 %, но 80-95 % можно достигнуть потенциально особенно с новыми установками избирательного каталитического восстановления (SCR) за счет увеличенных объемов катализатора (т.е., второго слоя в модулях катализаторах).

Печи тарного и листового стекла получили свои самые лучшие показатели между 460 – 500 мг/м³ с помощью этого способа, не превышая концентрации NH₃ равные 30 мг/м³ работы ниже по технологической цепочке от избирательного каталитического восстановления (SCR) работы ниже по технологической цепочке от устройства SCR.

Данные, относящиеся к образцовым установкам, производящим тарное, листовое и специальное стекло, с применением способа избирательного каталитического восстановления (SCR) в комбинации с и стадией сухой газоочистки, представлены в Таблице 4.9.

Таблица 4.9: уровни выбросов NO_x, связанные с использованием способа избирательного каталитического восстановления (SCR)

	Тарное стекло (1)	Листовое стекло (2)	Специальное стекло (3)
Тип печи	Печь с подковообразным пламенем (четыре печи)	Плоская	Печь с поперечным направлением пламени (регенеративная печь)
Общий удельный объем стекломассы	640 т/сутки	600 т/сутки	170 т/сутки
Устройство избирательного каталитического восстановления (SCR)	Катализатор с двумя слоями сот/ячеек	Катализатор с одним слоем сот/ячеек	Катализатор с ячейками объемом 10 м ³

	Тарное стекло (1)	Листовое стекло (2)	Специальное стекло (3)
Восстановитель	Раствор ам- миака 25 %	Раствор ам- миака 25 %	Раствор аммиака 25 %
Потребление восстановителя	145 л/час	200 л/час	Нет данных
Связанные уровни выбросов (ПДК = AELs)	Получасовые средние вели- чины	Получасовые средние ве- личины	Получасовые средние величи- ны
Выбросы NO _x			
мг/м ³ , сухой газ при 8 % O ₂	456	700	950
Кг/т стекла	0.97 (4)	1.12	6.05
Эффективность удаления NO _x	75 %	71 %	82 %
Выбросы аммиака			
мг/м ³ , сухой газ при 8 % O ₂	19.5	<300	20
(1). Установка состоит из 4-х печей. (2). Установка оборудована системой непрерывного мониторинга NO_x, NH₃ и других параметров. (3). Установка оборудована системой рекуперации тепла. Формула шихты содержит нитраты. (4). Эту величину можно рассчитать на основе предоставленной информации (масса расхода, объем топочных газов, расплавленного стекла, концентрации выбросов). (5). Эта величина относится к точечным замерам. Замеры средних величин концентрации примерно 10 мг/м³ проводились непрерывно.			

Пример изменений со временем концентрации вредных примесей NO_x от производства флоат-стекла, оборудованного избирательного каталитического восстановления (SCR) представлен ниже

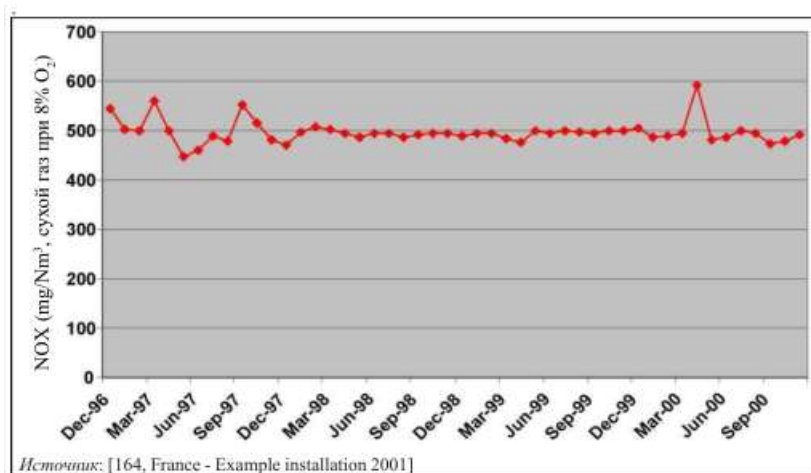


Рисунок 4.8. Данные, представленные на этом рисунке, относятся к ежемесячным средним величинам причем концентрации вредных примесей NO_x измеряются непрерывно.

Аккредитованная лаборатория выполняла измерения с перерывами на той же самой печи флоат-стекла через сопоставимые промежутки времени. Результаты измерений представлены в Таблице 4.9 для концентрации (мг/м^3 , при 8 % O_2) и для массы выброса (кг/т расплавленного стекла).

Таблица 4.9: Результаты прерываемых измерений выбросов NO_x для печи флоат-стекла, оборудованной устройством избирательного каталитического восстановления (SCR)

Дата	Выбросы $\text{NO}(x)$ (1)	
	мг/м^3 , при 8% O_2	кг/т расплавленного стекла
Февраль - 97	485	1.15
Апрель -98	419	1.01
Ноябрь-98	372	0.91
Апрель-98	433	1.04
Октябрь-98	375	0.92
Апрель-00	343	0.84
Ноябрь-00	411	1.00
(1) Величины относятся к прерываемым измерениям, выполняемым сертифицированной		

Реагент NH_3 , используемый для избирательного каталитического восстановления (SCR), часто предварительно испаряется и впрыскивается в форме пара под давлением в топочные газы выше по технологической цепочке относительно среды катализатора. Можно использовать либо жидкий аммиак, либо водный раствор (обычно 25 %). Жидкий NH_3 является опасным веществом, и существуют важные вопросы стоимости и безопасности, связанные с его хранением и использованием, включая информирование окружающих. Большинство стекольных технологий не использует эти типы химических веществ, и оператор предпочитает использовать водный раствор, для которого также необходимо бережное хранение и погрузка. Необходимо, принять в расчет вопросы, связанные со спецификой рабочей площадки, особенно близость жилья и чувствительной окружающей среды

Рабочая температура избирательного каталитического восстановления (SCR) должна составлять примерно 330 °C, чтобы не допустить образования бисульфата аммония ($\text{NH}_4\cdot\text{HSO}_4$). Этот продукт выпадения в осадок может вызвать загрязнение поверхностей катализатора и установки избирательного каталитического восстановления (SCR), что приведет к плохим рабочим характеристикам.

Если эти явления не случились, то срок службы катализатора должен составить, по крайней мере, 4-5 лет для большинства стекольных печей, и характеристик топочных газов, но есть заявления о значительно более длинных периодах (до 10-12 лет).

Обычный объем катализатора, необходимый для печи флоат-стекла производительностью 700 т/сутки расплавленного стекла (90 000 м³/час объем топочных газов) составляет 20 м³ (один слой). Обычно оценка говорит о том, что 0.008 м³ катализатора используется на тонну восстановления выбросов NO_x , и объем 20 м³, использованный в течение периода 4-5 лет, восстановит общее количество выбросов $\text{NO}(x)$ примерно 2500-3000 т за указанный период.

Использование катализатора с двумя слоями улучшит эффективность удаления NO_x , и понизит проскальзывание аммиака. При одном слое восстановление $\text{NO}(x)$ составит примерно 75-80 % для определенного уровня скорости подачи аммиака. Более высокая скорость подачи, используемая для однослойного катализатора (1-1.3 метра в высо-

ту) увеличит проскальзывание аммиака до величин, которые могут быть неприемлемыми.

Обзор основных преимуществ и недостатков, связанных с использованием способа избирательного каталитического восстановления (SCR):

Преимущества:

- Очень высокая эффективность восстановления NO_x
- Восстанавливает NO_x из любых источников в печи, не только термальный NO_x
- Может образовать часть объединенной системы управления загрязнением воздуха.
- Несколько примеров в рамках стекольной промышленности для отраслей по производству разного стекла
- Поставщики часто предоставляют гарантии рабочих характеристик

Недостатки:

- Для некоторых случаев применения еще надо решить технические вопросы (т.е. некоторые сорта стекла могут содержать бор)
- Аммиак поглощается и частично уходит в воздух, возникают межсредовые последствия, относящиеся к производству аммиака, защите окружающей среды и безопасности, связанные с хранением и погрузкой.
- Энергия потребляется системой
- Надо смонтировать устройство улавливания пыли и очистки кислых газов, также необходимы низкие уровни SO_2 и понижения запыленности
- Относительно высокая капиталоемкость особенно для небольших производств
- Высокие требования к пространству (площади помещений)
- Относительные преимущества по стоимости, учитывая износ за счет разработок других менее дорогих технологий
- Есть сомнения относительно сроков службы катализатора
- Возможное взаимодействие между катализатором избирательного каталитического восстановления (SCR) и других выбросов (т.е., SO_2)
- Эксплуатационные температурные ограничения для возможностей рекуперации тепла
- Может потребоваться охлаждение газа для печи с рекуператорами

- Из-за нужной минимальной рабочей температуры способ избирательного каталитического восстановления (SCR) не подходит для использования крупных рукавных фильтров без повторного нагрева газа.

Применимость

В принципе способ избирательного каталитического восстановления (SCR) можно применять для большинства новых и действующих процессов в стекольной промышленности. Однако существует ряд вопросов, которые жестко ограничивают применимость этой технологии в определенных случаях.

Высокие уровни SO_2 в топочных газах могут привести в результате к образованию бисульфата аммония, что вызывает отравление катализатора и последующую коррозию. Это потенциально опасно для газовых печей с высокими уровнями сульфата. Чтобы избежать этой проблемы, надо поддерживать температуру топочных газов выше 330°C . Один из ключевых аспектов среди расходов для способа избирательного каталитического восстановления (SCR) представляет собой срок службы катализатора, который может быть сильно снижен при загрязнении.

Способ избирательного каталитического восстановления (SCR), был использован в электроэнергетике, чтобы обрабатывать газы с высокими концентрациями SO_2 , и проблема была решена за счет использования эффективной технологии десульфуризации (удаления серы) из топочных газов выше по технологической цепочке от этого оборудования. Маловероятно, что эффективность удаления SO_2 системы очистки газа, используемой в рамках стекольной промышленности, будет достаточной для способа SCR. Более эффективное удаление SO_2 существенно увеличит расходы, и сделает затруднительным возвращение в печь повторно собранного материала, что создает дополнительный поток отходов. Дополнительная информация есть в разделе 4.4.3.

Способ избирательного каталитического восстановления (SCR) требует много места особенно для очистки и блоков фильтров, которые надо смонтировать. На некоторых действующих производствах, где имеются ограничения по площади, такая технология может значительно увеличить стоимость или в некоторых случаях сделать производство чрезмерно дорогим.

Другим важным фактором, влияющим на применимость избирательного каталитического восстановления (SCR), является температура топочных газов. Совсем не практично использовать способ избирательного каталитического восстановления (SCR) в комбинации с системой рукавных фильтров из-за низкой эксплуатационной температуры в диапазоне 180–200 °С, что обычно делает необходимым монтировать систему повторного нагрева отходящих газов. Стоимость повторного нагрева до примерно 400 °С является, в общем, чрезмерно дорогим, с ростом потребления энергии в диапазоне 5–10 % по сравнению с подачей энергии для стеклоплавильную печи.

Даже при наличии фильтрации для способа избирательного каталитического восстановления (SCR) температурное окно может опуститься слишком низко из-за больших изменений продукции (т.е., производство очень тонкого флоат-стекла), что негативно влияет на эффективность системы избирательного каталитического восстановления (SCR).

Способ избирательного каталитического восстановления (SCR) также требует очень низких уровней наличия пыли (предпочтительно $<10 \text{ мг/м}^3$), и действующий способ избирательного каталитического восстановления (SCR) не подходит, нужны модернизация или замена.

Независимо от ограничения применимости случаев, описанных выше для стекольной промышленности, важным соображением для избирательного каталитического восстановления (SCR) остается стоимость по сравнению с другими технологиями.

Способ избирательного каталитического восстановления (SCR) представляет собой относительно дорогую технологию по сравнению с первичными мерами. Все эти технологии были значительно улучшены за последние годы, и во многих случаях применения, в которых необработанные выбросы были менее 2500 мг/м^3 (т.е., в которых нитраты не добавлены или нужна очень высокая температура) способ избирательного каталитического восстановления (SCR) не рассматривался для стекольной промышленности, чтобы представлять собой самую эффективную по стоимости технологию для снижения выбросов NO_x , но эволюция расходов на энергию может сделать эту технологию привлекательной по сравнению с другими опциями (т.е., химическим восстановлением с помощью топлива, или некоторыми из случаев применения кислородно-

топливного горения, в которых есть очень высокие концентрации на впускном патрубке).

В настоящее время все еще проводятся испытания стекольных печей с использованием специальных типов керамических фильтров со встроенным катализатором (система обработки топочных газов CerCat), которые могут сопротивляться температурам примерно 400 °C. Однако эта технология рассматривается как развивающаяся, т.к., только недавно выполнены пробные испытания в стекольной промышленности, и данные, относящиеся к случаям применения этого способа вплоть до полномасштабного промышленного применения, пока отсутствуют.

Способ избирательного каталитического восстановления (SCR) был проверен для определенных сортов стекла, которые содержат высокие уровни бора (фармацевтические боросиликатные трубки), но они пока не были испытаны для стекольного волокна или непрерывных стеклонитей. Потенциальная проблема для этих процессов это наличие летучих смесей бора, особенно борной кислоты в отходящих газах. Эти материалы могут конденсироваться вплоть до образования солей и кислотных материалов до 60 °C и при температурах способа избирательного каталитического восстановления (SCR) вероятно будут в наличии в значительных количествах. Эти материалы могут серьезно негативно повлиять на рабочие характеристики катализатора, и их будет трудно удалить с помощью продувки сажи.

Случаи применения избирательного каталитического восстановления (SCR) для установок, производящих стекло для сортовой посуды с высокими уровнями оксида кальция в составе шихты, могут быть проблематичными из-за потенциального эффекта отравления (загрязнения) щелочного компонента катализатора.

Экономика

Стоимость способа избирательного каталитического восстановления (SCR) зависит в основном от размера производства (объема отходящих газов для очистки), и нужной эффективности восстановления NO_x . Кроме того, из-за того, что способ избирательного каталитического восстановления (SCR) является интегрированной трехфазной системой борьбы с загрязнением, стоимость этой технологии сильно зависит от того, включена ли сюда стоимость способа избирательного каталитического восстановления

(SCR) и нейтрализатора отходящих газов. В некоторых случаях можно поспорить о том, что без монтажа системы избирательного каталитического восстановления (SCR), для печи может быть не нужно оборудование пылеулавливания, несмотря на то, что для большинства известных случаев это требование остается важным.

Данные о стоимости были оценены для разных типов производства и производительности печей. Данные основываются на реальных стоимостных показателях (т.е., на расчетах поставщиков) и рассчитанных величинах.

Связанные уровни выбросов, использованные для стоимостей, относящихся к случаям применения системы избирательного каталитического восстановления (SCR) для стекольных печей находятся в диапазоне 400–500 мг/м³ NO_x.

Данные о стоимости, представленные ниже, не включают в себя капитальные и эксплуатационные затраты, относящиеся к ранее требовавшимся установкам десульфуризации и оборудования пылеулавливания.

Производство флоат-стекла

- Типичные капиталовложения включают в себя катализатор, помещение для него, вентилятор или средства повышения производительности вентилятора, чтобы преодолеть перепад давления над катализатором (примерно 10 мбар), дополнительные воздушные каналы, решение по хранению аммиака, меры по мониторингу и безопасности NO_x для подготовки рабочей площадки.

- Общие капиталовложения могут варьироваться от 72 миллионов руб. до 186 миллионов руб., в зависимости от размера печи (500-900 т/сутки); более высокие величины относятся к производству 900 т/сутки флоат-стекла. Капиталовложения могут различаться от одной рабочей площадки до другой в зависимости от общей длины воздуховодов, объема топочных газов и мер безопасности, которые надо предпринять.

- Эксплуатационные расходы в основном образованы затратами на раствор аммиака (или мочевины), электричество, техобслуживание и катализатор. Данные расходы относятся к системе избирательного каталитического восстановления (SCR) с одним слоем катализатора и модулями «КЭТ» высотой примерно 1.2-1.4 метра.

- На основе начальной концентрации NO_x примерно 1800-2000 мг/м³ для газовых печей флоат-стекла ежегодные эксплуатационные расходы печи флоат-стекла будут в

диапазоне примерно от 20 миллионов руб. (печь производительностью 500 т/сутки) до 27 миллионов руб. (печи производительностью 900 т/сутки). Потребление аммиака и связанные расходы увеличиваются для более высоких концентраций NO_x для необработанных топочных газов. Типичные дополнительные расходы на производство флоат-стекла составят примерно 150 руб./т расплавленного стекла. Для менее крупных производств флоат-стекла (<600 т/сутки) и на основе горения газа, эти величины могут возрасти до 180 руб./на тонну стекла.

- Специальные расходы на сокращение выбросов на кг NO_x для применения способа избирательного каталитического восстановления (SCR) для печей флоат-стекла составляют примерно 42-54 руб. на кг удаленного NO_x .

Производство тарного стекла

- Обычные капиталовложения могут быть в диапазоне примерно 50-75 миллионов руб., в зависимости от размера печи; для более высокой величины это будет 450 т/сутки и для более низкой производительности печи составит примерно 200 т/сутки. Могут потребоваться дополнительные инвестиции для модернизации системы очистки топочных газов (т.е., концентраций твердых частиц и $\text{SO}(x)$ оксидов серы).

- Эксплуатационные расходы составляют примерно 4,5-5 миллионов руб. для печи производительностью 200 т/сутки и до суммы примерно 8 миллионов руб. в год для более крупной печи производительностью 450 т/сутки.

- Специальные расходы на тонну расплавленного стекла составляют примерно 110-140 руб.

- Специальные расходы на тонну расплавленного стекла остаются ниже по сравнению со стекольными печами, из-за более низкого потребления энергии и более низкого объема топочных газов. В зависимости от размера печи дополнительные расходы на производство находятся в диапазоне 110-140 руб. на тонну расплавленного стекла, причем для более крупных печей величины будут меньше.

- Специальные расходы на сокращение выбросов на кг NO_x будут выше по сравнению с печами флоат-стекла в диапазоне 80-100 руб. на кг удаленного NO_x , в зависимости от размера печи тарного стекла. Специальные расходы будут возрастать с уменьшением производительности печи.

Производство стекла для сортовой посуды

Данные о специальных расходах отсутствуют в отношении технологии избирательного каталитического восстановления (SCR) для оборудования в отрасли производства стекла для сортовой посуды, т.к., в настоящее время указанная технология не применяется в этой отрасли. За счет экстраполяции из данных, относящихся к случаям применения избирательного каталитического восстановления (SCR) в отрасли тарного стекла, можно оценить стоимости:

- Для рекуперационной печи производительностью примерно 35 т/сутки, изготавливающей столовую посуду, применение избирательного каталитического восстановления (SCR) потребует привлечения капиталовложений примерно 30 миллионов руб. (включая подготовку рабочей площадки, дополнительные вентиляционные мощности, хранение аммиака) и эксплуатационные расходы в размере до 2,5 миллиона руб. в год. Специальные расходы на тонну расплавленного стекла оцениваются в 480 руб., восстановление выбросов NO_x составляет примерно 20–25 т NO_x в год со специальными расходами примерно 240-270 руб. на кг удаленного NO_x .

- Для более крупной регенеративной печи, производящей столовую посуду, капиталовложения составят примерно 45-48 миллионов руб., а эксплуатационные расходы 5 миллионов руб. в год со специальными расходами почти 300 руб. на тонну расплавленного стекла и 80 руб. на кг восстановления выбросов NO_x .

В общем, добавление дополнительного слоя катализаторных модулей обычно увеличивает стоимость системы избирательного каталитического восстановления (SCR) на примерно на 36-48 руб. на тонну расплавленного стекла и создает дополнительное снижение примерно на $100 \text{ мг/м}^3 \text{ NO}_x$. Связанные дополнительные расходы составляют примерно 130 руб. на любой дополнительный кг выбросов NO_x , включая дополнительные расходы на катализатор, плюс дополнительные расходы на электричество для увеличения производительности вентилятора.

Несколько примеров фактических данных стоимости, связанные с использованием способа избирательного каталитического восстановления (SCR) (в связи с технологией ESP и стадией сухой очистки) представлены в Таблице 4.10 для оборудования, производящего тарное, листовое и специальное стекло.

Таблица 4.10: Данные стоимости, связанные с использованием способа избирательного каталитического восстановления (SCR) для стекловаренных печей на природном газе

	Тарное стекло (1)	Листовое стекло	Специальное стекло (1)
Общая производительность	640 т/сутки	600 т/сутки	220 т/сутки
Связанные уровни выбросов (ПДК = AELs)	456 мг/м ³ 0.97 кг/т стекла	700 мг/м ³ 1.12 кг/т стекла	950 мг/м ³ 6.05 кг/т стекла
Система управления выбросами	Система SCR + ESP + сухая газоочистка с Ca(OH) ₂	Система SCR + ESP + сухая газоочистка с Ca(OH) ₂	Система SCR + ESP + сухая газоочистка с Ca(OH) ₂
Связанные расходы (2)			
Капиталовложения на избирательное каталитическое восстановление (SCR), включая хранение аммиака	140 миллионов руб.	Нет данных	90 миллионов руб.
Капиталовложения на ESP + сухая газоочистка	240 миллионов руб.	Нет данных	170 миллионов руб.
Общие капиталовложения	362 миллиона руб.	300 миллионов руб.	258 миллионов руб.
Продолжительность амортизации	13 лет	Нет данных	10 лет
Ежегодные амортизационные отчисления на систему SCR + ESP и сухую газоочистку	50 миллионов руб./год	Нет данных	34 миллиона руб./год

	Тарное стекло (1)	Листовое стекло	Специальное стекло (1)
Специальные капиталовложения на катализатор	120 руб./т стекла	Нет данных	560 руб./т стекла
Стоимость поставок аммиака	6 миллионов руб./год	Нет данных	Нет данных
Специальные капиталовложения на систему управления выбросами	337 руб./т стекла	270 руб./т стекла	1200 руб./т стекла
(1). Расходы включают в себя дополнительное оборудование, вентилятор, трубопровод, оборудования для хранения аммиака. (2). Данные стоимости представляют собой величины на год монтажа системы контроля выбросов и не обязательно являются репрезентативными для текущих расходов.			

Ведущая сила для внедрения

Основная ведущая сила заключается в том, чтобы соответствовать разрешенной предельной величине выбросов.

4.4.2.8. Выборочная некаталитическая редукция (SNCR)

Описание

Процесс выборочной некаталитической редукции (SNCR), известной также как термическое удаление NO_x , оксиды азота в топочных газах восстанавливаются до азота с помощью реакции с аммиаком или с мочевиной при высоких температурах. В стекольной промышленности в основном аммиак и водный аммиак (обычно 25 массы % водного раствора) используется, иногда с применением мочевины. Задействованные химические реакции являются такими же, как для способа избирательного каталитического восстановления (SCR), описанного в разделе 4.4.2.7 выше. Однако реакции проходят при повышенных температурах без необходимости в катализаторе. Эксплуатационная температура находится в диапазоне 900–1050 °C, но оптимальной температурой является примерно 950 °C для аммиака и 1000 °C для мочевины.

В некоторых случаях применения было предложено, что внесение водорода в отходящие газы может помочь прохождению реакции при более низких температурах, но об этом способе применения в стекольной промышленности не сообщалось. В соответствии с технологией выборочной некаталитической редукции (SNCR) аммиак впрыскивается в печь, потом в устройство избирательного каталитического восстановления (SCR), и обычно смешивается с носителем газа. Эффективность этой технологии зависит от ряда факторов, из которых основными являются следующие:

- температура
- первоначальная концентрация NO_x
- единообразный реагент и смешивание топочных газов
- соотношение аммиака и NO_x ;
- время реакции (нужны 1-2 секунды) в диапазоне температур 900-1050 °C.

Особенно важно, обеспечить правильный диапазон температур, т.к., впрыск NH_3 при температуре менее 900 °C приведет к проскальзыванию аммиака и понижению эффективности, а температура выше 1050 °C может вызвать дальнейшее образование NO_x . Важно, обеспечить, чтобы реагент равномерно распределился в топочных газах. В момент достижения правильной температуры важно правильно позиционировать форсунки подачи аммиака, но может случиться так, что зона с правильной температурой может быть недоступной, или эксплуатационные условия могут поменяться (т.е., изменение нагрузки). Изменение места зоны правильной температуры можно исправить, и определить место для форсунок на будущее, но это добавит капитальных затрат, и будет зависеть от вопроса доступности. Равномерное распределение можно обеспечить хорошим проектированием воздухопроводов, если необходимо, надо использовать разделительные перегородки и прочие устройства для корректировки направления потока.

Эта технология страдает от тех или иных потенциальных эксплуатационных проблем, в качестве площадки избирательного каталитического восстановления (SCR), т.е., из-за проскальзывания аммиака, образования N_2O (большого для мочевины), и образования бисульфата аммония. Образование бисульфата аммония может быть выше, чем при избирательном каталитическом восстановлении (SCR), потому что эксплуатационная температура требует смонтировать впрыск выше по технологической цепочке от

этого оборудования от любого фильтра и системы газоочистки. Там нет катализатора, но бисульфат аммония может вызвать проблему спекания.

Из-за трудностей, встречающихся в обеспечении однородного смешивания между реагентом и топочными газами в рамках нужного температурного окна, применение технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) для печей регенеративного типа сильно ограничено.

Достигнутые преимущества защиты окружающей среды

Для технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) часто указывается уменьшение NO_x в диапазоне 40–70 %, несмотря на то, что есть сообщения о величинах выше 80 % для некоторых случаев применения вне стекольной промышленности.

Главным фактором влияния является степень, до которой можно оптимизировать факторы, зависящие от рабочих характеристик. Процессы с хорошим управлением, в которых можно получить оптимальные условия, могут дать восстановление 50–75 %.

Межсредовое влияние загрязнений

Выбросы аммиака представляют собой одну из основных забот, и могут быть фактором, ограничивающим эффективность этой технологии. В качестве дополнения к требованиям по транспортированию и хранению аммиака, нужны еще меры безопасности, чтобы не допустить протечки аммиака, возможность загрязнения во время работ по хранению до впрыска в поток топочных газов. Эти меры безопасности оказывают финансовое влияние.

Непрямые выбросы, связанные с потреблением энергии для производства электричества (предположительно воздух, производство аммиака) также надо принять в расчет. Использование энергии для случаев применения технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) составляет примерно 1700 кВтч/т очищенного NO_x , в то время как, энергия для производства аммиака оценивается в 10 кВтч/кг NH_3 . Поступления от непрямых выбросов (в основном CO_2) от производства электричества остаются очень небольшим по сравнению с выбросами стекольной печи, т.е., менее 0.35 % от всего количества выбросов.

Эксплуатационные данные

Конечная концентрация выбросов зависит от первоначальной величины NO_x , и наилучшие результаты будут получены, если технологию объединить с мерами первичного восстановления. Но в этом случае надо принять в расчет совокупные расходы и межсредовые последствия, особенно на тонну обработанного NO_x . Например, первоначальная концентрация 1100 мг/м^3 может быть снижена до величины между 275 и 770 мг/м^3 в зависимости от рабочих условий. Высокая первоначальная концентрация 4000 мг/м^3 может быть снижена до величины между 1000 и 2800 мг/м^3 .

Типовые эксплуатационные данные, связанные с применением технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) для стеклостекловаренной печи представлены ниже. Для технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) с использованием аммиачного раствора:

- проскальзывание аммиака: $<10 \text{ мг/м}^3$
- использование аммиака: обычно, примерно 0.75 кг NH_3 требуется на кг удаленного NO_x (расчет в качестве NO_2), предполагая, что эффективность удаления 50 % с результирующими выбросами от 0.5 до 1 кг $\text{NO}(x)$ на тонну расплавленного стекла для производства известково-натриевого тарного стекла.

Для технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) с использованием мочевины:

- проскальзывание аммиака: 3 мг/м^3
- использование мочевины: обычно, примерно 1.4 кг мочевины на кг удаленного NO_x (расчет для NO_2), предполагая, что эффективность удаления до 40 % с результирующими выбросами 2.6 кг на тонну стекла (специального стекла, телеэкранов с нитратами в шихте).

Обзор основных преимуществ и недостатков, связанных с использованием технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR):

Преимущества:

- Можно получить хорошую эффективность восстановления NO_x , если есть правильные условия
- Низкие капиталовложения по сравнению с некоторыми альтернативами
- Не требуется катализатор

- Низкие потребности в энергии

Недостатки:

- Очень важен впрыск аммиака в рамках правильного температурного диапазона, причем, иногда трудно или нецелесообразно, обеспечить (особенно для регенеративных печей)
- Однородное смешивание очень важно и может быть трудным его получение
- Аммиак потребляется и выделяется, причем хранение и погрузка материала требует мероприятий по защите окружающей среды и безопасности
- Забота о возможном ущербе для огнеупорного материала регенерационной печи

Применимость

В принципе эта технология применима для всех стекольных производств, включая новые и действующие. Технология выборочной некаталитической редукции (SNCR) использует более низкие капиталовложения и для нее необходимо меньше места, чем для избирательного каталитического восстановления (SCR), что, соответственно, делает ее привлекательной для производства с ограниченным пространством. Также эта технология может работать без газоочистки и оборудования пылеулавливания. Если есть правильные рабочие условия, то технология выборочной некаталитической редукции (SNCR) проще для внедрения в действующие производства по сравнению со способом избирательного каталитического восстановления (SCR). Однако у этой технологии есть определенные факторы, которые ограничивают применимость в рамках стекольной промышленности. Из них наиболее важным является то, что можно ли внести реагент в точку в системе отходящих газов, где можно поддерживать правильную температуру в течение нужного для реакции времени. Это фактор имеет особое значение на действующих производствах и для регенеративных печей.

На действующих производствах зона с правильной температурой может оказаться трудным местом, чтобы туда попасть или она может быть в положении, где поток газа затрудняет хорошее смешивание с реагентом. Во многих случаях эти проблемы можно преодолеть или уменьшить, но это значительно увеличит стоимость и может снизить эффективность восстановления NO_x . В регенеративных печах правильный температурный диапазон обычно существует в пределах камер регенераторов, которые затрудняют

эффективный впрыск аммиака. Проблему можно решить с помощью использования отдельных регенеративных печей и впрыска аммиака в соединительную камеру. Раздельные регенеративную печь можно включить в проектирование нового производства, но для действующих регенеративных печей такое решение потребует значительных расходов и может быть выполнено с помощью перестроения. Даже при использовании разделенных регенеративных печей, будет трудно поддерживать температурное окно (диапазон) для технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR), из-за реверса горения между камерами, который вызывает циклические температурные изменения и изменения скорости вытягивания в печи.

На основе указанных выше трудностей, в общем, технология выборочной некаталитической редукции (SNCR) является более простой для внедрения в рекуперативных печах, чем в регенеративных печах. На практике очень маловероятно, чтобы технология выборочной некаталитической редукции (SNCR) была использована в действующих регенеративных печах; расходы и связанные трудности обычно заставляют оператора, выбирать альтернативные варианты, для снижения/восстановления выбросов NO_x . В рекуперативных печах небольшого размера относительные издержки на технологию выборочной некаталитической редукции (SNCR) будут достаточно высокими и во многих случаях, вероятно, что промышленность отдаст предпочтение более экономичным мерам, хотя это зависит от нужного уровня рабочих характеристик.

Экономика

Ниже представлены оценки расходов, связанных со случаями применения технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) для печей разного размера; расчеты выполнены на основе предположительно достижимых уровней выбросов между 450 и 500 мг/нм³ NO_x .

Производство тарного стекла

Типовые капиталовложения для рекуперативных печей с производительностью между 200–350 т/сутки находятся в диапазоне 41-54 миллиона руб. Эксплуатационные расходы были определены в сумму 4,4 миллиона руб. в год для 200 т/сутки для рекуперативной печи, и до 6 миллионов руб. в год для более крупных печей 350 т/сутки. Спе-

специальные расходы находятся в диапазоне 120-140 руб. на тонну стекла с более высокими величинами для небольших печей (200 т/сутки). Расходы на кг удаленного NO_x составляют 120-150 руб. на кг удаленного NO_x , причем они будут выше, чем для случаев применения избирательного каталитического восстановления (SCR) из-за более низкой эффективности конверсии аммиака в ходе процесса выборочной некаталитической редукции (SNCR).

Производство специального стекла

Для случаев применения технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) в печах с кислородно-топливным сжиганием с использованием нитратов в формуле шихты специальные расходы оцениваются в диапазоне 180-240 руб. на тонну стекла и 60 руб. на кг восстановленного NO_x . Относительно низкая стоимость на тонну удаленного NO_x получена из-за высоких первоначальных уровней концентрации в топочных газах печей с кислородно-топливным сжиганием.

Непрерывная стеклонить (стекловолокно)

Нет информации о случаях применения технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) в этой отрасли. Оценка расходов потенциального монтажа такой технологии в печь производительностью 100 т/сутки предполагает капитальные инвестиции в размере 36-39 миллионов руб. с эксплуатационными расходами 3,9-4,2 миллиона руб. в год. Использование технологии выборочной некаталитической редукции (SNCR) увеличит специальные расходы на производство на 240-260 руб. на тонну стекла.

Ведущая сила для внедрения

Низкие расходы и небольшие требования по площади по сравнению с применением способа избирательного каталитического восстановления (SCR) являются ведущими стимулами для внедрения этой технологии.

4.4.3 Оксиды серы

Понятие «оксиды серы» (SO_x) включает диоксид серы (SO_2) и триоксид серы (SO_3), выраженные в эквиваленте SO_2 . На данный момент диоксид серы – наиболее распространенный оксид серы в стекольной промышленности и большая часть нижеследующего текста относится к этой разновидности. При температуре ниже примерно 200°C , SO_3 обычно приобретает форму парообразного кислотного тумана, и, следовательно, серная кислота (H_2SO_4) в общем и целом, считается включенной в понятие SO_x , поскольку она представляет собой продукт конденсации SO_3 . Два основных источника выбросов оксидов серы – это окисление серы в топливе и разложение / окисление серных соединений в материалах шихты.

Удержание соединений серы в стекле обычно находится на низком уровне ($<0.35\%$ в виде SO_3 , в большинстве промышленных стекол) и, в общем, большая часть серы, поступающей в печь, выбрасывается в атмосферу в виде SO_x . Некоторая часть SO_x в потоке отработавших газов будет вступать в реакции с другими веществами, образуя сульфаты, которые конденсируются и образуют пыль.

Количество сульфата в пыли варьируется, в зависимости от типа стекла, и для большей части натрий-кальций-силикатных стекол оно составляет примерно 80-95 %, главным образом сульфат натрия. Этот вопрос более подробно обсуждается в разделе 4.4.1.

В печах с электроподогревом имеется тенденция к очень низкому выбросу SO_2 , и он возникает только вследствие разложения сырья. Во вращающихся печах для варки каменной ваты существует общая восстановительная атмосфера, и сера из сырья и топлива выделяется главным образом в форме SO_x и сульфида водорода (H_2S). В установках, применяемых в России, отходящие газы обычно обрабатываются в форсажной системе, которая окисляет H_2S в SO_2 .

4.4.3.1 Рецепт шихты

Описание

В традиционном производстве стекла, сульфаты являются основным источником выбросов SO_x из материалов шихты. Сульфаты наиболее широко используются в качестве осветляющих веществ, и также являются очень важными окислителями. На данный

момент наиболее распространенным сульфатом является сульфат натрия, который в ходе стекловарения и осветления диссоциирует, образуя газообразные SO_2 , O_2 и Na_2O , содержащиеся в стекле. Сульфаты калия и кальция также широко распространены. В большинстве стекловаренных печей, содержание сульфатов в шихте сокращено до минимального практически возможного уровня, который различается и зависит от типа стекла.

Как уже указывалось в разделе 4.4.3, удержание серных соединений в стекле обычно низкое и может существенно различаться в зависимости от типа производимого стекла. Переход от печей, на топливовоздушной смеси к печам с кислородно-топливной смесью может вызвать сокращение удержания сульфата в расплаве стекла. В таких случаях может потребоваться внесение изменений в рецепт шихты с тем, чтобы обеспечить надлежащее количество осветлителя для процесса выплавки. Вопросы, связанные с восстановлением сульфатов шихты обсуждаются в разделе 4.4.1.1, а вопросы, связанные с переработкой отфильтрованной пыли / электростатического осадителя — в Разделе 4.4.3.3. Характерные выбросы, связанные с осветлителями и окислителями составляют величину от 200 - 800 мг/нм³ и 0,2 – 1,8 кг/т расплавленного стекла.

При производстве каменной ваты важными источниками выбросов SO_2 (помимо кокса) являются использование доменного шлака и брикетов, связанных цементом, в шихте. Доменный шлак обычно содержит 0,6 – 1,5 % серы по весу и подавляющее большинство серы будет выпускаться в качестве H_2S и SO_2 . Если используется форсажная горелка, выбросы по большей части будут окисляться в SO_2 . Возможностей покупки доменного шлака не так много, и заводы обычно руководствуются близостью к очень узкому кругу поставщиков, находящихся в транспортной доступности с экономической точки зрения.

Процент шлака в шихте существенно различается от близкого к 100 % для минеральной ваты до 0 % для многих установок по производству обычной каменной ваты. В большинстве случаев, когда используется шлак, он составляет менее 30 % от общей шихты (исключая кокс). Единственным применением, при котором его использование необходимо для продукта, - это производство белого волокна для распылителей волокон и сводовых плит. Эти применения отражают только небольшой процент общего объема

производства сектора, но определенные установки могут производить только эти продукты.

Для установки, использующей примерно 30 % шлака в шихте, выбросы SO_2 от установок, не оборудованных системами борьбы с загрязнениями, примерно в 2-3 раза выше для шихты, свободной от шлаков. Согласно оценке, примерно 10 % российских линий по производству каменной ваты используют доменный шлак.

Очевидно благотворное действие сокращения использования шлака на снижение выбросов SO_2 . При этом использование шлака, в частности, в секторе минеральной ваты, имеет ряд преимуществ, которые обобщены ниже:

- Более низкое использование энергии и сокращение выбросов CO_2 , вытекающие из частичного замещения известняка шлаком. Энергопотребление и выбросы CO_2 , как правило, на 5-15 % меньше при использовании шлака, по сравнению с загрузкой базальтом и известняком.
- В зависимости от замещаемого материала, загрузка может содержать меньшее количество железа, которое сокращает требующуюся частоту выбросов, и может улучшить объем выработки. При этом происходит меньше перерывов производства и незначительное сокращение твердых отходов.
- В некоторых случаях, использование шлака, как утверждается, улучшает свойства волокнообразования расплава, что может способствовать улучшению эффективности технологического процесса и снижению уровней отходов путем сокращения количества выбросов.
- Доменный шлак – отходы, которые, если не будут использованы, с большей вероятностью могут быть утилизированы на свалку. Более того, они заменяют природный камень и сокращают потребность в карьерном материале.
- Шлак также обычно дешевле, чем материалы, которые он заменяет.

Достигнутые экологические преимущества

В общем, минимизация / оптимизация сырья, содержащего серу, в рецепте шихты, оказывает воздействие не только на выбросы SO_x , но также на образование пыли. Переработка отфильтрованной пыли, в некоторой степени может заменить добавление суль-

фата шихты в качестве осветлителя/ окислительного агента, и таким образом сократить использование этого основного сырья.

Оптимизация количества сульфатов, используемых в шихте, может привести к сокращению объема твердых отходов, которые производятся системой борьбы с выбросами SO_x , далее по технологической цепочке.

Вполне возможно, что большинство преимуществ, описанных выше, могли бы быть достигнуты, посредством увеличения утилизации переработанных производственных отходов. Специфическая для конкретного объекта оценка влияния использования шлака на загрязнение окружающей среды в целом, может подойти в некоторых случаях. Однако преимущества использования шлака, с малой вероятностью могут перевесить производимые выбросы. Если использование шлака требуется для цвета продукта, его можно свести к минимуму за счет переработки внутренних производственных отходов. В случае использования мер борьбы со вторичными выбросами SO_x , экологическое равновесие использования шлака могло бы измениться.

Влияние загрязнения одной среды на другую

В общем, минимизация/ контроль содержание серы в рецепте шихты не связано с влиянием загрязнения одной среды на другую. Однако избыточное сокращение количества серы вызвало бы проблемы качества для стекла, являющегося конечным продуктом. В качестве примера: некоторые темные цвета для тарного цвета, используемые для гарантии качества продукта, должны иметь определенный рецепт шихты, содержащий серу (например, бутылки для вина).

Замещение соединений серы другими материалами, дающими такой же осветляющий эффект, может быть затруднительным вследствие более высокого воздействия на окружающую среду применения альтернативных сере материалов.

Переработка фильтрованной пыли в рецепт шихты может привести к выбросам SO_x , поскольку она состоит главным образом из сульфатов.

Побудительные факторы реализации

Сокращение расходов для рецептов шихты, наряду с минимизацией первоначального уровня выбросов SO_x может быть побудительным фактором реализации этого приема.

4.4.3.2 Сухая или полусухая очистка

Описание

Принципы реакции сухой или полусухой очистки являются одинаковыми. Реактивный материал (абсорбент) вводится и распыляется в потоке отходящего газа. Этот материал взаимодействует с разновидностью SO_x , формируя твердое соединение, которое должно быть выведено из потока отходящего газа с помощью электростатического осадителя или пылеуловителя с рукавными фильтрами. Абсорбенты, выбранные для устранения SO_x , также эффективны для удаления прочих кислотных газов, в частности галоидов (HCl и HF), но также летучих соединений, таких как селен, борная кислота и т.п. В некоторых применениях абсорбент вводится непосредственно в трубопровод отходящего газа, но технология становится значительно более эффективной, если используется реакционная колонна (сухой способ очистки) или реакционная камера (полусухой способ очистки).

При сухом процессе производства, абсорбентом является сухой порошок (обычно $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 , или $\text{Na}_2(\text{CO})_3$), к которому может быть добавлен воздух для улучшения процесса дисперсии. При полусухом процессе производства, абсорбент (обычно Na_2CO_3 , CaO или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) добавляется в качестве суспензии или раствора, и испарение воды охлаждает поток газа. В прочих промышленных применениях, полусухой процесс производства, описанный выше, нередко указывается как полувлажный процесс, однако в рамках этого документа используется исключительно термин «полусухой», поскольку это обычный термин, используемый в стекольной промышленности.

Сухой процесс производства более распространен в стекольной отрасли, чем полусухой процесс производства. В общем, показатель снижения выбросов находится в сильной зависимости от параметров, описанных ниже:

- Тип скраббера – дизайн скраббера может влиять на контакт между газообразной фазой и абсорбирующим агентом и возможную продолжительность реакции.

- Состав печного газа – существует различная реактивность загрязнителей отходящего газа с различными абсорбентами и возникают конкурирующие реакции между различными видами, в особенности, если соотношение реагента с кислотными газами является сравнительно низким.

- Температура печного газа – идеальная температура должна быть, насколько возможно близкой к температуре конденсации печного газа (ниже 180 °C) или гораздо более высокой (примерно 400 °C). Диапазон температур 180 - 350 °C не подходит для абсорбции сухого SO₂ гашеной известью. Следует иметь в виду, что для правильного функционирования устройства избирательного каталитического восстановления (SCR) требуется температура печного газа свыше 350 °C (см. раздел 4.4.2.7 для получения более подробной информации).

- Влажность печного газа.

- Молярная концентрация абсорбирующего агента/ кислотных газов – Обычно необходимо, чтобы доля абсорбента превышала стехиометрический параметр. Удельное количество абсорбирующего агента обычно выражается в молярной концентрации, которая может быть определена двумя способами:

- MR1 = молярная концентрация абсорбента к SO_x после использования системы борьбы с загрязнениями.

- MR2 = молярная концентрация абсорбента сверх совокупного вводимого фактора SO_x

- Система фильтрации - либо сухой процесс производства, либо полусухой процесс производства может использоваться наряду с электростатическими осадителями, но при применении пылеуловителей с рукавными фильтрами отводящие газы могут потребовать охлаждения. Наиболее распространенный процесс очистки, используемый в стекольной промышленности, - это сухой процесс, который применяется наряду с электростатическим осадителем, в котором в качестве абсорбента используется Ca(OH)₂. Так происходит потому, что Ca(OH)₂ позволяет достичь сравнительно хорошего уровня снижения показателя выбросов при температуре около 400 °C, что может быть легко достигнуто без охлаждения выхлопного газа и укладывается в эксплуатационные параметры электростатического осадителя. Однако следует отметить, что в системе пылеуловителей с рукавными фильтрами реагент может вводиться в поток печного газа до тепло-

обменника. Это обеспечивает реакцию примерно при температуре 350 - 400 °С, как и при использовании электростатического осадителя (ESPs). В идеале, температура реакции должна составлять примерно 400 °С; на практике более распространена температура в диапазоне 300 - 350 °С, в силу эксплуатационных ограничений. При использовании пылеуловителей с рукавными фильтрами, температура должна быть снижена до 200 °С. Охлаждение может быть достигнуто теплообменником или охлаждающим паром, и ему также может способствовать испарение воды в рамках полусухой технологии. Использование пылеуловителей с рукавными фильтрами генерирует обезвоженный сырьевой шлам на ткани, в силу реагента, осажденного при абсорбции, что вызывает повышение перепада давлений, и обычно улучшает абсорбцию кислых газов.

- Тип реагента – наиболее часто используемые агенты для очистки в стекольной промышленности: гашеная известь ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), углекислый натрий (Na_2CO_3), биглеродат натрия (NaHCO_3), и менее часто гидроксид натрия (NaOH) и известняк (CaCO_3). Химический состав реагента является важным фактором, позволяющим определить возможность переработки твердых продуктов обратно в плавильную печь. Удельная поверхность реагента, выраженная как BET ($\text{м}^2/\text{г}$) является определяющим фактором для достижения хорошей скорости реакции. Реагенты обычно вводятся в виде мелкого порошка с удельной площадью поверхности до 40 $\text{м}^2/\text{г}$.

Дополнительная возможность для «сухой очистки» кислотных газов, состоит из прямого предварительного нагрева шихты. В этом случае щелочные компоненты состава шихты имеют функцию абсорбирующих агентов. Использование этого приема обсуждается в разделе 4.8.5.

Достигнутые преимущества для окружающей среды

Большинство установленных систем очистки SO_x эксплуатируется с использованием очистки сухой гашеной известью при температуре в диапазоне 300 - 400 °С, которая является температурой отходящего газа, полученного от эффективной печи регенеративного типа. При этих температурах сокращение SO_x примерно на 30-40 % обычно достигается при использовании качественного известняка и повышенном стехиометрическом коэффициенте $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{SO}_2$. Более высокая эффективность удаления может быть достигнута посредством использования биглеродата натрия или раствора углеродата

натрия, при сокращении выбросов SO_x примерно на 60 % или еще в большей степени, в зависимости от объема реагента. Сопоставимый или улучшенный показатель сокращения SO_x может быть достигнут при температурах примерно 200 °С и влажной атмосфере. Этого можно достичь при введении растворенного в воде сорбента в сочетании с пылеуловителями с рукавными фильтрами. Однако эта полусухая технология снижает температуру отводящих газов до уровня, не сопоставимого с вторичным восстановлением тепла или применениями вниз по технологической цепочке, которые требуют более высокого уровня температуры (например, SCR или предварительного нагрева стеклянного боя). В этих случаях следует принять во внимание обычную (или «истинную») полусухую технологию, несмотря на весьма ограниченный опыт применения этой технологии в стекольной отрасли. Это подчеркивает необходимость комплексного анализа до применения десульфуризации, принимая во внимание все эффекты, побочные эффекты, затраты и приоритеты (например, политику подкисления, энергетическую политику, политику утилизации отходов и т.п.)

Следует отметить, что высокие стехиометрические коэффициенты абсорбентов серы предполагают увеличение нагрузки на оборудовании по борьбе с выбросами пыли, расположенном далее по технологической цепочке. Практически ограниченное улучшение показателя абсорбции должно быть сбалансировано сообразно технологическим требованиям и любыми дополнительными затратами на увеличение производительности осадителя.

Процесс очистки скрабберами также эффективен для других газообразных кислотных загрязнителей, таких как HCl и HF , имеющих различные коэффициенты сокращения. Типичная эффективность удаления газов, коррелирующая с типом реагента и эксплуатационными условиями указывается в пункте «Эксплуатационные данные», представленном ниже.

Эти приемы эффективны для устранения определенных прочих загрязнителей, например, соединений селена и разновидностей борной кислоты, таких как HBO_2 и H_3BO_3 , но доступна очень ограниченная информация об уровне сокращения выбросов. В качестве примера, для печи, выплавляющей листовое стекло, производящей бронзовое стекло, оснащенной системой сухой очистки скрабберами, использующей NaHCO_3 , достигнутая эффективность удаления загрязнений составляет примерно 90 %, от величины

30 мг/нм³ для соединений селена на входном клапане до концентрации выбросов на выпускном клапане – 3 мг/нм³ (твердые вещества+ газы). С целью достижения более низкого уровня выбросов селена (1 мг/нм³) количество щелочного реагента следует увеличить с 55 кг/ч до 120 кг/ч с последующим влиянием загрязнений одной среды на другую для формирования отходов с последующей необходимостью их утилизации.

Влияние загрязнений одной среды на другую

В некоторых примерах в стекольной промышленности, важным мотивом к применению новых технологий являлись соображения защиты оборудования для снижения уровня запыленности или в некоторых случаях (например, при производстве непрерывного стекловолокна, фритты), для устранения выбросов фторидов. В определенных случаях, если снижение уровня запыленности или фторидов не требуется, вероятно, более экономичным было бы перейти на газовое сжигание, нежели применять эти технологии.

Использование систем очистки включает использование электроэнергии. Удельное энергопотребление, как правило, составляет примерно 12-20 кВтч/т расплавленного стекла при использовании пылеуловителей с рукавными фильтрами и 8-11 кВтч/т расплавленного стекла при применении электростатических осадителей.

Технологии порождают значительное количество твердых остатков, но в большинстве приложений, этот материал может быть переработан в печи. В случае применения углеродата натрия в качестве абсорбента, отфильтрованная пыль была бы переработана в натрий-кальций-силикатное стекло вместо более ценного сырья, вследствие значительной потребности в углеродате натрия. Однако высокий коэффициент восстановления углеродата натрия и биуглеродата натрия к HCl вызывает значительное обогащение NaCl отфильтрованной пыли, что может вызвать проблемы, при повторном введении в печь в композиции шихты. Испарительный перенос NaCl в печь приводит к химической атаке силикатных огнеупоров на печь или регенераторы.

В общем, для определенного типа стекла абсорбция серы в расплаве имеет фиксированные значения с целью гарантировать состояния окислительно-восстановительных реакций и цвета стекла. Вот почему переработка пыли, содержащей сульфаты, представляет количественные ограничения.

При более низкой концентрации стеклянного боя, количество собранного сульфата обычно составляет меньшую величину, чем та, что требуется для осветления, и в некоторых конкретных случаях, также окажется возможным повысить показатель абсорбции серы из собранной пыли в стекле (т.е. более SO_3 %). В этих случаях общие выбросы снижаются, и потребление сульфата натрия сокращается. Если сульфат собран в большем объеме, чем требуется для сульфата шихты, то поток твердых отходов создан для утилизации вне площадки. В ином случае, если весь материал перерабатывается в больших количествах, чем требуется, то система приобретает замкнутый контур, достигая динамического равновесия, при этом единственными сбросами серы становятся стекло и выбросы в атмосферу. При высоком уровне стеклянного боя, требование к осветлителю сульфатов гораздо ниже, следовательно, если не устраняется какая-либо часть пыли, то выбросы SO_x увеличиваются и общее преимущество снижения SO_x значительно сокращается. Проблема более очевидна с восстановленным стеклом, где растворимость серы относительно низкая, и в тех случаях, когда используется высокий уровень стеклянного боя.

Практически если бы это произошло, то стоимость удаления пыли, которая не может быть переработана, была бы выше, чем стоимость топлива с низким содержанием серы (например, низкосернистого мазута или природного газа).

Следовательно, во многих обстоятельствах, оператор мог бы принять решение о смене топлива, нежели о создании потока твердых отходов на утилизацию. Однако высокое различие в издержках между низкосернистым топливом (в частности, природным газом) и прочими видами топлива может сделать этот выбор экономически непривлекательным.

Если гидрат кальция используется в качестве абсорбента, большинство составов стекла будут иметь ограничения в плане количества кальция, который может быть переработан. Обычно можно сделать корректировки в составе шихты для компенсации отфильтрованной пыли, но в шихтах с высоким уровнем стекольного боя, возможность корректировать состав шихты ограничена. В шихтах с высоким показателем стеклянного боя, содержание кальция может быть больше, чем допускается в стекле, приводящем к возникновению твердых отходов. В этом случае решением могло бы стать изменение

абсорбента и переход на углеродат или биуглеродат натрия, или смесь различных абсорбентов.

В регионах с высокими показателями переработки стеклянного боя, система приобретает замкнутый контур, поскольку уровень различных веществ накапливается в процессе постоянной рециркуляции стекла. Это может представлять проблему для металлов, фторидов и хлоридов, а также серы. Присутствие металлов в отфильтрованной пыли, в частности, свинца, может приводить к нарастающему накоплению в массе стекла.

Если объем собранного материала представляет проблему для рециркуляции, то доступны приемы повторного использования абсорбента, которые приводят к сокращению суммарного объема. Проблемы несоответствия формулы собранной пыли редко становятся вопросом для дискуссии. Такие проблемы могут быть преодолены тщательным анализом, а если необходимо, штабелированием и смешиванием материалов до переработки.

При производстве каменной ваты, сокращение выбросов SO_x может происходить после печи для сжигания отходящего газа и до системы фильтрации. В большинстве применений система фильтров устанавливается до печи сжигания, которая предназначена для обработки чистого газа. В этих случаях установка этой технологии на существующих заводах потребует печи для сжигания и дополнительную систему фильтров. Ожидаемые инвестиции составят 240-300 млн. руб.

Переработка материалов обратно в печь более затруднительна для каменной ваты, чем для других секторов, поскольку процесс не требует добавления сульфатов и абсорбция серы в расплаве низкая. Поэтому большая часть загрязняющих веществ выделялись бы повторно. Переработка фильтрованной пыли в печи для базальтовой ваты требует использования системы брикетирования. Если такая система недоступна значительный поток твердых отходов, связанный с удалением SO_x будет генерироваться. Это означает, что собранные отходы должны быть утилизированы как твердые отходы. Свалка отходов, генерируемых системой десульфуризации печного газа, становится все более затруднительной и может потребовать предварительной обработки во избежание выщелачивания. Этот межсредовой эффект нередко перевешивает преимущества для окружающей среды от сокращения выбросов кислотного газа.

Выбор абсорбента для каменной ваты также ограничен, если рассматривается вопрос переработки. Продукт требует очень низкого уровня кальцинированной соды, так что углеродат натрия и биуглеродат натрия могут использоваться только в том случае, если собранный материал не подвергается переработке.

При производстве каменной ваты, альтернатива для сухого или полусухого процесса очистки скрабберами было бы использование системой скрабберов с трубками Вентури. Высокая эффективность удаления SO_x (90 - 95 %) может быть достигнута в том случае, если эта технология менее эффективна, чем пылеуловитель с рукавными фильтрами для удаления пыли. Также выделяются сточные воды, и рециркуляция материала затруднительна. Небольшое количество установок успешно применяет эту технику вот уже свыше 20 лет.

Эксплуатационные данные

Как упоминалось выше, сокращение, достигнутое с помощью этих технологий, зависит от количества факторов, включая температуру отводящего газа, объем и тип добавленного абсорбента (или, если говорит точнее, молярную концентрацию между реагентом и загрязнителями) и дисперсию абсорбента. Таблицы, приведенные ниже, дают оценку эффективности, полученной при применении различных абсорбентов и процессов. Фактические достигнутые результаты будут различаться от случая к случаю, и за период наблюдений были отмечены как более высокие, так и более низкие результаты.

В Таблице 4.11 представлены ориентировочные показатели эффективности сухой абсорбции для удаления газообразных загрязнителей. В силу различных показателей абсорбции, наблюдавшихся в осадке на пылеуловителях с рукавными фильтрами и различных температурах работы электростатического осадителя и пылеуловителей с рукавными фильтрами, приведены различные данные для двух типов фильтров.

Таблица 4.27: Ориентировочные показатели эффективности абсорбции сухого вещества $Ca(OH)_2$

Загрязнитель	Электростатический осадитель		Пылеуловитель с рукавными фильтрами
	~ 400 °C	200 - 280 °C	130 - 240 °C

SO ₂	50 %	10 %	10 %
SO ₃	80 %	90 %	95 %
HCl	70 %	35 %	80 %
HF	95 %	95 %	95 %
SeO ₂	90 %	70 %	90 %

В более общем плане, ссылки дают ориентировочные результаты для сухого процесса при применении Ca(OH)₂, о которых сообщается в таблице 4.12.

Таблица 4.18: Ориентировочные уровни снижения загрязняющих выбросов SO_x для процесса сухой очистки с помощью Ca(OH)₂

Температура	Показатели снижения SO _x	
	130 - 140 °C	170 - 180 °C
Молярная концентрация Ca/S =1	30 %	22 %
Молярная концентрация Ca/S =2	50 %	40 %
Молярная концентрация Ca/S =3	70 %	55 %

Снижение показателей выбросов на уровне 65 % указывалось в случае печи для выплавки флоат-стекла с использованием сухой очистки скрабберами плюс электростатического осадителя (ESP) с молярной концентрацией MR1 4,4, при затрате 180 кг/ч Ca(OH)₂ при температуре примерно 400 °C. Вся пыль рециркулируется в печь.

Опыт сухого процесса с Na₂CO₃ в качестве абсорбента обобщается в таблице 4.13 при диапазоне температур 300-400 °C. Показатели снижения уровня выбросов, приведенные в таблице, вновь даны для ориентира и в основном зависят от температуры и количества используемого абсорбента.

Таблица 4.13: Ориентировочные уровни показателей снижения выбросов SO_x при сухой очистке скрабберами с Na₂CO₃

Загрязнитель	Снижение величины выбросов SO _x
SO ₂	<50 %

Реагент	Тип системы очистки	Температура отходящего газа, °C	Стехиометри- ческий состав	Эффективность очистки, % (¹)		
			Реагент/SO ₂	SO _x	HCl	HF
NaHCO ₃	ЭФ + сухая очистка	342	0.2	7	24	<5
			0.45	24	28	<5
			2	56	51	17
NaHCO ₃	Пылеуловитель с рукавными фильтрами + сухая очистка	200	0.3	32	76	28
			0.4	44	83	39
			0.5	45	93	63

(¹) Данные относятся к средним значениям трех получасовых измерений для каждого эксплуатационного режима.

Полусухой способ используют в ограниченном количестве применений в стекольной промышленности. В сочетании с пылеуловителями с рукавными фильтрами и использованием раствора Na₂CO₃ в качестве абсорбента была зарегистрирована очень высокая величина снижения. Эти ориентировочные результаты резюмируются в таблице 4.15. Уменьшение SO₂ на 95 % является максимально возможным процентным соотношением. При текущей промышленной эксплуатации диапазон снижения составляет обычно 80 – 90 %.

Таблица 4.15: Ориентировочная величина снижения SO_x для полусухой газоочистки с раствором Na₂CO₃

Загрязнитель	Величина снижения SO _x
SO ₂	90 - 95 %
HCl	>90 %
HF	>85 %
SeO ₂	>90 %

Обычно при других промышленных применениях ссылки дают результаты, представленные в Таблице 4.16 ниже для полусухого процесса с Ca(OH)₂. Тем не менее, по-

лусухие применения с использованием извести обычно не встречаются в стекольной промышленности.

Таблица 4.16: Величина снижения SO_x для полусухой газоочистки с $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Молярная доля	Величина снижения SO_x
$\text{Ca/S} = 1$	80 %
$\text{Ca/S} = 1,5$	90 %
$\text{Ca/S} = 2$	92 %

Также сообщалось о воздействии выбросов NO_x при использовании Na_2CO_3 или NaHCO_3 в полусухом процессе. Для NaHCO_3 оптимальный диапазон находится между 120 – 160 °С. Тем не менее, при характерных условиях в стекольной промышленности наблюдалось только умеренное воздействие на величину снижения NO_x .

Таким образом, достигаемое снижение зависит от целого ряда факторов, связанных с процессом и абсорбентом. При благоприятных условиях, могут достигаться высокие темпы сокращения выбросов; в лучшем случае до 95 % на общее количество SO_x , выраженное как SO_2 . Значение уровня снижения SO_3 составляет, как правило, больше, чем 80 %.

В непрерывном производстве нитей стекловолокна для состава шихты, содержащего бор, величина снижения, заявленная выше, особенно трудно достижима из-за осаждения соединений бора, которые испаряются из расплава стекла на поверхности сухого щелочного реагента с последующей дезактивацией. В этих случаях эффективность удаления на стадии очистки может значительно снижаться.

Фактическая концентрация выбросов или масса выбросов на тонну стекла, будет зависеть от концентрации на входе и эффективности десульфурации. Концентрация на входе зависит от следующих факторов:

- содержание серы в топливе на входе
- тип стекла (цвет, степень окисления серы и удержание/содержание в стекле)
- технологические требования к переработке, качеству и количеству сульфатов

- количество и тип стекольного боя (внутренний или внешний, содержание серы и примесей)
- состава пылевого фильтра и скорость переработки
- условия сгорания (близкие к стехиометрическим условиям сгорания, для уменьшения NO_x с применением основных мер может увеличиться содержание SO_2 в газе неочищенных выбросов).

Тем не менее, общее сокращение выбросов требует ликвидации (внутренней или внешней переработки или захоронения) потока твердых отходов, которые вырабатываются в сульфатированной пыли. В случае захоронения, расходы на сокращение SO_x могут быть оценены в пределах 30-70 руб. за кг выведенного SO_2 в зависимости от условий.

На практике, полная переработка пылевого фильтра, в том числе эти сульфатные отходы, очень часто считается обоснованным вариантом с экологической и экономической точки зрения, где это технически возможно. В этом случае, общее снижение выбросов SO_x ограничено (с учетом баланса массы) снижением у источника, полученного путем замены сульфата в сырье пылевым фильтром. Очевидно, что это осуществляется в дополнение к другим соответствующим основным мерам по сокращению общего ввода серы в расплав путем оптимизации содержания серы во всех исходных материалах (в том числе стеклобой), где это возможно.

Таким образом, в целях снижения выбросов кислого газа, может возникнуть необходимость учитывать внешний способ захоронения для части собранного материала. Внешний вариант для переработки или повторного использования был бы предпочтительнее захоронения. Тем не менее, в большинстве случаев экономически целесообразный вариант внешнего повторного использования для материала отсутствует. Существующие законодательные требования, определяющие такие материалы как отходы, могут служить дополнительным барьером для внешней переработки. Определение того, что представляет собой наилучшую защиту для окружающей среды в целом, часто может зависеть от местных условий и может включать рассмотрение утилизации твердых отходов.

С переработкой пылевого фильтра замкнутого типа, уровень выбросов SO_x , для печей на природном газе, как правило, находится в диапазоне 200 - 800 мг/нм³ для стек-

ла, полученных при низкой скорости переработки стекольного боя, и $600 - 900 \text{ мг/м}^3$ для наиболее распространенного производства тарного стекла с использованием высоких уровней внешнего стекольного боя. Специально для стекол с высоким процентом стеклобоя в составе шихты и малой мощности (например, восстановленное стекло, такое как зеленое и коричневое тарное стекло), для поглощения серы значения в более высоком пределе диапазона не ожидаются. В стекольной промышленности существуют примеры, где чистая эффективность десульфурации близка к нулю, когда пыль, содержащая серу, полностью перерабатывается. Тем не менее, в этих ситуациях основной целью была не десульфурация, а удаление HCl , HF , металлов и пыли. Тем не менее, даже в этих случаях, более низкие уровни могут быть получены с последующим созданием сульфатированного потока отходов для внешней утилизации.

Таким образом, при рассмотрении методов очистки от оксидов серы в стекольной промышленности, важно принимать во внимание возможные противодействующие последствия и угрозу других экологических целей. Наиболее важными экологическими целями, связанными со снижением SO_2 , являются:

- высокий уровень переработки стеклобоя
- минимизация отходов производства путем внутренней или внешней переработки пыли
 - утилизация лишнего тепла
 - другие сокращения атмосферных выбросов.

Переработка стеклобоя – это важная экологическая цель из-за экономии энергии, сокращения отходов и снижение потребления природных ресурсов. В настоящее время в России перерабатывают около $60 - 70 \%$ тарного стекла, которое выпускается в продажу. Там, где стеклобой используется с более высоким содержанием серы, чем производимое стекло, избыток серы может привести к увеличению выбросов SO_x . Это, например, имеет отношение к зеленому и коричневому восстановленному стеклу, которые используют смешанные отходы стекольного боя. Смешанные отходы стеклобоя являются в некоторых случаях единственным доступным источником этого типа стеклобоя для производителей, и содержание серы в стеклобое выше, чем в продукте из-за присутствия окисленного стекла (бесцветное стекло, листовое стекло, определенное зеленое стекло) в смеси стеклобоя. Постепенное улучшение в избирательном сборе и сортировке

стеклобоя улучшит ситуацию. Тем не менее, окисленное цветное стекло, такое как некоторое зеленое стекло, также может иметь более высокие уровни серы из-за их степени окисления, и цвет сортировки будет менее эффективным для снижения содержания серы в стекольном бое, если присутствуют значительная доля таких стекол.

Переработка пылевого фильтра является также важной целью по причине предотвращения образования отходов. Переработка пылевого фильтра предполагает замену некоторых сульфатов, содержащихся в материале шихты. В принципе, пылевой фильтр действует в качестве осветлителя, но это может быть менее эффективным в некоторых случаях и 100 % замена не всегда возможна. В зависимости от различных видов стекла (например, цвет, степень окисления) поглощение сульфата, вытекающее из пылевого фильтра серы, колеблется и иногда ограничено. Что касается полной переработки пылевого фильтра и с учетом вышеупомянутых изменений, особое внимание должно быть уделено массовому балансу серы, и очистка оборудования должна быть спроектирована так, чтобы была возможность проводить соответствующий отбор реагентов очистки.

Переработка пылевого фильтра может привести к увеличению выноса мелкой пыли во время загрузка шихты, особенно когда применяется предварительный нагрев шихты.

Краткое изложение основных преимуществ и недостатков, связанных с использованием техники сухой и полусухой очистки:

Преимущества

- Может быть достигнуто существенное сокращение выбросов SO_x (в зависимости от конкретного баланса и утилизации серы)
- Снижение выбросов других веществ (хлориды, фториды, соединения селена, другие кислоты, например, борная кислота)
- В большинстве стекловаренных агрегатов собранная пыль может быть переработана с сокращением потребления новых видов сырья. Это не имеет отношения к некоторым типам производств, например каменная вата.

Недостатки:

- Техника потребляет энергию
- Может привести к образованию твердого остатка, который не всегда можно переработать (особенно при высокой эффективности поглощения), в связи с дисбалан-

сом при вводе-выводе серы, накоплением хлорида или в связи с вопросами качества стекла, таким образом, увеличивая уровни отходов. В большинстве случаев пыль может быть переработана, но это требует корректировки в процессе и может ограничить общую эффективность сокращения SO_x . Для некоторых видов продукции из стекла твердый остаток полностью или частично утилизируется при захоронении. Для каменной ваты эта пыль вообще не может перерабатываться в этом процессе, если не используется система брикетирования.

- В большинстве случаев эти отходы считаются опасными (в зависимости от химического состава), а из мест, где нет территории для захоронения отходов, отходы приходится транспортировать на большие расстояния

- Требуется существенных вложений и эксплуатационных затрат

Данные примера установки с указанием достижимых уровней выбросов, связанных с применением стадии сухой очистки в сочетании с системой фильтров, вместе с основными рабочими параметрами, которые представлены в разделе 4.4.1.2, таблица 4.8 и в таблице 4.17.

Таблица 4.17: Уровни выбросов, связанные с использованием сухой очистки в сочетании с системой фильтрации

	Тарное стекло (¹)	Листовое стекло (²) (³)
Тип печи	Ванная стекловаренная печь с подковообразным пламенем, регенеративная	Флоат, поперечное, регенеративное
Мощность печи	300 т/сутки	600 т/сутки
Фактическая скорость вытягивания	297 т/сутки	600 т/сутки
Дополнительный электроподогрев	Да	Да
Тип стекла	Янтарное	Прозрачное
Стеклобой	72 %	25 %
Удельные энергозатраты	4,21 ГДж/т стекла	Не указано
Система фильтра	ЭФ - 2 площадки	ESP - 2 пло-

	Тарное стекло ⁽¹⁾	Листовое стекло ⁽²⁾ ⁽³⁾
		щадки
Температура перед фильтром	400 °C	Не указано
Тип сорбента	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂
Количество сорбента	28 кг/ч	Не указано
Повторное использование пылевого фильтра в составе шихты	100 %	Без передачи
Уровни выброса попутных газов (УВПГ)	Значения получасовые средние	Значения получасовые средние
мг/нм ³ , сухой газ в 8 % O ₂	Пыль: 1,2 SO _x : 829 HCl: 25,0 HF: 3,3	Пыль: <20 SO _x : <300 HCl: <15 HF: <1
кг/т стекла	Пыль: 0,0019 SO _x : 1,34 HCl: 0,0405 HF: 0,0053	Пыль: <0,05 SO _x : <0,75 HCl: <0,04 HF: <0,003
⁽¹⁾ Установка снабжена системой рекуперации тепла, установленной после ЭФ. ⁽²⁾ Эффективность удаления для газообразных загрязняющих веществ: 36 % для SO _x , 57 % для HCl и 83 % для HF. ⁽³⁾ Значения, приведенные в кг/т были рассчитаны с применением коэффициента преобразования 2,5 x 10 ⁻³ для плоского стекла (см. таблицу 5.2).		

Применимость

В принципе, методы применимы для всех процессов (в том числе новых и существующих) с сбросными газами, содержащими кислые вещества. Из-за высокой запыленности, удаление пыли имеет важное значение. Сухой процесс гораздо более широко используется в стекольной промышленности; потому что он является наиболее экономически эффективным способом достижения преобладающих технических и норматив-

ных требований. Наиболее часто используемый абсорбент – это гашеная известь, $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Принципы этих методов являются общими независимо от размера установки. Тем не менее, следует напомнить, что масштаб и, следовательно, фактическая стоимость, и, возможно, экономическая эффективность будут значительно отличаться от применения к применению. В частности, существует ограниченный опыт с полусухой очисткой для небольших процессов.

Экономический расчёт

Расходы на системы очистки воздуха в сочетании с ЭФ и пылеуловителем с рукавными фильтрами приведены в разделах 4.4.1.2 и 4.4.1.3. Биуглеродат натрия является значительно более дорогим, чем другие абсорбенты, и не используется так часто.

Производство листового стекла

- Стандартные инвестиционные затраты на системы сухой очистки, применяемых на печах для варки флоат-стекла, составляют 15-30 миллионов руб., в том числе удаления и хранения пылевого фильтра.
- Затраты полной системе, состоящие из ЭФ плюс сухая очистка, составляют около 210-240 млн. руб. для печи мощностью 500 т/сутки и до 330 млн. руб. для печи мощностью 900 т/сутки.
- Для применения в системе сухой очистки в сочетании с пылеуловителем с рукавными фильтрами, сметные капитальные затраты составляют 120-150 млн. руб.
- Соответствующие удельные затраты составляют 240-390 руб. за тонну стекла, когда применяется ЭФ, и 270-420 руб. за тонну стекла с пылеуловителем с рукавными фильтрами.

Производство тарного стекла

- Капитальные затраты на электростатические фильтры в сочетании с сухой газоочисткой находятся в диапазоне 90-180 миллионов руб. для печей производительностью между 300 т/сутки и 600 т/сутки, и могут превысить 240 миллионов руб. для более

крупных установок мощностью более 750 т/сутки (к примеру, две или более печей, подключенных к одному фильтру).

- Применение мешочных фильтров в сочетании с сухой газоочисткой для печи среднего размера (<300 т/сутки) требует капитальных затрат в размере 42-75 миллионов руб.
- Сопутствующие специфические затраты ожидаются в размере 240-420 руб. на тонну плавленного стекла с использованием мешочного фильтра с полным удалением пыли и в размере 160-330 руб. на тонну плавленного стекла с использованием электростатического фильтра в зависимости от стекловаренной мощности установки. При этом более высокие расходы сопряжены с менее крупными и более новыми установками, а более низкие - с газовыми печами и полной переработкой пыли из фильтров. Более высокие специфические затраты в диапазоне 600-1000 руб. на тонну расплавленного стекла ожидаются для небольших печей (<150 т/сутки). Использование дизельного топлива вместо природного газа может привести к дополнительному увеличению расходов в размере около 90 руб. на тонну расплавленного стекла.

Прочие секторы стекольной промышленности

- Для небольших печей мощностью <40 т/сутки предположительные затраты оцениваются в диапазоне 600-840 руб. на тонну плавленного стекла при использовании мешочных фильтров и 900-1020 руб. на тонну плавленного стекла при использовании электростатических фильтров.

Производство каменной ваты

- Для печи, предназначенной для производства каменной ваты, мощностью 200 т/сутки капитальные затраты на сухую газоочистку в дополнение к стандартной технологии мешочных фильтров оцениваются в 102 миллиона руб., 20 миллионов руб. из которых составляют эксплуатационные расходы с учетом удаления пыли. В таком случае специфические расходы оцениваются приблизительно в 540 руб. на тонну плавленного стекла.

При использовании систем полусухой (квазисухой) газоочистки очистки, предположительные сопутствующие расходы оцениваются следующим образом:

Производство листового стекла

1. Типичные капитальные затраты на системы полусухой газоочистки в сочетании с мешочными фильтрами для применения в печах для производства листового стекла оцениваются в пределах 270-300 миллионов руб. для печи среднего размера и до 420 миллионов руб. для крупногабаритных печей с мощностью до 900 т/сутки.

2. Для газовых печей для листового стекла с переработкой пыли из фильтра, специфические затраты находятся в пределах 360-480 руб. на тонну стекла, что соответствует 45 руб. на килограмм удаленных оксидов серы и 900-1300 руб. на килограмм удаленной пыли.

Производство тарного стекла:

- Капитальные затраты на применение мешочных фильтров в сочетании с полусухой газоочисткой для печи с мощностью 350 т/сутки составляют около 135 миллионов руб.

- Сопутствующие специфические расходы ожидаются в районе 330-390 руб. на тонну плавленного стекла или выше.

Производство каменной ваты

- Для печи, предназначенной для производства каменной ваты, мощностью 200 т/сутки капитальные затраты на полусухую газоочистку в дополнение к стандартной очистительной технологии мешочных фильтров оцениваются в 126 миллионов руб., 15 миллионов руб. из которых составляют эксплуатационные расходы с учетом удаления пыли. Сопутствующие специфические затраты оцениваются в районе 570 руб. на тонну плавленного стекла.

Побудительные причины для реализации технологии

Соблюдение законодательных ограничений по предельно допустимым выбросам, как правило, является основной побудительной причиной для внедрения и реализации данной технологии.

Возможность снизить объемы выбросов кислых газообразных загрязнителей, в частности оксидов серы, фтористого водорода и гидрохлоридов, а также (в большинстве, но отнюдь не во всех случаях) необходимость защитить фильтр от коррозии (в

большинстве, но отнюдь не во всех случаях) также являются частыми побудительными внедрения описанного метода.

Потребность в сокращении выбросов металлов (к примеру, селен от производства флинта или бронзового листового стекла) также может оказаться движущей силой для реализации подобных технологий в тех случаях, когда металлы преобладают в дымовом газе печей в виде газообразных соединений.

Примеры реального использования на производстве

Существует множество примеров использования указанных технологий в стекловаренных печах, в частности, применения сухого процесса газоочистки в сочетании с электростатическими или мешочными фильтрами. Большинство печей в Европе, оснащенных системой вторичного удаления пыли, используют вышеуказанные технологии очистки. Незначительное количество заводов, оснащенных фильтрационными системами, также представлено в секторе производства каменной ваты.

4.4.3.4. Влажная газоочистка

Описание

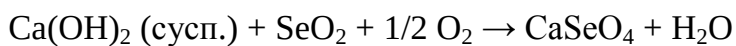
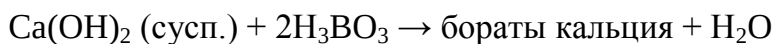
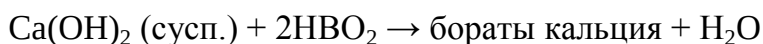
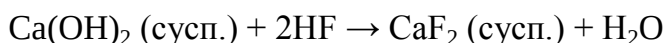
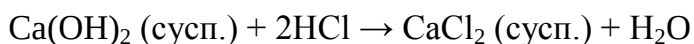
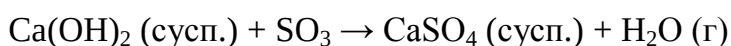
В процессе влажной газоочистки различные виды газов (такие как фтористый водород, гидрохлориды и оксиды серы) сначала растворяются в жидкости в зависимости от коэффициента растворения данных газов в данной жидкости. Коэффициент растворения возрастает вместе со щелочностью выбранного раствора или суспензии. Скорость растворения газов можно улучшить, используя реактивные растворы и специальные насадочные башни, которые обеспечивают непосредственный контакт между дымовым газом и жидкой фазой. Как правило, в качестве жидкости используется водный раствор ионных форм, которые повышают коэффициент растворения газов. Для достижения высоких скоростей растворения кислых газов необходим минимальный доступ реагента, содержащегося в растворе. Скорость растворения, как правило, определяется поглощением газа жидкостью.

Конструкция реактора также является чрезвычайно важным фактором, и часто для улучшения контакта используется технология встречных потоков газа/жидкости, и

поддерживаются высокие уровни турбулентности газового потока. Для влажной газоочистки чаще всего используются растворы гидроксида или углеродата натрия, однако периодически применяются и суспензии известняка.

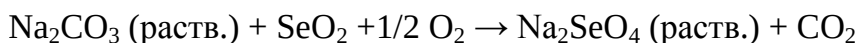
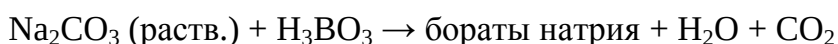
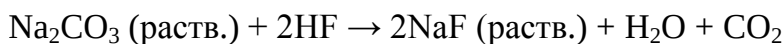
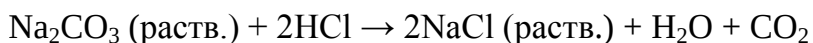
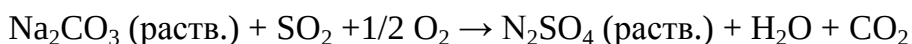
Затем в процессе влажной газоочистки дымовые газы насыщаются водой, и перед их выбросом необходимо капли, содержащие абсорбированный газ. Отделенная в этом процессе жидкость может содержать нерастворимые частицы, растворенные материалы, продукты реакции и не вступившие в реакцию щелочные вещества. Полученная в результате жидкость утилизируется в соответствии с процедурой очистки сточных вод, а нерастворимые материалы собираются путем осаждения или фильтрации, чтобы отделить твердые частицы или концентрированную суспензию. Перед утилизацией концентрированная суспензия, как правило, высушивается, или из нее удаляется часть воды. В большинстве случаев повторно использовать полученную суспензию в качестве сырья для изготовления шихты является крайне проблематичным. Ниже представлены характерные реакции, которые имеют место в процессе жидкой газоочистки.

- Процесс газоочистки при помощи суспензии гашеной извести:



(сusp. = суспензия) (г = пар/газ).

- Процесс газоочистки при помощи раствора углекислого натрия:



(раств. = раствор).

Экологические преимущества

Влажная газоочистка позволяет добиться эффективности очистки в 90 % в зависимости от используемого количества поглощающего вещества. Влажная газоочистка позволяет удалять из дымового газа стекловаренных печей такие газообразные загрязнители, как SO_2 , SO_3 , HF , HCl , H_3BO_3 , HBO_2 и SeO_2 .

Межсредовые эффекты

Основной межсредовой эффект представлен количеством сточных вод, которые нуждаются в очистке перед выбросом. Помимо этого, за счет отделения нерастворимых материалов из сточных вод, фильтрации или осаждения с последующим прессованием остатков образуются твердые отходы (фильтрат) или суспензия. Суспензию можно отделить в сухой или полусухой форме в зависимости от используемой системы. Прямое повторное использование суспензии или фильтрата для производства шихты часто является невозможным, и зависит от химического состава. В некоторых случаях повторное использование или переработка фильтрата или суспензии в стекольную шихту может привести к накоплению веществ, таких как хлориды, фториды или сера в стекловаренных печах из-за ограниченной растворимости в стекломассе и высокой эффективности удаления данных компонентов из дымовых газов методом влажной газоочистки. Помимо этого, при повторном использовании суспензии или фильтрата можно столкнуться с проблемой хранения указанных веществ.

Помимо этого влажная газоочистка является энергоемкой процедурой и потребляет электроэнергию для введения щелочного реагента, очистки фильтра, пневматической транспортировки суспензии/фильтрата, создания электростатического поля (при использовании влажных электростатических фильтров) и работы вентилятора.

Типичное потребление энергии систем влажной газоочистки составляет 20 - 25 кВт/т стекла.

Непрямые выбросы, связанные с потреблением электроэнергии, оцениваются приблизительно в 550 - 660 тонн CO_2 /год для установки, рассчитанной на 100 – 125 тонн стекловарения стекла в сутки.

Рабочие параметры

Стандартная рабочая температура для стекольной промышленности составляет 50-80 °С. В большинстве случаев эффективность конверсии применяемого поглощающего вещества является крайне высокой, и стехиометрическое количество реагента добавляется в зависимости от соответствующего количества SO_2 , HF , HCl , SO_3 , H_3BO_3 , HBO_2 и SeO_2 , присутствующего в дымовом газе.

Однако, более высокая эффективность удаления газообразных загрязнителей, достигаемая системами влажной газоочистки, уравнивается значительным снижением скорости очистки газа для конкретного выброса по сравнению с сухим и полусухим методом газоочистки в сочетании с фильтрами.

Применение

Системы влажной газоочистки нечасто используются в стекольной промышленности из-за высоких затрат и аспектов, связанных с очисткой сточных вод. В результате очистки сточных вод часто образуется суспензия или твердый остаток, содержащий неактивные материалы (к примеру, известь), продукты реакции и воду. Суспензия далеко не всегда может использоваться в качестве сырья для производства стекла, и большую часть воды в суспензии приходится удалять перед транспортированием и утилизацией отходов на внешнем полигоне.

Системы влажной газоочистки используются в производстве минеральной ваты для очистки газов, выделяемых формовочной зоной и вулканизационными печами. Системы влажной газоочистки также применяются для очистки дымовых газов электрических печей с холодным сводом.

В ограниченном количестве случаев, системы влажной газоочистки используются для обработки дымовых газов установок для нанесения покрытия на входе в лер при производстве тарного стекла для удаления олова, оловоорганических соединений и хлоридов из газообразных отходов. Подобная технология может использоваться в дополнение или вместо более распространенных процедур объединения выбросов установок для нанесения покрытия на входе в лер и дымовых газов стекловаренных печей, как описано в Разделе 4.5.1. В таком случае, основной целью является снижение концентрации газообразных хлоридов, отправляемых в систему очистки (сухая газоочистка плюс фильтрация).

Экономика

Основные результаты оценки затрат на применение систем влажной газоочистки для стекловаренных печей приведены ниже:

- Капитальные затраты на применение систем влажной газоочистки составляют около 120-180 миллионов руб. для объема дымового газа в 10000 - 15000 нм³/час. Характерные специфические расходы находятся в диапазоне 90-120 руб. на тонну стекла или 60-90 руб. на килограмм удаленных оксидов серы и 900-1500 руб. на килограмм удаленной пыли. Указанные расходы включают в себя эксплуатацию фильтра, который считается необходимой мерой для снижения объема выбросов твердых частиц. В таком случае, общие затраты на влажную газоочистку значительно выше затрат на сухую газоочистку плюс фильтр.
- Предположительные капитальные затраты на применение систем влажной газоочистки в рекуперативных кислородно-топливных печах и печах с естественной тягой производительностью 100 - 125 тонн непрерывной нити стекловолокна в день находятся в пределах 156-180 миллионов руб., включая обработку суспензии и очистку сточных вод. Годовые эксплуатационные расходы превышают отметку в 18 миллионов руб. в год на одну печь. Дополнительные производственные затраты оцениваются в диапазоне 840 – 960 руб. на тонну стекла с учетом затрат на утилизацию в размере 6 000 руб. на тонну отходов, за исключением расходов на очистку сточных вод, которая значительно увеличивает данный показатель. Данные расходы существенно возрастут, вплоть до 1200 – 1300 руб. на тонну стекла, если применить более высокие ставки тарифов за размещение отходов (24 000 руб./т отходов). В данном случае, специфические расходы на удаление оксидов серы составят около 60-100 руб. за килограмм удаленного SO₂ и 1200-1800 руб. за килограмм удаленной пыли.
- Данные по затратам на применение подобной технологии в установках для производства столовой посуды, тарного и листового стекла отсутствуют, так как на сегодняшний день данная технология в принципе не применяется в указанных секторах.

Побудительные причины для реализации технологии

Побудительной причиной для реализации технологии влажной газоочистки может выступать потребность в минимизации объема газообразных выбросов, который особенно сложно контролировать при использовании других технологий, таких как борные кислоты. Однако, значительные межсредовые эффекты, сопряженные с влажной газоочисткой, ставят под вопрос целесообразность применения подобной технологии.

Примеры реального использования на производстве

В стекольной индустрии представлено крайне незначительное количество примеров реального использования данной технологии. Системы влажной газоочистки применяются в некоторых стекловаренных печах для производства непрерывной нити стекловолокна и в специальном стекольном производстве. Также, данная технология применяется в относительно небольших установках в производстве хозяйственной стеклянной посуды для очистки дымовых газов шести электрических печей.

Данные по использованию данной технологии в установках для изготовления специальных типов стекла приведены в Таблице 4.18.

Таблица 4.18: Уровни выбросов, связанных с применением систем влажной газоочистки в электрических печах для изготовления специальных типов стекла.

Рабочие параметры	
Тип печи	Электрическая плавильная
Мощность печи	40 т/сутки
Фактическая скорость вытягивания	32 т/сутки
Возраст печи	3.5 лет
Тип стекла	Известково-натриевое стекло для фар
Стекланный бой (только внутренний)	30 %
Специфическое потребление энергии (только стекловарение)	4.50 ГДж/т стекла
Общее потребление энергии (на тонну плавленого стекла)	7.11 ГДж/т стекла
Система очистки дымового газа	Влажная газоочистка

Уровни выбросов (¹)	мг/Нм ³ , сухой газ	кг/т плавленного стекла
Твердые частицы	1.8	0.017
Оксиды азота	159	1.54
Оксиды серы	2.3	0.022
HCl	<0.2	<0.002
(1) Данные по выбросам получены за счет периодического измерения за полчаса.		
(2) NO _x выбросы возникают из-за нитратов в стекольной шихте.		

4.4.4 Фториды (HF) и хлориды (HCl)

В данном разделе все газообразные фториды и хлориды выражаются как фторид водорода (HF) и хлорид водорода (HCl) соответственно. Абсолютное большинство галогенидов выбрасывают в атмосферу именно в этих формах. Выбросы HF и HCl возникают за счет примесей в стекольной шихте и за счет сырья, которое было выбрано, поскольку содержит необходимые вещества в достаточном количестве, чтобы обеспечить желаемое качество продукции.

4.4.4.1 Сокращение объема отходов

В большинстве процессов выбросы HF и HCl возникают за счет примесей, которые попадают в стекольную шихту и выделяются во время стекловарения. Многие сырьевые материалы содержат крайне незначительное количество фторидов и хлоридов, которые практически не влияют на окончательные уровни выбросов. Однако некоторое сырье, включая внешний стеклобой, имеет значительное содержание указанных элементов в качестве примесей. Сюда в первую очередь относится:

- Синтетическая кальцинированная сода, которая имеет остаточное содержание NaCl приблизительно в 0,05 – 0,15 %;
- Долomit, который может иметь значительные примеси фторидов;
- Вторсырье в виде стеклобоя, которое может содержать целый ряд различных примесей в значительном количестве, в частности, хлориды, фториды и металлы. Количество данных веществ разнится в зависимости от чистоты стеклобоя, но в регио-

нах с высокими уровнями переработки отходов, данные вещества могут постепенно откладываться в стекле;

- Переработанная пыль из очистительного оборудования, которая одержит фторидные и хлоридные соли, которые могут откладываться в системе;
- Некоторые виды топлива (к примеру, кокс из некоторых источников) могут содержать хлориды;
- Пластик, полученный за счет внешней переработки, может содержать хлориды.

Выбросы хлоридов от процессов, которые используют синтетическую кальцинированную соду в шихте (в основном, производство натрий-кальциевого стекла) значительно выше, чем, к примеру, от производства каменной ваты или непрерывной нити стекловолокна (см. Главу 3). Среди процессов, которые умышленно не используют вышеуказанные материалы, наибольший уровень выбросов HCl и HF по одной из тенденций приходится на производство листового и тарного стекла.

Уровень выбросов можно минимизировать через аккуратный подбор сырья. Вопросы, касающиеся уровней NaCl в кальцинированной соли раскрыты в Разделе 4.4.1.1. Ряд иных методик, описанных в Главе 4, также положительно влияет на выбросы HF и HCl . В основном, это методики, которые снижают испарительный перенос путем понижения температуры, сокращения воздушного потока или минимизации турбулентности. Данные методики включают в себя:

- Повышенное использование стеклобоя, что снижает температуру и энергопотребление, а также позволяет отказаться от использования кальцинированной соды, содержащей хлоридные примеси. Потенциально может быть достигнут парадоксальный эффект, если использовать стеклобой с высоким содержанием HCl или HF ;
- Электрический бустер;
- Улучшенная конструкция и геометрия печи;
- Расположение печи;
- Кислородно-топливное стекловарение;
- Электрическое стекловарение.

Целый ряд типов продукции, изготавливаемых в рамках стекольной промышленности, использует материалы, содержащие фториды для достижения специфических

свойств материала или для удовлетворения требований к качеству стекла. Наиболее важные примеры подобной продукции описаны ниже.

Непрерывная нить стекловолокна

Производство непрерывной нити стекловолокна, как правило, требует фторидов. Фториды добавляются для того, чтобы оптимизировать поверхностное натяжение и текучие свойства, способствовать волокнообразованию и минимизировать разрывы нити. Это является важными факторами для экономической и экологической эффективности процесса. Большое количество разрывов снижает выход продукции, и повышает уровень отходов. Основным источником добавляемых фторидов, как правило, служит флуорит (CaF_2), однако значительные уровни фторидов присутствуют также и в каолине (алюмосиликате).

Прикладывались усилия к тому, чтобы снизить объемы или полностью отказаться от добавления фторидов в шихту для производства непрерывной нити стекловолокна. В таком случае единственными фторидами, присутствующими в стекломассе, будут случайные фториды, содержащиеся в минеральном сырье, в частности в каолине. При доступности адекватных источников минералов (адекватного качества и экономически целесообразных), аккуратный отбор сырья позволят добиться снижения уровня выбросов до $<20 \text{ мг/м}^3$ или 0.09 кг/т стекломассы.

Недавняя разработка безборного Е-стекла, которое теперь производится некоторыми компаниями в России, имеющими доступ к этой авторской технологии, позволяет фактически полностью устранить летучие компоненты стекломассы: никакого бора, низкое содержание щелочи ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1 \%$), низкое содержание сульфатов и фторидов.

Потенциальный межсредовой эффект, связанный с использованием безборной и безфторидной шихты, заключается в повышенном энергопотреблении, которое возникает за счет более высокой температуры стекловарения. Однако отсутствие бора позволяет использовать технологию конвекционного стекловарения стекла (так называемые «сводные горелки») для лучшей передачи доступного тепла стекломассе.

Разработка стекла с низким содержанием фторидов и бора является результатом дорогостоящей научно-исследовательской работы, и данная технология старательно

охраняется компаниями, которые ее создали. Таким образом, данная разработка не станет моментально доступна для всех операторов. Существуют также длинные и дорогостоящие процедуры регистрации продукта, которые необходимо соблюсти перед внедрением новой продукции с изменениями в формуле шихты.

Производство фритты

Выбросы фторидов напрямую связаны с использованием фтористых компонентов в шихте. Фториды в подавляющем большинстве используются для производства эмалевой фритты, и, как правило, в значительном количестве не представлены ни в одном из сырьевых материалов, используемых для производства керамической фритты. Некоторые производители керамической фритты могут периодически изготавливать небольшие партии эмалевой фритты в печах для керамики, и тем самым, провоцировать выбросы фторидов, однако подобное производство составляет лишь небольшой процент от всей продукции стекольной промышленности. Выбросы фторидов, вероятно, являются наиболее значительным воздействием производства эмалевой фритты на окружающую среду.

Фториды придают фритте уникальные свойства, такие как повышенная термическая и химическая стойкость, а также пониженный риск вспучивания эмалевого покрытия. Фториды добавляются в шихту в виде флуорита, фторсиликата, криолита или фторсиликата натрия. На сегодняшний день большинство производителей предлагают безфторидную эмаль или эмаль с низким содержанием фторидов, и доступность таких продуктов постепенно растет. Как правило, безфторидная продукция представляет менее 10 % от общей продукции, а продукция с низким содержанием фторида - около 30 %. Количество фторидов, которые входят в шихту, как правило, не может быть достаточно снижено, чтобы добиться уровней выбросов, сопоставимых с технологиями газоочистки или другими видами фритты.

Непрозрачное стекло

Непрозрачное стекло производится в секторах специального, хозяйственного и изредка тарного стекла. Добавление фторидов вызывает кристаллизацию стекла, что придает ему дымный и непрозрачный вид. Большинство установок, которые производят

данный тип стекла, используют технологию сухой газоочистки для борьбы с выбросами HF. На сегодняшний день не существует каких-либо практически воплощаемых альтернативных технологий, которые позволили бы обеспечить сопоставимое качество продукции. В большинстве случаев непрозрачное стекло плавится в электрических печах с холодным сводом. Это снижает уровень выбросов, так как значительное количество фторидов поглощается слоем шихты. А сам процесс требует меньше фторидов в целом. Также применение электрического стекловарения значительно снижает объем дымового газа, который необходимо очищать.

Сектор специального стекла также производит фторсодержащий крон, который является оптическим продуктом с очень большим содержанием фторидов. Уровень производства данного стекла в России крайне низок, и подобное производство всегда сопровождается очисткой дымовых газов.

В целом, меры направленные на сокращение объема отходов являются более предпочтительными, чем очистка отходов. Однако в случае стекол, которые содержат фториды в качестве важного компонента, меры, направленные на снижение уровня фторидов, могут наложить строгие ограничения на рабочие условия и потребовать значительных ресурсов на развитие и новые разработки. Хотя снижение объема выбросов требуется действующим законодательством, это подтолкнуло многих производителей к тому, чтобы отдать предпочтение очистке дымового газа, и в частности сухой газоочистке.

4.4.4.2 Технологии газоочистки

Технологии газоочистки, которые применяются по отношению к данным выбросам, могут быть сухими, полусухими либо влажными. Подобные технологии и уровни выбросов, которых они позволяют добиться, описаны в Разделах 4.4.3.3 и 4.4.3.4 выше. Крайне важным является выбор абсорбента, и иногда возникает потребность в компромиссе между снижением SO_2 и снижением HF и HCl. В частности, существуют конкурирующие реакции между HCl/HF и SO_2 с углекислым натрием. Оптимальный выбор будет зависеть от различных аспектов, включая относительные уровни различных загрязнителей в дымовом газе.

Еще одной технологией, которая может оказаться целесообразной с технической и экономической точки зрения для небольших производств (к примеру, эмалевая фритта), является влажная газоочистка, которая использует насадочные скрубберы с циркулирующей водой или, что более эффективно, щелочным раствором. Основным недостатком данного подхода является генерируемый поток сточных вод.

4.4.5 Оксиды углерода

Оксиды углерода включают в себя углекислый (CO_2) и угарный (CO) газы. Угарный газ возникает, как продукт неполного сжигания, и редко выделяется предприятиями стекольной промышленности на том уровне, который мог бы причинить существенный вред окружающей среде. Со значительными уровнями угарного газа приходится иметь дело в печах для каменной ваты, но большинство заводов оборудовано камерой дожигания для окисления перед выбросом. Углекислый газ возникает из-за сжигания ископаемого топлива или других органических материалов за счет разложения углеводородов, и приводит к окислению прочего сырья в шихте, которое содержит углерод (шлак, уголь и т.д.). Выбросы CO_2 во многом зависят от энергоэффективности плавильного процесса, и могут значительно разниться при применении первичной или вторичной технологии для контроля других загрязнителей, т.е. предварительный нагрев стекольного боя или другие аналогичные процессы.

Углеродаты, такие как кальцинированная сода и известь, являются основными источниками оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов в стекольной промышленности. Однако недавно на некоторых стекольных производствах была применена технология использования негашеной извести и доломита вместо углеродатов. Единственным реальным альтернативным источником данных оксидов являются бытовые и промышленные отходы, такие как стеклобой для стекольной промышленности, переработанная продукция и шлак (исключительно для производства каменной ваты). Проблемы, сопряженные с данными материалами, обсуждаются в других разделах данного документа, однако основным фактором, ограничивающим возможность их использования, является низкая доступность адекватных количеств материала достаточного качества и консистенции для поставок. Высокая утилизация подобных материалов, как правило,

ограничивается тарным стеклом и каменной ватой, где для производства тарного стекла используется стеклобой, а для каменной ваты – шлак.

Углекислый газ часто упоминается в контексте негативного влияния на окружающую среду, однако он не входит в перечень основных загрязнителей. Растущее применение переработанных материалов в стекольной промышленности продиктовано необходимостью экономить энергию и сокращать отходы, а полезные эффекты от заменителей углеродных материалов является дополнительным преимуществом. Аналогично, снижение выбросов CO_2 , достигаемое за счет экономии топлива, продиктовано также потребностью в снижении энергопотребления и текущих расходов и давлением со стороны властей, требующих сократить выбросы оксидов азота.

Многие технологии, описанные в данной главе, имеют большое значение для сокращения выбросов CO_2 , однако ни одна из них, не считая нацеленных на снижение энергопотребления и удаление прочих загрязнителей, не может быть представлена к рассмотрению при определении наилучшей имеющейся технологии для установок стекольной промышленности.

Непрямые выбросы CO_2 , которые в частности возникают, когда для производственного процесса и работы системы контроля загрязнения воздуха требуется электроэнергия, также необходимо принимать во внимание при оценке общего вклада установки в выбросы оксидов углерода.

4.5 Технологии контроля выбросов в воздух от работ, не связанных стекловарением

Этот раздел охватывает работы, которые не относятся к плавлению или к погрузке материалов. Эти работы включают в себя формование продукта и любые работы, выполняемые на продуктах, которые, в общем, рассматриваются как часть основной технологии. В большинстве работ в стекольной промышленности стекловарение сырьевых материалов является первой главной работой для выполнения, а последующие работы, указанные иногда в данном документе, называются работы «далее по технологической цепочке». Из-за очень специфического характера этих работ, которые «далее по технологической цепочке», здесь представлено обсуждение этих работ на отраслевой основе.

4.5.1 Тарное стекло

Основным источником выбросов в воздух от НЕ-плавильных работ в производстве тарного стекла является нанесение покрытия на входе в лер. Нанесение покрытия в виде очень тонкого слоя оксида металла выполняется с помощью пропускания горячих контейнеров (тары) из формовочной машины через газовый фартук, содержащий пары смесей олова или титана. Наиболее часто встречающимися материалами являются безводное четыреххлористое олово (SnCl_4), монобултитрифторид олова ($\text{C}_4\text{H}_9\text{SnCl}_3$) и безводный четыреххлористый титан (TiCl_4). Выбросы состоят из HCl , оксихлоридов, оксидов олова и титана (SnO_2 , TiO_2), в виде тонких твердых частиц и непрошедших реакцию материалов покрытия. Небольшие выбросы летучих органических веществ также могут происходить от работ по нанесению холодного покрытия. Эти выбросы не рассматриваются как очень значительные, и не встречаются в обсуждении далее в этом документе.

Первый шаг в снижении выбросов заключается в минимизации использования покрытия в соответствии с требованиями к продукту. Использование материала можно дополнительно оптимизировать за счет обеспечения хорошей герметичности участков покрытия, чтобы минимизировать потери.

В настоящее время отходящие газы от операций по нанесению покрытия на входе в лер попадают под регулирование с помощью четырех разных способов, которые можно применить:

- экстрагированные и выпущенные прямо в воздух;
- экстрагированные и обработанные с помощью вторичных технологий, т.е., газоочисткой мокрым способом или стадией сухой газоочистки, фильтрацией;
- объединением с отходящими газами от печи выше по технологической цепочке от газоочистки и системы фильтрации;
- объединением отходящих газов с воздухом горения в печи.

Выпуск отходящих газов от работ по нанесению покрытия на входе в лер прямо в воздух, в общем, оправдан только с учетом относительно малой массы потока или из-за концентрации загрязняющих веществ в топочных газах. Фактически в некоторых обстоятельствах с применением нового поколения фартуков и систем распределения эти вы-

бросы можно снизить до величины ниже 5 мг/м^3 металлических смесей и ниже 30 мг/м^3 HCl. Однако такая практика применяется только в специальных случаях; а в большинстве установок используются другие опции.

Опция по объединению отходящих газов с печным воздухом горения может оказать некоторое влияние на стекольную химию и материал регенерационной печи; хотя вряд ли такое влияние будет значительным. Некоторые установки в России используют эту технологию, и объединяют отходящие газы от работ по нанесению покрытия на входе в лер с воздухом горения до входа в регенерационную печь.

Объединение топочных газов от нанесения покрытия на входе в лер с отходящими газами от печи выше по технологической цепочке от оборудования системы контроля загрязнения часто применяется в случае, если смонтировано оборудование вторичной очистки отходящих газов печи. Исходя из полученных данных, как сообщается, эта опция является наиболее часто применяемой технологией, используемой в практике очистки отходящих газов до подачи для обработки в лер.

На производствах, где собранный материал проходит переработку/возвращение в цикл, возможно влияние металлов на стекло и накопление хлорида и металлов, а также их влияние на систему. Эти соображения в некоторых случаях могут ограничить повторную переработку пыли.

Как было отмечено ранее, мокрые газоочистители могут быть эффективны для уменьшения газообразных выбросов, но их эффективность в обработке тонкой пыли ограничена перепадом давления по всей системе. Рабочие характеристики зависят от состава на впускном патрубке, но однофазный газоочиститель может оказаться достаточным оборудованием, чтобы обеспечить соответствие местным требованиям. Если нужно дополнительное снижение (восстановление), то можно применить, либо рукавный фильтр с последующим насадочным скруббером, либо скруббер Вентури с последующим насадочным скруббером.

Можно предполагать, что эти технологии, снизят HCl до $<10 \text{ мг/м}^3$, но эффективность удаления пылевидных веществ или металлов вообще будет довольно низкой из-за тонких частиц и специфических химических свойств реагирующих продуктов, возникающих из-за применения хлоридов олова и титана. Если HCl присутствует в качестве аэрозоли, то можно предполагать выбросы $<10 \text{ мг/м}^3$. Стоимость альтернативных реше-

ний зависит от объема отходящих газов. Местные обстоятельства могут означать, что сравнимые величины можно получить с помощью менее сложных методов.

Другой значительный источник выбросов от работ по горячей обработке поверхности связан с обработкой внутренней поверхности тарного стекла, в основном предназначенной для фармацевтических целей, с SO_3 . В этих случаях мокрая газоочистка обычно применяется для удаления $\text{SO}(x)$.

Технические детали, относящиеся к использованию мокрых газоочистителей, представлены в разделе 4.4.3.4 и в разделе 4.5.6.1.2.

4.5.2 Листовое стекло

В общем, выбросы в воздух от НЕ-плавильных работ во время производства листового стекла очень невелики и не требуют мер по борьбе с загрязнением. Если ванна флоат-стекла работает правильно, существуют незначительные пары олова. SO_2 используется вначале лера, но снова, если процесс правильно отрегулирован, то выбросы будут низкими. Типовые концентрации и массы выбросов, как сообщается, составляют между $150\text{--}300 \text{ мг/м}^3$ и $0,02\text{--}0,04 \text{ кг/т}$ стекла (см. раздел 3.4.2.3).

Другие потенциальные выбросы представляют собой продукты горения от нагревателей природного газа в лере. Исключением для этого случая является выполнение процесса нанесения покрытия онлайн. Выбросы от этих процессов являются специфическими для каждого случая, и фактический пример используется здесь, чтобы описать технологию, которую можно применить.

Химическое осаждение из паровой фазы при атмосферном давлении представляет собой процесс нанесения покрытия, который использует следующие сырьевые материалы: четыреххлористое олово (SnCl_4), плавиковую кислоту (HF), метанол (CH_3OH), и силан (SiH_4). Существуют две отдельные стадии нанесения покрытия: покрытие подложки SiCO и верхнее покрытие оксидом олова, легированным фтором. Выбросы от стадии нанесения подложки проходят термическую печь (печь дожига газов), чтобы разрушить любую органику, отходящие газы охлаждаются и твердые частицы (аморфный кремний) удаляются в рукавных фильтрах. Собранный материал проходит переработка/возвращение в цикл и в печь.

На стадии нанесения верхнего покрытия отходящие газы, которые содержат галиды и смеси олова, проходят через высокотемпературный реактор, чтобы окислить смеси олова. Твердый оксид олова удаляется с помощью электростатического осадителя, а галиды удаляются в насадочном газоочистителе для химических веществ. Получаются уровни выбросов:

- твердых частиц 15 мг/м^3
- хлорид водорода 5 мг/м^3
- фтор и газообразные смеси в виде HF $<1 \text{ мг/м}^3$
- металлы $<5 \text{ мг/м}^3$.

В общем, выбросы от этих типов работ можно контролировать с использованием одной из технологий, перечисленных ниже, или их комбинации; в некоторых случаях могут быть подходящими другие в равной степени эффективные технологии.

- Оборудование пылеудаления, состоящие из рукавных фильтров или ESP, несмотря на то, что рукавный фильтр вероятно даст более низкие выбросы ($1\text{-}5 \text{ мг/м}^3$);
 - систему фильтрации можно объединить со стадией сухой газоочистки;
 - мокрая химическая газоочистка;
 - высокотемпературное окисление, термический дожиг газа.

Стоимость зависит от специфических условий каждого производства, но, в общем, не рассматривается в качестве неприемлемого фактора для полученных результатов.

4.5.3 Непрерывная стеклонить (стекловолокно)

Выбросы в воздух от НЕ-плавильных работ в этой отрасли происходят от четырех основных источников:

- нанесения покрытия на волокна
- сушка спекшегося осадка
- резка и измельчение
- вторичная обработка.

Выбросы в воздух от нанесения покрытия обычно бывают достаточно низкими из-за малой летучести материала покрытия и малых температур стекла в точке нанесе-

ния. Важным аспектом этого является выбор материалов покрытия с низкими уровнями органических растворителей. Однако некоторые летучие разновидности будут присутствовать, либо в растворителе, либо в субпродуктах реакции. Используемые материалы покрытия широко варьируются в зависимости от продуктов и оборудования, но выбор материала является наиболее эффективным методом снижения выбросов. Большие объемы воздуха для охлаждения стекла делают процесс трудным и дорогим с точки зрения контроля выбросов летучих органических веществ с помощью вторичных мер.

Большие потоки воздуха приводят в результате к возникновению капель и способствуют испарительному переносу любых имеющихся летучих органических веществ. Системы мокрой газоочистки часто используются, чтобы контролировать отходящий газ, но влияние летучих веществ будет ограничено конденсацией. В этом случае можно также использовать электростатические осадители, но такие примеры неизвестны. Стоимость мокрой газоочистки и мокрых электростатических осадителей будет аналогична ценам для отрасли минерального (стеклянного) волокна. Полученные уровни выбросов полностью зависят от начальных уровней в каждом случае; некоторые типовые величины представлены в разделе 3.5.2.3.

Мокрые спекшиеся отложения обычно высушиваются, и любые летучие разновидности при таких температурах испускаются вместе с водяными парами. В общем, молекулярные веса материалов остаются достаточно высокими, и значительная пропорция любых летучих веществ выделяется (улетучивается) во время нанесения покрытия. Есть небольшой объем информации об уровнях выбросов, причем в настоящее время единственной используемой технологией для минимизации выбросов остается подбор материала. Объемы отходящих газов весьма невелики, и можно использовать стандартные технологии контроля, если определены значительные объемы испускания, например, при сгорании, адсорбировании и газоочистке. Информация о стоимости этих технологий для данного случая применения отсутствует, но эти технологии готовы для применения с небольшими объемами газа. Однако предпочтительно, контролировать такие выбросы с помощью оптимизации формулы покрытия до внедрения любой технологии борьбы с загрязнением.

Пылевые выбросы, происходящие от резания и измельчения, можно быстро очистить с помощью вытяжки их в систему фильтров. Это стандартная технология, используемая по всему производству, причем можно получить выбросы в диапазоне 1-5 мг/м³.

Вторичная обработка может охватывать использование дополнительного покрытия или связующих материалов. Эти выбросы являются очень специфическими в каждом случае и можно использовать стандартные технологии борьбы с загрязнением для летучих органических веществ и небольших примесей газов, если первичные меры не обеспечили требуемый уровень рабочих характеристик.

4.5.4 Стеклопосуда

В большинстве процессов производства стеклянной посуды существуют значительные выбросы в воздух от работ далее по технологической цепочке от печи. Ряд систем горелок используется, чтобы поддержать правильную температуру стекла для огневого шлифования (полирования) и в лере отжига, но там отсутствуют значительные выбросы, которые требуют специальных видов контроля.

Исключением из этого правила является производство изделий, требующих резания и шлифования, особенно многосвинцового хрусталя, свинцового хрусталя и хрустального стекла. Наличие свинца в пыли, вырабатываемой во время работ далее по технологической цепочке, требует тщательного контроля потенциальных непредусмотренных выбросов, чтобы не допустить проблем со здоровьем и безопасностью для рабочих.

Резание охватывает нанесение резьбы по точным шаблонам с использованием шлифовальных алмазных кругов вручную или автоматически. Можно также выполнять другие работы по резанию и шлифованию, такие как шлифование кромок. Вода используется обычно в качестве охладителя для резания, и чтобы не допустить пылевых выбросов. Может быть смонтирована вытяжка, чтобы удалить водяной туман из охлаждающего состава. В случаях, когда много работ выполняется с жидким охладителем, не существует крупных выбросов в воздух, но возможно необходим капле/тумано - уловитель в системе вытяжки. Если выполняются сухие работы по резанию и шлифовке, то пыль можно удалять, и пропускать через эффективную систему рукавных фильтров,

чтобы убрать пылевые выбросы в диапазоне 1–5 мг/м³. В случае резания и шлифования для свинцового хрусталя, выбросы Pb, после очистки (т.е., рукавных фильтров), как ожидается, будут ниже 1–1,5 мг/м³.

Резание стекла создает серую, не полностью готовую поверхность на стекле. Поверхность стекла восстанавливается до своего оригинального внешнего вида с помощью погружения в шлифовальную ванну с фтористоводородной или серной кислотой, обычно типовые растворы содержат 30 % H₂SO₄ и 2–3 % HF при температуре <50 °C. Испарения этих кислот HF и SiF₄ исходят с поверхности шлифовальной ванны. Самым эффективным способом обработки этих выбросов обычно является мокрая газоочистка, либо с водой, либо с химическим раствором. Во время этой работы образуется гексафторкремниевая кислота (H₂SiF₆) (до 35 %), и будет необходима нейтрализация раствора от кислого газоочистителя. В качестве альтернативы можно восстановить эту кислоту H₂SiF₆, если это целесообразно, и использовать ее как сырье для химической промышленности. Основной проблемой в отношении атмосферных выбросов от систем кислой газоочистки остается фтористоводородная кислота; обычно получаются величины <5 мг/м³ HF. Вода, полученная в результате шлифовальных работ, обрабатывается обычным способом с помощью гашеной извести, чтобы удалить фториды и сульфаты. Шлам (осадок) от очистки воды состоит из CaSO₄ и небольших количеств CaF₂, и его обрабатывают наружным способом для последующего повторного использования (т.е., в цементе).

В этих случаях применения можно получить очень низкие уровни выбросов с помощью мокрых газоочистителей (<5 мг/м³ HF). Из-за очень кислотного характера выбросов, присутствует высокая растворимость в воде и маловероятно, что будет необходима химическая газоочистка. Химическая газоочистка приводит в результате к меньшему использованию воды, но не допускает восстановления H₂SiF₆ из жидких отходов. Недавно были разработаны альтернативные технологии кислотного шлифования, т.е., механическое шлифование, и высокотемпературное шлифование, либо с помощью пламени, либо с помощью лазеров.

4.5.5 Специальное стекло

Существуют значительные выбросы в воздух от стандартных работ далее по технологической цепочке в этой отрасли. Производство телевизионного стекла охватывает работы по шлифованию и полированию, но они выполняются в жидкой среде, и от них нет никаких выбросов в воздух. Если телевизионное стекло или любые другие продукты подвергаются любому сухому резанию, шлифованию или полированию, то выбросы можно контролировать с помощью вытяжки в систему рукавных фильтров, чтобы собрать пылевые выбросы в диапазоне 1–5 мг/м³. Это очень разнообразный сектор работ, и здесь могут быть работы на некоторых видах оборудования, для которых нужны специальные соображения для каждого случая.

4.5.6 Минеральное (стеклянное) волокно

Выбросы в воздух от НЕ-плавильных работ в отрасли минерального (стеклянного) волокна происходят от четырех основных источников: формования, сушки, охлаждения продукта, а также обработки упаковки продукта. Данные показывают, что выбросы от формования и сушки являются наиболее значительными. Эти выбросы в большей части относятся к использованию системы связки на основе фенольной смолы.

Технологии в этом разделе описаны отдельно для зоны формования и зоны сушки. Это сделано для удобства, и из-за того, что характеристики отходящих газов различаются. Однако в обеих зонах можно применить несколько технологий, и особенно в зоне производства стекловолокна, причем возможно преимущество будет иметь объединение выбросов для очистки. Этот тот случай, когда технологии описаны наиболее тщательно для раздела зоны формования, а для зоны сушки даны перекрестные ссылки.

Существует несколько важных различий между линейными выбросами от стекловолокна и технологиями работы с каменным волокном, которые будут обсуждаться в этих разделах, относящихся к технологиям, для которых они наиболее применимы.

4.5.6.1 Зона формования

В зоне формования стекло или камень плавятся, и происходит волокнообразование, а потом наносится связующее вещество. Волокно, покрытое смолой, передается на

сборный конвейер, над которым смонтирована вытяжка. Во время процессов изготовления стекловолокна выполняется впрыскивание воды в трубопроводы вытяжки и в вентилятор. Это действие выполняет две функции, не допускает наслоения материала в трубопроводах, и удаляет некоторые твердые частицы и газообразные компоненты из потока газов. Процессы каменного волокна варьируются по своему использованию водяных спреев внутри трубопроводов; некоторые можно сравнить с производством стекловолокна, но во многих водяные спреи совсем не применяются. Периоды изготовления каменного волокна во вращающейся печи длятся по несколько недель, и поэтому отсутствует возможность чистить трубопроводы воздуха, водяные спреи не всегда кажутся необходимыми.

Отходящие газы зоны формования, содержат значительные уровни пылевидных веществ, фенола, формальдегида и аммиака. Пылевидные вещества состоят как из неорганического, так и из органического материала, часто клейкого и с очень маленькими размерами частиц. Небольшие уровни летучих органических веществ и аминов можно обнаружить, если они включены в систему связующего вещества. Учитывая природу этого процесса, поток газа имеет температуру немного выше окружающей среды, обладает большим объемом (если используются водяные спреи внутри воздухопровода), и насыщен влагой. Эти свойства вместе с природой загрязняющих веществ ограничивают количество технологий газоочистки, которые можно применить. Выбросы можно значительно снизить с помощью ряда факторов, но особенно:

- Химия системы связующего вещества
- Технология изготовления волокна
- Рабочие условия (температура, поток воздуха и влага)
- Уровень, наносимого связующего вещества
- Метод нанесения связующего вещества

Оптимизация этих параметров в связи с водяными спреями внутри воздухопроводов могут значительно уменьшить выбросы. Химия системы связующего вещества является одним из наиболее важных факторов, и применяется для системы обработки воды, а также для выбросов от формования, сушки и охлаждения (см., раздел 2.9.1, чтобы узнать дополнительную информацию). Системы связующих веществ варьируются у операторов и, в общем, они не очень ясны вне этой отрасли. Эти системы могут быть

очень специфичными для каждого конкретного случая, и подлежат рассмотрению на индивидуальной основе. Раздел ниже суммирует некоторые основные вопросы.

Сведения о химии смолы и связующего вещества

Оптимизация химии системы связующего вещества и эффективность способа применения может иметь значительное влияние на выбросы в окружающую среду. Связующее вещество также представляет собой значительную долю стоимости готового продукта. Таким образом, операторы процесса рассматривают разработки химии связующего вещества и технологии нанесения, как секретную информацию.

Связующее вещество изготавливается из воды, фенольной смолы, мочевины, сульфата аммиака, аммиака, силана, минерального масла, кремниевого (силиконового) масла и возможно других ингредиентов для индивидуального процесса.

Смола является фенольным резольным полимером, состоящим из смеси триметил фенола, диметилфенола, формальдегида, продуктов второстепенных реакций фенола и формальдегида, а также следов фенола. Смола создана на водяной основе, и обычно имеет 50 % твердых частиц. Излишек формальдегида используется в реакции, чтобы получить низкий уровень свободного фенола.

Некоторые смолы и амины катализируются, и могут вызвать значительные уровни газообразных аминов в отходящих газах. Эти выбросы могут быть «виртуально» уничтожены с помощью использования других препаратов в качестве катализаторов в производстве смолы. Можно использовать ряд веществ, но точные данные оптимизированных систем обычно рассматриваются как частное собственническое знание. За счет использования катализируемых систем смолы можно получить уровни выбросов $<5 \text{ мг/м}^3$. Если компания не имеет достаточных знаний в своей структуре, чтобы разработать не-аминовую катализируемую смолу, то такие системы легкодоступны у специалистов – поставщиков смолы.

Мочевина реагирует со смолой, чтобы растянуть смолу и снизить свободные уровни формальдегидов, и также оказать влияние на улучшение сопротивления конечного продукта. Мочевина реагирует со свободным формальдегидом в смоле, чтобы образовать метилол мочевины, который реагирует с активными точками на фенольной смоле и участвует в механизме структурирования во время сушки. Мочевина действует,

как заместитель для фенола, и приводит в результате к более дешевому связующему веществу. Таким образом, есть стимул для оператора, чтобы максимизировать количество мочевины в смоле до точки, когда начинается негативное влияние на качество продукта или параметров обработки.

У мочевины есть два основных недостатка: она снижает растворимость смолы, и она может разрушиться, как в зоне формования, так и в печи сушки, чтобы сформировать аммиак. С точки зрения защиты окружающей среды, максимизация использования мочевины весьма выгодна, т.к., она снижает формальдегидные выбросы, она заменяет фенол, и продукты разложения мочевины являются предпочтительными по сравнению с фенольными производными и частично с продуктами горения, которые иным образом будут испускаться.

Аммиак выполняет несколько важных функций в системе связующего вещества, и дает возможность для некоторой степени гибкости, которая важна в оптимизации процесса в целом. Аммиак улучшает растворимость связующего вещества, обеспечивая возможность добавить больше мочевины, и позволяет дольше хранить связующее вещество. Он также помогает поддерживать число pH системы в правильном диапазоне, и реагирует с любым свободным формальдегидом. Характер процесса таков, что выброс аммиака выше обычной величины может случиться только в течение коротких периодов. Последствия снижения уровней аммиака в этом процессе могут быть непропорциональны последствиям для остального процесса, и более высокие уровни выбросов могут привести в результате более низким общим выбросам.

Сульфат аммиака добавляется, чтобы контролировать сушку смолы. Силан обеспечивает жизненно важную границу между неорганическим стеклом и органическим связующим веществом. Гидроксильные группы силана взаимодействуют с оксидами стекла, и органическая функциональная группа реагирует со смолой, чтобы сформировать сильную связь. Минеральные и силиконовые масла добавляются, чтобы улучшить характеристики обращения (погрузки) с продуктом, чтобы подавить образование пыли и обеспечить степень водоотталкивающей способности.

После нанесения связующего вещества на горячее стекло в зоне формования, летучие компоненты (т.е., аммиак, формальдегид и фенол) начинают испаряться и экстрагируются в точку вытяжки. Уровень летучих выбросов становится функцией количе-

ства, не прошедшего реакцию летучего материала в связующем веществе, растворимостью связующего вещества, температуры в фартуке формования и температуры стекла. Связующее вещество наносится в виде тонкого спрея (разбрызгивания), и любые капельки, которые не удержались на подложке (поверхности) высвобождаются в воздух вытяжки. Размер удержания связующего вещества на продукте зависит от распределения размеров капель, толщины подложке и уровня применяемой вытяжки. Были рассмотрены несколько альтернатив для связующих веществ на основе фенольной смолы, но, как было выяснено, ни одно из них не дало приемлемого качества продукта.

4.5.6.1.1 Сопла и циклоны, оказывающие влияние

Описание

Важным фактором при рассмотрении нужных систем газоочистки для зоны формования является содержание воды в потоке газа. Непрерывный характер производства стекловолокна требует использования механизма очистки, чтобы не допустить наслоения клейкого органического материала и волокна в воздуховодах системы вытяжки и на вентиляторе. Обычная применяемая технология водяных спреев внутри воздуховодов может иметь разнообразные формы. Прерывистый характер производства каменного волокна во вращающейся печи (рабочие периоды от одной до трех недель) предоставляет возможность, очистить систему воздуховодов, если есть необходимость. Кроме того, для производства каменного волокна требуется относительно меньшее количество связующего вещества на единицу объема продукта, и, поэтому отложения идут медленнее. Некоторые процессы каменного волокна используют водяные спреи в зоне формования, но это в основном из-за предпочтения оператора или из-за специфичных для каждого конкретного случая эксплуатационных требований.

В случаях, когда водяные спреи используются, чтобы чистить систему воздуховодов, было бы логичным, оптимизировать их работу, чтобы также очищать отходящие газы. В этой ситуации две задачи решаются полностью комплиментарно: чем больше удаляется материала из отходящих газов, тем более эффективно работает функция очистки. В общем, система адаптируется выше необходимого минимума на то, чтобы не

допустить чрезмерное наслоение в системе воздухопроводов. В рамках отрасли используется термин «влияющие сопла», чтобы описать оптимизирующую технологию.

Чтобы оптимизировать эффективность газоочистки, в системах можно применить воду в больших объемах и под высоким давлением, но это не вызовет значительного падения давления. Конструкция влияющих сопел меняется от процесса к процессу, но имеется тенденция оптимизировать эффективность технологии, как для очистки воздухопровода, так и для газоочистки отходящих газов. Чтобы удалить содержащуюся воду из отходящих газов, влияющие сопла всегда объединяются с циклонами (или другими устройствами), которые также оказывают влияние на уровни выбросов твердых частиц в зависимости от конструкции, как это описано в разделе 4.4.1.4.

Удаление твердых частиц и капель выполняется с помощью столкновений частиц и в меньшей степени благодаря диффузии. Некоторые системы могут включать в себя сужение на воздуховоде, чтобы улучшить эффективность удаления, но эффективность удаления твердых частиц доминирующим образом зависима от перепада давления, который является низким для всех этих систем. В общем, из-за низкого перепада давления в системе, эффективность удаления для тонких пылевидных веществ и капель довольно низка, в то время как крупные частицы и волокна удаляются хорошо.

Газообразные вещества будут частично абсорбированы за счет контакта с водой. Эффективность газовой абсорбции зависит от разницы между частичным давлением газа в поток отходящих газов и давления пара газа в жидкости, растворимости газа в жидкости, площади поверхности контакта и в меньшей степени от времени контакта. Существует также эффект конденсации, который может быть важным, если отходящие газы остаются теплыми.

Обработка воды обычно применяется для влияющих сопел, и уже содержит большую часть веществ, присутствующих в потоке газа в разных количествах. Это особенно влияет на эффективность удаления газообразного вещества. Вода для повторного использования фильтруется до повторного ввода в цикл, но содержит значительные уровни растворимых материалов. Система находится в динамическом равновесии, и система обработки воды будет описана позже в этом документе.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Использование влияющих сопел и циклонов дает возможность легко удалять твердый материал, присутствующий в значительных количествах в топочных газах в зоне формирования крупных и изделий и волокнистых форм. Однако, из-за низкой эффективности удаления тонких частиц, циклоны и влияющие сопла используются в основном в качестве технологии предварительной очистки. Окончательные выбросы очень сильно зависят от связующего вещества и химии обработки воды, а также от применяемого связующего вещества.

Межсредовые последствия

Если нет иной технологии, такой как используемый скруббер с насадкой, то циклоны (или иногда альтернативные устройства) встраиваются во влияющие сопла, чтобы удалить остатки воды. Необходимо, снижать потребление воды, и получить приемлемые уровни видимости потока загрязнения и рассеивания.

В случаях, если используется мокрая технология (т.е., мокрая обработка в электростатических осадителях (ESPs), газоочистка с насадкой), влияющие сопла обычно используются выше по технологической цепочке от этого оборудования.

Эксплуатационные данные

Результаты, полученные с использованием этой технологии, представлены в Таблице 4.20.

Применимость

В принципе эта технология применима для всех производств стекловолокна и каменного волокна. Она не используется на многих производствах каменного волокна, т.к., не кажется, необходимой для очистки работ, и, кажется, что она может оказать негативное влияние на другие технологии газоочистки. Для выбросов в зоне формирования используются влияющие сопла и циклоны на примерно 90 % производствах стекловолокна и 10 % производств каменного волокна.

Экономика

Стоимости технологий представлены в Таблице 4.21, причем они зависят в значительной степени от потока воздуха и размера производства. Стоимости технологий в качестве меры газоочистки трудно оценить, т.к., если используются влияющие сопла, то некоторые формы механизма очистки становятся неотъемлемым требованием для этого процесса. Стоимости, указанные в таблице, представляют собой общую стоимость системы. Не существует примеров систем, введенных в строй просто для очистки системы воздуховодов; они всегда смонтированы для двойственных целей. Оценка говорит, что элемент очистки газа представляют собой 60 % от общей стоимости.

Ведущая сила для внедрения

В зоне формования значительное количество твердого материала представляет собой крупный и волокнообразный материала, и его можно легко удалить с помощью влияющих сопел и циклонов, особенно в производстве стекловолокна.

4.5.6.1.2 Мокрые газоочистители (скрубберы)

Описание

Мокрые системы газоочистки можно использовать, чтобы контролировать, как газообразные выбросы, так и выбросы твердых частиц. Несмотря на то, что базовая технология для обеих систем одинакова, критерии проектирования для удаления твердых частиц и газа различаются. Однако, чтобы снизить капитальные затраты, мокрые системы газоочистки часто используются, чтобы контролировать смешанные выбросы твердых частиц и газов. Конструкция неизбежно становится компромиссом, но может представлять собой «наилучшую доступную технологию» (НДТ) в случаях, когда отдельные контролирующие системы чрезмерно дорогие. Мокрая газоочистка является технологией с хорошей документацией, причем в этом разделе обсуждаются только основные принципы, и специальные вопросы.

Улавливание частиц с помощью газоочистки жидкостью происходит с помощью трех основных механизмов: инерционного влияния, перехвата и диффузии. Удаление остаточного газа и мокрая газоочистка выполняются за счет абсорбции, и в меньшей

степени, конденсации. Абсорбция охватывает перемещение массы между растворимым газом и растворителем в устройстве контакта газ – жидкость.

Эффективность улавливания частиц мокрых газоочистителей (скрубберов) сильно зависит от общего использования энергии особенно от перепада давления по площади зоны улавливания. Если жидкость равномерно распределена внутри газоочистителя (скруббера), одинаковый перепад давления часто даёт одинаковую эффективность задержания пыли для различных конструкций газоочистителей (скрубберов). Следовательно, невозможно, спроектировать мокрый газоочиститель (скруббер), у которого будет высокие величины влияния на частицы размером 1 мкм и ниже, и у которого не будет большого перепада давления. Газоочистители (скрубберы) с высоким потреблением энергии могут обеспечить высокую эффективность улавливания для частиц <0.5 мкм, но высокие эксплуатационные расходы означают, что альтернативные технологии могут оказаться более экономичными. Эффективность газовой абсорбции зависит от разницы между частичным давлением растворимого газа в потоке отходящих газов и давления пара газа в жидкости, растворимости газа в жидкости, площади поверхности контакта и в меньшей степени от времени контакта. Существует также эффект конденсации, который может быть важным, если отходящие газы остаются теплыми. Совершенно ясно, что растворимость зависит от газа и жидкости. Вода подходит для абсорбции растворимых кислых газов, таких как хлорид водорода, фторид водорода, кремниевый гексафторид и для аммиака.

Кислотные или щелочные растворы подходят для абсорбции менее растворимых газов, и в некоторых случаях применения окисляющие растворы могут контролировать органические запахи. Площадь поверхности определяется упаковочным материалом или размером капель.

Насадочный скруббер состоит из наружного корпуса, который содержит пласт наполнителя на опорных решетках, жидкие распределители, газ и жидкость, а также впускные/выпускные патрубки и туманоуловитель. Жидкость непрерывно распределяется по поверхности наполнителя, формируя пленку, которая обеспечивает большую площадь поверхности контакта газа/жидкости. Поток грязного газа выходит сквозь наполнитель, причем движение потоков жидкости и газа может идти в противоположные стороны, совпадать по направлениям и может скрещиваться. Существуют различ-

ные типы материалов наполнителя, которые можно укладывать/набивать без порядка или соблюдая порядок. Жидкостная пленка на материале наполнителя обеспечивает большую площадь поверхности для передачи массы. Абсорберы слоя наполнителя с противоположным направлением движения максимизируют ведущую силу для абсорбции, т.к., газ, исходящий из слоя наполнителя встречается со свежей абсорбирующей жидкостью. Слой наполнителя может засориться из-за нерастворимых пылевидных веществ, отложений и биологических наслоений.

В некоторых случаях применения можно предусмотреть газоочистители (скрубберы) типа Вентури. Газоочистители (скрубберы) типа Вентури служат как ограничители пыли (сопло Вентури), что вызывает рост скорости газа. Жидкость подается в газоочиститель (скруббер) и формирует пленку на стенках, которая атомизируется (распыляется на мельчайшие капли) за счет потока газа в сопле Вентури. Эффективность газоочистителя (скруббера) типа Вентури зависит от перепада давления и, соответственно, у них высокое потребление электроэнергии и высокие эксплуатационные расходы. Газоочистители (скрубберы) типа Вентури обычно являются наиболее эффективными устройствами мокрой газоочистки для улавливания частиц, т.к. они могут работать с субмикронными частицами. Их можно также использовать для удаления остаточных газов, но эффективность ограничена из-за короткого времени контакта.

Самым распространенными мокрыми газоочистителями (скрубберами) в рамках этой отрасли являются насадочные скрубберы обычно вместе с влияющими соплами, смонтированными выше по технологической цепочке от этого оборудования. Влияющие сопла удаляют более крупные пылевидные вещества и, соответственно, помогают не допустить засорений в наполнителе. Некоторые операторы смонтировали ионизирующие мокрые скрубберы, которые, как предполагается, должны объединить преимущества низких капиталовложений мокрых скрубберов с низкими эксплуатационными расходами электростатических осадителей. Ионизирующие мокрые скрубберы являются в своей базовой части насадочными скрубберами, удерживаемыми в состоянии нейтрального заряда, и со смонтированной перед ними ионизирующей секцией, чтобы заряжать частицы. Фильтрующий слой обычно образован пластиковым наполнителем. Скорости прохождения газа сквозь постель/слой наполнителя замедлены до такой степени, чтобы

обеспечить нахождение частиц возможно более длительное время и возможно ближе к элементам наполнителя.

Если отходящие газы от зоны формирования приходят в контакт с водой в действующей системе газоочистки, то происходят следующие явления:

- пропорция захваченных пылевидных веществ преимущественно более крупных частиц и капель будет находиться в подвешенном состоянии;
- пропорция любых растворимых смолистых веществ будет абсорбировано водой.
- летучие вещества сформируют равновесие между газообразной и водной фазами.

Отработанная вода наиболее часто используется как жидкость для скруббера в рамках отрасли. Это представляет собой потенциальную проблему для поддержания достаточно малых концентраций летучих веществ в среде газоочистки, чтобы обеспечить эффективную абсорбцию и не допустить возвращения обратно к газообразной фазе. Процесс изготовления минерального (стеклянного) волокна представляет собой чистое потребление воды и рабочие характеристики газоочистителя-скруббера можно улучшить за счет внедрения чистой воды в виде доливания в систему скруббера. Это преимущество можно оптимизировать с помощью использования комбинированного многофазного процесса газоочистки с использованием воды, протекающей от фазы к фазе противоположным током относительно потока газа. Таким путем самая грязная вода используется, чтобы промыть, входящий (самый грязный) поток газа и чистая вода используется в конечной фазе газоочистки. Описание типового контура воды для производства стекловолокна представлено на Рисунке 2.11, раздел 2.9.1.

Возможным решением проблемы было бы отделение среды газоочистки от системы отработанной воды и, либо использование чистой воды с достаточно высокой очисткой, чтобы поддержать эффективную абсорбцию, либо дозировать химические вещества в жидкость скруббера с веществами, которые дали бы реакцию с летучими препаратами. Однако существуют важные ограничения для обоих указанных подходов. Использование системы чистой воды для обеспечения значительно лучших рабочих характеристик вызовет необходимость слишком большого объема очистки воды, чтобы его переработать и вернуть в систему очищенной воды, и станет источником нового потока отходов,

требующего отдельной очистки. Объем воды, исходящей из влияющих сопл, обострит эту проблему.

Содержание воды и смоляной характер веществ, содержащихся в отходящем газе, вызовет засорение и проблемы с объемом жидкости газоочистителя (скруббера) в химической газоочистке, если будет применена очистки большого объема. Из-за химического содержания ни одно из этих веществ, не пройдет повторную очистку и возвращение в систему отработанной воды, что снова станет причиной нового потока отхода, требующего отдельной очистки. Дополнительным осложнением является то, что химические реагенты, необходимые, чтобы удалить фенол/формальдегид и аммиак, являются несовместимыми, и потребуют отдельных стадий. Стадии химической газоочистки можно поместить последовательно со скруббером отработавшей воды, но это сильно увеличивает расходы и, если только очистка не является в высшей степени эффективной, она не преодолеет обсуждаемые проблемы. Также если рассматривать поток водных отходов, разница в общих выбросах между такой технологией и скруббером отработавшей воды с хорошим управлением процессом, вероятно, будет ограничена.

Многоступенчатая газоочистка, либо в комбинированном устройстве, либо в отдельных блоках, в теории является потенциальной опцией для зоны формования и для комбинированного формования и выбросов печи сушки. Однако, процессы производства минерального (стеклянного) волокна не оперируют многоступенчатыми скрубберами, и поэтому не имеется информации об их рабочих характеристиках для окружающей среды, расходах или потенциальных эксплуатационных проблемах. Таким образом, в настоящее время технология не рассматривается как полностью доступная. Она могла бы, тем не менее, попасть под рассмотрение в качестве опции (варианта), если линейные выбросы будут очень высокими на конкретном оборудовании.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Уровни выбросов, достижимые с помощью насадочных скрубберов, (с отработавшей водой в качестве жидкости для скруббера) в промышленности минерального (стеклянного) волокна представлены в Таблице 4.20.

Межсредовые последствия

Важное соображение в отношении мокрых скрубберов заключается в том, что потенциальное межсредовое влияние от создания потока водных отходов будет в том, что он потребует очистки. В отрасли минерального (стеклянного) волокна этой проблемы можно избежать за счет с использованием отработавшей воды в качестве среды для газоочистки со 100 % обработкой этой воды и возвратом в систему отработавшей воды. Использование чистой воды или химических скрубберов приводит в результате к потоку водных отходов (см., раздел 2.9.1, Рисунок 2.11).

Эксплуатационные данные

Эффективность удаления пылевидных веществ ограничена низким перепадом давления и для газообразных веществ использованием отработавшей воды в качестве среды газоочистки. Следует ожидать значительно более низкие уровни выбросов для фенола, формальдегида и аммиака при газоочистке чистой водой. Равновесие отработавшей воды является критическим фактором, и возможна в некоторых редких случаях (т.е., слабый продукт связующего вещества, с последующим длительным периодом на сильном продукте связующего вещества), чтобы эффективность скруббера была отрицательной для газообразных компонентов.

В последние годы несколько операторов использовали ионизирующие мокрые скрубберы, но общие результаты стали разочарованием. Улучшения эффективности по сравнению с насадочными скрубберами составило менее 10 %.

В этой отрасли отсутствует опыт химической или многоступенчатой газоочистки, но опыт химической промышленности предполагает, что выбросы ниже 10 мг/м^3 можно легко получить для фенола, формальдегида и аммиака, если можно преодолеть связанные проблемы. По сравнению с данными, представленными в Таблице 4.20, это представляет собой значительное улучшение для аммиака.

Применимость

В принципе насадочные скрубберы с циркулирующей отработавшей водой применимы для всех процессов в рамках этой отрасли. Эта технология не ограничена новыми производствами или значительными модификациями, но, вероятно, затраты будут выше для действующего оборудования. В некоторых случаях применения особенно для

каменного волокна, можно использовать другие технологии, чтобы получить аналогичные или более низкие уровни выбросов.

В производстве стекловолокна немного менее 20 % оборудования использует насадочные скрубберы, либо для комбинированной зоны формования, либо для выбросов от печи сушки, либо просто для зоны формования. В производстве каменного волокна насадочные скрубберы используются на примерно 10 % оборудования для выбросов зоны формования и аналогично в зоне сушки. Выбросы от этих двух зон обычно не объединяются в оборудовании по производству каменного волокна.

Экономика

Стоимости технологий представлены в Таблице 4.21, причем они зависят в значительной степени от потока воздуха и размера производства. Внедрение фазы ионизации в виде ионизирующего мокрого скруббера охватывает увеличение капиталовложений на примерно 75 %, и примерно 10 %-ный рост эксплуатационных расходов. Предполагается, что многоступенчатая химическая газоочистка поднимет вдвое общую стоимость, указанную в таблице. Стоимость комбинированного многоступенчатого скруббера, вероятно, будет сравнима с системой ионизирующего мокрого скруббера. Однако будет необходимо, полностью разделить ступени (стадии), которые добавляют расходы, и могут потребоваться более дорогие коррозионностойкие материалы.

Ведущая сила для внедрения

Преимущество технологии заключается в возможности, объединить выбросы зоны формования и печи сушки в одной стадии очистки. Объем отходящих газов зоны формования обычно в десять раз больше, чем выбросы от печи сушки. Если внедрить все это на стадии проектирования, то комбинация с отходящими газами незначительно добавит к совокупным расходам технологии.

4.5.6.1.3. Мокрые электростатические осадители

Описание

Основные принципы работы мокрых электростатических осадителей (ESPs) описаны в разделе 4.4.1.2. В мокрых осадителях уловленный материал удаляется с пластин с помощью смыва подходящей жидкостью, обычно, водой, либо поливом из спрея периодическим или непрерывным. Три основных типа мокрых электростатических осадителей (ESPs) представляют собой проволочные и пластинчатые устройства, либо пластинчатые и пластинчатые устройства, либо трубные и проволочные устройства, причем все они могут работать в мокром состоянии. В пластинчатом типе поток газа идет горизонтально; в трубной конструкции поток газа вертикальный с потоком воды, движущимся навстречу газу. В некоторых более прочных конструкциях проволока заменена на прутки. Некоторый механизм обычно смонтирован, чтобы удалять капли воды до выпуска, причем либо туманоуловитель, либо последнее сечение работает в сухом состоянии.

Несмотря на то, что вообще-то предпочтительным является сухое осаждение, мокрые осадители весьма полезны для удаления пыли из мокрых газов с температурами, близкими к точке выпадения росы, а также для улавливания жидкостных аэрозолей и липких материалов, таких как смоляные частицы и смола. Рабочие характеристики мокрых осадителей меньше зависят от свойств частиц, т.к., влага, присутствующая в газе, легко осаждается, и помогает во время осаждения трудной пыли.

Трубные изделия используются наиболее часто для мокрого применения, и их легко можно сделать взрывозащищенными, если в наличии есть смолы. Однако трубные изделия обычно имеют одно электрическое поле и меньше подходят для получения очень высокой эффективности. Все три типа были использованы в изготовлении минерального (стеклянного) волокна, но в настоящее время предпочтение отдано пластинчатым/проволочным и трубным/проволочным типам. Обычно монтируется спринклерная система для пожаротушения.

На впуске в мокрый электростатический осадитель (WESP), вытягиваемые газы надо распределять так, чтобы получить равномерную и низкую скорость газа между всеми элементами. Отходящие газы подготавливаются с помощью влияющих сопел выше по технологической цепочке от электростатического осадителя (ESP); материал с крупными волокнами удаляется, и газ насыщается водой и охлаждается. Чтобы обеспечить работу в рамках расчетных параметров, также используется чистая вода; она разбрызгивается спреем на впуске в электростатический осадитель (ESP), чтобы обеспе-

чить насыщение и используется, чтобы очистить электроды. В обработке стекловолокна объем этой воды обычно достаточно низкий, чтобы его выпустить в контур отработавшей воды, и может представлять собой основную верхнюю часть этого контура. В большинстве работ по производству каменного волокна потенциал испарений от процесса формования значительно меньше, и невозможно использовать такой объем чистой воды.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Мокрые электростатические осадители (ESPs) эффективны в удалении пылевидных веществ, аэрозолей и капель в диапазоне размеров от 0,01 до 10 мкм. Рабочие характеристики зависят от ряда факторов особенно от скорости газа. Новый, специализированный мокрый электростатический осадитель (ESP) обеспечит эффективность удаления >98 % от всех пылевидных веществ диаметром >1 мкм, несмотря на то, что эффективность удаления быстро падает для частиц <1 мкм. Рабочие характеристики могут снижаться с прохождением срока службы оборудования, поэтому техобслуживание является важным процессом.

В общем, мокрые электростатические осадители (WESPs) показали ограниченную эффективность по удалению газообразных веществ. Эта работа очень сильно зависит от диапазона продукта, связующего вещества и химии отработавшей воды. Однако из-за высокой степени насыщения водой и использования значительного количества чистой воды, происходит некоторая абсорбция газообразных веществ.

Данные, относящиеся к примерному оборудованию, изготовляющему стекловолокно, представлены в Таблице 4.19. Это производство оборудовано продвинутой системой контроля воздушного загрязнения, состоящего из мокрого электростатического осадителя (WESP), используемого в комбинации с мокрым скруббером, циклоном – сепаратором и биологической очисткой для удаления органических загрязняющих веществ.

Таблица 4.19: Твердые и газообразные выбросы от зоны формования оборудования стекловолокна, в котором используется мокрый электростатический осадитель

Производительность:	36 000 – 38 000 т/год
---------------------	-----------------------

Объем топочных газов:	191707 м ³ /час	
Систем газоочистки:	мокрый скруббер, циклон – сепаратор, вытяжная вентиляция, биологическая очистка с шестью вертикальными моющими башнями, мокрый электростатический осадитель с тремя осадительными полями	
	Уровни выбросов (1) (мг/м ³)	Массовый расход (кг/час)
Формальдегид + фенол	4.3	0.82
Общие органические смеси (ТОС), в качестве С	4.4	0.84
Пылевидные вещества	21	4.03
Аммиак (NH ₃)	18	3.45
HF	<0.02	<0.004
HCl	7	1.3
SO ₂	~3	-0.6
NO(x) (NO ₂)	9.9	1.9
Медь (Cu)	0.0217	0.004
Марганец (Mn)	0.0381	0.007
Одориметрия	64 ольфактии/м ³	
(1) Величины выбросов от прерывистых измерений (среднее значение 4 – 6 получасовые измерения, выраженные в замеренном 20.5 % O ₂)		

Межсредовые последствия

Обзор основных преимуществ и недостатков, связанных с использованием мокрых электростатических осадителей:

Преимущества:

- хорошая получаемая эффективность удаления твердых частиц, а также капель/аэрозолей; <20 мг/м³
- абсорбция газообразных веществ возможна при наличии насыщения водой и использовании чистой воды
- применимость для выбросов от формования и сушки

- низкий перепад давления и, следовательно, относительно низкие эксплуатационные расходы и потребление энергии
- если используются влияющие сопла, чтобы удалить крупные волокнистые материалы, то засоры бывают редко
- длительный срок службы и небольшие работы по техобслуживанию

Недостатки:

- формирование водных жидких отходов; обычно их можно переработать и вернуть в производство при производстве стекловолокна, но этот процесс менее возможен для каменного волокна
- эффективность удаления газообразных веществ обычно низкая
- энергия потребляется, но потребление относительно низкое по сравнению с требованиями других технологий
- если есть высокие концентрации СО (т.е., производство каменного волокна), возможно, эта технология будет неприменима
- относительно высокие капиталовложения
- требования значительных площадей
- работы по техобслуживанию небольшие, но очень важные; плохое техобслуживание приводит к значительному ухудшению рабочих характеристик
- наличие высокого напряжения требует выполнения правил безопасности.

Эксплуатационные данные

Результаты, которые можно получить от использования этой технологии, представлены в Таблице 4.20.

Применимость

В принципе эта технология применима для новых и действующих производств стекловолокна и каменного волокна. Основные недостатки для каменного волокна заключаются в потенциальной трудности утилизации водяных отходов. Эта технология подходит, как для выбросов от зоны формования, так и для печи сушки, а также для объединенных выбросов. Уже в 1997 году примерно 30 % оборудования по производ-

ству стекловолокна использовало эту технологию для выбросов от отдельной или объединенной зоны формования, а также от печи сушки.

Экономика

Стоимости этой технологии представлены в Таблице 4.21, причем они зависят в значительной степени от потока воздуха и размера производства.

Ведущая сила для внедрения

Выполнение законодательных ограничений по выбросам является, в общем, основной движущей силой для внедрения этой технологии. Вопросы, относящиеся к качеству окружающего воздуха, также могут определять необходимость применения этой технологии.

4.5.6.1.4 Фильтры для каменного волокна

Описание

Обычные процессы пассивной фильтрации (т.е., рукавные фильтры) неприменимы для обработки отходящих газов от работы зоны формования и печи сушки.

Прилипчивый и иногда влажный характер отходящих газов приводит к быстрому засорению, даже при наличии интенсивной очистки и техобслуживания. Для работ с каменным волокном, где процессы формования часто бывают сухими, можно применить пластинчатые (слябовые) фильтры. Они состоят из стального и цементного корпуса, внутри которого монтируются пластины из каменного волокна на кассетах в качестве фильтрующей среды. Этот тип фильтров обладает хорошей эффективностью удаления пылевидных веществ и капель связующего вещества, но у него низкая эффективность удаления газообразных компонентов. Надо чистить фильтрующую среду или менять ее периодически, чтобы поддерживать эффективность удаления твердых частиц и не допустить увеличения сопротивления потоку воздуха. И использованные пластины (слябы) фильтра обычно проходят переработку/возвращение в цикл повторно, если на заводе есть процесс брикетирования.

Работа может вестись на полусухой основе, но общая эффективность резко улучшается, если работа выполняется насухо. Система не производит водного потока отходов, и влажные пластины фильтров легко перерабатываются с помощью процесса брикетирования.

Более ранняя версия этой конструкции основана на работе башенного фильтра с роликами (валами) из каменного волокна в качестве фильтрующей среды. Эта технология менее эффективна, и была в основном заменена на конструкцию с пластинами, смонтированными в кассетах. Башенная конструкция фильтра была более подходящей для отходящих газов с большим количеством влаги, более высоким содержанием связующего вещества, но она не могла справиться с отходящими газами, обрабатываемыми влияющими соплами.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Фильтры каменного волокна очень эффективны в удалении пылевидных веществ и капель/аэрозолей. Величины выбросов, которые можно получить с использованием этой технологии, представлены в Таблице 4.20. Эта технология не оказывает значительное влияние на газообразные вещества, но в комбинации с первичным контролем (т.е., сухая работа) и малыми выбросами аэрозоля, можно получить уровни, представленные в таблице. Это также приведет к очень низкой видимости шлейфа от этого типа фильтра (см. также раздел 4.5.6.2.5).

Межсредовые последствия

Обзор основных преимуществ и недостатков, связанных с использованием фильтров каменного волокна:

Преимущества:

- хорошая получаемая эффективность удаления твердых частиц, а также капель/аэрозолей $<20 \text{ мг/м}^3$
- использованные пластины (слябы) фильтра могут проходить переработку/возвращение в цикл повторно, если на заводе есть оборудование
- не создается водных отходов
- низкие капиталовложения

- низкий перепад давления и, следовательно, относительно низкие эксплуатационные расходы и потребление энергии

Недостатки:

- энергия потребляется, но потребление относительно низкое по сравнению с требованиями других вторичных технологий
- ограниченная эффективность удаления газообразных веществ
- не рассматривается в качестве технологии, применимой к производству стекловолокна.

Применимость

Эта технология была в основном ограничена зонами формирования каменного волокна, несмотря на то, что она все чаще и чаще применяется в печах сушки каменного волокна (см., раздел 4.5.6.2.5). Эта технология применима, как для нового, так и для действующего оборудования по производству каменного волокна.

Более 90 % процессов каменного волокна использует эту технологию для очистки отходящих газов зоны формирования, примерно 30 % использует ее для выбросов печи сушки, и примерно 40 % использует ее для очистки газов охлаждения. Ограниченное использование в прошлом для печей сушки каменного волокна было вызвано частично высокой температурой газа и частично широким распространением дожигателей. Однако в настоящее время использование пассивного фильтра каменного волокна можно рассматривать в качестве предпочтительной технологии для печей сушки.

Неизвестны случаи применения технологии в процессах стекловолокна. Непрерывный характер производства стекловолокна требует использования непрерывного механизма очистки, чтобы не допустить наложения материала и волокна в воздуховодах системы вытяжки и на вентиляторе. Обычной применяемой технологией является использование влияющих сопел. Они обычно не используются в производстве каменного волокна, из-за прерывистого характера процесса обеспечивает возможность, чистить систему воздуховодов. Кроме того, для производства каменного волокна требуется относительно меньшее количество связующего вещества, и поэтому отложения материала идут медленнее.

В ходе обработки каменного волокна волокно обычно улавливается, и собирается в виде мата постоянной толщины, который потом укладывается на отдельный формовочный конвейер, чтобы дать нужные свойства продукту. Первичный мат бывает тонким, и предполагает небольшой, постоянный перепад давления, а также обеспечивает возможность использовать одну систему вытяжки с относительно небольшим объемом. Во время изготовления стекловолокна используется формовочная система с одним конвейером. Толщина мата увеличивается вместе с формовочным конвейером, и меняется в зависимости от продукта. Изменение разности давления по длине конвейера делает необходимым использование нескольких систем вытяжки разной производительности, и общий объем вытяжки должен иметь обоснованно высокое давление, а также иметь возможность регулировки и контроля. Уровень и распределение вытяжки представляет собой важный инструмент контроля работы, которая часто меняется операторами. Условия регулируемого большого объема и более высокого давления отходящих газов стекловолокна не являются идеальными для систем фильтрации.

Отходящие газы от насыщенного водой большого количества связующего вещества для зоны формования стекловолокна вызывает быстрое засорение фильтра каменного волокна. Из-за этого потребуются часто заменять наполнитель фильтра, и увеличит уровень мокрых отходов, требующих переработки и возвращения в работу.

Дополнительное осложнение от использования фильтров минерального (стеклянного) волокна во время обработки стекловолокна заключается в увеличенной трудности переработки и повторного использования материала в печи. Переработка и повторное использование волокнистых отходов в печи минерального (стеклянного) волокна обсуждается в разделе 4.7.

Экономика

Стоимости этой технологии представлены в Таблице 4.21, причем они зависят в значительной степени от потока воздуха и размера производства. Капиталовложения, особенно низки, и небольшой перепад давления приводит к низким эксплуатационным расходам по сравнению с другими конвекционными системами фильтров.

Ведущая сила для внедрения

Фильтры каменного волокна являются очень эффективными в удалении пылевидных веществ и капель/аэрозолей с относительно небольшими инвестициями и эксплуатационными расходами, а также небольшим потреблением энергии.

4.5.6.2 Печь сушки

Мокрый мат продукта подается в печь при примерно 250 °C. Влага выходит из него вместе с летучим материалом, а связующее вещество начинает сохнуть. Температура и время выдержки в печи являются очень важными параметрами.

Связующее вещество должно быть достаточно связано в поперечном плане, но не пересушено, иначе качество продукта пострадает. Выбросы от печи состоят из летучего связующего вещества, продуктов разрушения связующего вещества и продуктов горения от горелок печи. В общем, продукты стекловолокна содержат относительно высокие уровни связующего вещества, чем продукты каменного волокна, что приводит в результате к более высоким выбросам. Выбросы печи также имеют тенденцию, пахнуть без обработки.

Печь обычно работает на газе, и действует вытяжка. Выбросы печи бывают липкими, и представляют собой потенциальный риск пожара, из-за отложений горючего материала в системе вытяжки, особенно в печах стекловолокна. Чтобы не допустить пожаров, поток газа надо либо очистить водой, или надо обеспечить дополнительный нагрев, чтобы разрушить липкий характер загрязняющих веществ. В этих процессах без дожига вода обычно разбрызгивается спреем в системе воздуховодов вытяжки, чтобы не допустить наслоения смоляного материала и не допустить пожара. Водяные спреи также удаляют некоторое количество материала, уловленного потоком газа.

4.5.6.2.1 Влияющие сопла и циклоны

Описание

Технология описана в разделе 4.5.6.1.1 выше, но существуют несколько других вопросов, которые следует рассмотреть. Отходящие газы от печи имеют значительно более низкий объем и более высокую температуру, чем отходящие газы зоны формова-

ния. Таким образом, особенно в обработке стекловолокна наслоения смоляных материалов в системе воздухопроводов представляют собой риск пожара и даже взрыва. Вода, разбрызганная спреем в газ, обладает значительным эффектом охлаждения, и некоторые вещества конденсируются из отходящих газов. Это необязательно значит, что эти вещества удаляются, и в первых частях системы материал может переходить в летучее состояние из грязной отработавшей воды.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Из-за низкого перепада давления в системе эффективность удаления тонких пылевидных веществ остается довольно низкой; однако, использование влияющих сопел и циклонов способствует конденсации некоторых веществ, не допуская наслоения смоляных смесей в систему воздухопроводов и ликвидируя риск пожара с последующими выбросами в атмосферу. Судя по зоне формирования, в системе действует динамическое равновесие, и газообразные выбросы сильно зависят от отработавшей воды и химического состава связующего вещества.

Межсредовые последствия

Если не используется иная технология, чтобы удалить собранную воду (т.е., наполнитель, циклон, сепаратор воды), то эта технология может вызвать высокое потребление воды и выбросы водяного тумана.

Эксплуатационные данные

Уровни выбросов, полученные с использованием этой технологии, представлены в Таблице 4.20.

Применимость

В отношении зоны формирования в принципе эта технология применима для всех производств штапельного волокна. Она не используется на многих производствах каменного волокна, т.к., не кажется необходимой для очистки газов, и, кажется, что она может оказать негативное влияние на рабочие характеристики других технологий. Влияющие сопла и циклоны широко применяются для печей сушки примерно на 90 % про-

изводств стекловолокна, часто для комбинированных топочных газов от формования и сушки. Эта технология используется в предварительной обработке в сочетании с другими технологиями.

Экономика

Стоимости этой технологии представлены в Таблице 4.21, причем они зависят в значительной степени от потока воздуха и размера производства. Вопросы, относящиеся к тому, какую часть этой цены следует рассматривать в качестве стоимости газоочистки, остаются аналогичными, как и для вопросов, связанных с зоной формования.

Ведущая сила для внедрения

В обработке стекловолокна наслоения смоляных материалов в системе воздухо-водов представляют собой особый риск пожара и даже взрыва. Вода, разбрызганная спреем в газ, обладает значительным эффектом охлаждения, и некоторые вещества конденсируются из отходящих газов.

Заводы - примеры

Эта технология так широко распространена, что нецелесообразно указывать заводы - примеры.

4.5.6.2.2 Мокрые газоочистители (скрубберы)

Эта технология для зоны формования описана в разделе 4.5.6.1.2, и их обсуждение одинаково применимо к вопросам о печных выбросах. Основные соображения о выбросах от печей сушки, обрабатываемых мокрыми скрубберами, заключаются в том, что объем значительно меньше и концентрации загрязняющих веществ отличаются; в общем, пылевидных веществ меньше, фенол сравним, но аммиака и формальдегида значительно больше.

Полученные уровни выбросов с использованием насадочных скрубберов (с отработавшей водой и жидкостью скруббера) в промышленности минерального (стеклянного) волокна представлены в Таблице 4.20. Печные выбросы относительно больше в га-

зообразных выбросах по сравнению с выбросами зоны формования, поэтому общая эффективность может быть выше. Снова это зависит от количества чистой используемой воды связующего вещества, а также от химии отработавшей воды.

Стоимости этой технологии представлены в Таблице 4.21, причем они зависят в значительной степени от потока воздуха и размера производства. Эти стоимости представлены для объединенных выбросов формования и сушки. Большинство примеров выбросов печей сушки, обрабатываемых с помощью мокрых скрубберов, даются для объединенных выбросов, но из-за низкого объема, дополнительные расходы бывают обычно низкими. Различия в предоставленных величинах стоимости в основном относятся к потоку воздуха, а грубая оценка одного процесса обработки выбросов от печей сушки может быть выполнена с помощью пропорционального уменьшения стоимости, но стоимостное соотношение не является линейным. В принципе эта технология применима ко всем производствам (раздел 4.5.6.1.2 см.).

4.5.6.2.3 Мокрые электростатические осадители

Эта технология для зоны формования описана в разделе 4.5.6.1.3, и их обсуждение одинаково применимо к вопросам о печных выбросах. Использование мокрых электростатических осадителей для обработки только выбросов от печей не является общепринятым, и обычно системы применяются для объединенных выбросов. Из-за высоких относительных концентраций газообразных и пахнущих веществ в печных отходящих газах, мокрый электростатический осадитель не будет первым выбором для технологии газоочистки для одних только печных выбросов. Однако если объединить их с выбросами зоны формования и неотъемлемым растворением, то это ведет к решению, когда мокрый электростатический осадитель становится логическим решением.

Уровни выбросов, полученные с помощью этой технологии, представлены в Таблице 4.20 и стоимости в таблице 4.21. В принципе эта технология применима, как для нового, так и для действующего оборудования.

4.5.6.2.4 Сжигание отходящего газа

Описание

Сжигание широко используется для контроля органических выбросов от промышленных процессов. Оно имеет недостатки, связанные с разрушением материала (препятствует восстановлению), нередко требует дополнительной энергии, и приводит к образованию диоксида углерода и оксидов азота. Однако этот процесс можно разработать таким образом, чтобы он стал энергоэффективным, и образовывал неотъемлемую часть подвода тепла для операций по сушке и вулканизации. Мусоросжигательные печи могут быть двух типов – тепловые ($>750\text{ }^{\circ}\text{C}$), или каталитические ($350\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Тепловое сжигание разрушает органические соединения путем теплового окисления до диоксида углерода, воды, оксидов серы и азота и прочих продуктов сгорания. Основные требования для эффективного сжигания указаны ниже. Продолжительность нахождения веществ в камере сжигания должна быть достаточно длительной для обеспечения полного сжигания. Эффективность разрушения 99 % обычно требует времени пребывания от 1 до 4 секунд при соответствующей температуре. Операционная температура должна составлять на $200\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры самовозгорания наиболее устойчивого вещества, наиболее характерные операционные температуры – примерно $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если поток газа содержит содержащие хлор и ароматические вещества, температура должна быть увеличена до $1100\text{--}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, и требуется быстрое охлаждение топочного газа для предотвращения образования диоксинов.

Для обеспечения эффективного процесса тепло- и массопереноса в зоне сгорания, а также для предотвращения «холодных точек» необходимо наличие вихревого потока. Это обычно достигается путем использования установок, которые генерируют вихревое сжигание и предусматривающих перегородки в камере сжигания.

Маловероятно, что каталитическое сжигание представляет собой практичный вариант в этом секторе, поскольку высокая загрузка твердых частиц и присутствие смолистых материалов приводило бы к отравлению катализатора.

Достигаемые преимущества для окружающей среды

Сжигание является эффективным приемом для устранения органических соединений из потоков отработавшего газа, но не сокращает содержание неорганических частиц. При сжигании используется энергия, и возникают выбросы CO_2 и оксидов азота,

которые, с учетом выделяемых количеств, могут рассматриваться предпочтительными по сравнению с уничтожаемыми веществами, и увеличить количество энергии, восстанавливаемой из топочного газа. Отработавший газ от печей вулканизации также содержит аммиак и прочие вещества, содержащие азот, которые частично окисляются, и приводят к образованию оксидов азота. Хорошо спроектированная сжигательная установка приведет к сокращению общего объема органических веществ до менее, чем 10 мг/нм^3 .

Влияние загрязнения одной среды на другую среду

Энергопотребление, связанное с использованием установки по сжиганию отработавшего газа, равно 200 м^3 газа на килограмм удаленного фенола и формальдегида, или 20 м^3 на килограмм удаленного аммиака. Последующее увеличение выбросов CO_2 оценивается как составляющее примерно 400 кг на кг фенола / формальдегида и 40 кг на кг аммиака

Резюме основных преимуществ и недостатков, связанных с применением сжигания отработавшего газа:

Преимущества:

- Высокая эффективность в плане разрушения органических загрязняющих веществ и запахов

- Не вырабатывается сточных вод или твердых отходов

Недостатки

- Высокое энергопотребление. Методы восстановления энергии из топочного газа должны быть применены, в той мере, в какой это технически возможно

- Происходят выбросы диоксида углерода и оксидов азота. Часть аммиака преобразуется в оксиды азота

- Никакой эффективности удаления неорганических твердых частиц

Существенно более высокая стоимость, чем при комбинированной очистке с образующимися выбросами, в случае ее возможности

Эксплуатационные данные

Показатели выбросов, которые могут быть достигнуты путем использования этой технологии, приведены в Таблице 4.20.

Данные касательно энергопотребления, связанные с использованием сжигания отработавшего газа, не доступны.

Применимость

В настоящее время технология используется только для очистки выбросов от печей вулканизации каменной ваты, и 60-70 % установок используют данную технологию. Альтернативные варианты описаны ниже.

Вследствие высокого объема, низкой концентрации, низкой температуры и иногда высокого содержания влаги, эта технология считается слишком дорогостоящей для отработавшего газа зоны формования. В принципе эта технология в равной мере применима как к новым, так и существующим процессам.

Как для стекла, так и для каменной ваты, всегда имеется возможность использования одной и той же технологии очистки для выбросов из вулканизационной печи и выбросов из зоны формования, что зачастую гораздо более экономично. В принципе отсутствуют технические основания, по которым выбросы из вулканизационной печи не могут быть снижены путем сжигания. Однако такой вариант не может представлять наиболее рентабельного решения.

Экономические аспекты.

Затраты на сжигание отходящего газа представлены в таблице 4.21 и зависят в большей части от воздушного потока и размера установки. Экономика сжигания зависит главным образом от возможностей рекуперации тепла. Затраты зависят от целого ряда факторов, но в частности:

- объем отходящего газа, подлежащего очистке, что определяет размеры камеры сжигания;
- температура отводящего газа, которая влияет на проект сжигательного оборудования и требования к дополнительному топливу;
- удельная теплота сгорания газа, которая влияет на требования к дополнительному / вспомогательному топливу;
- температура сгорания, которая определяет строительные материалы;
- приборы и аппаратуру

- варианты рекуперации тепла;
- требования к установке; в помещении, на открытом воздухе, на уровне земли, на крыше и т.п.

Побудительная причина для реализации

Соблюдение законодательно установленных пределов выбросов и вопросов, связанных с жалобами на запахи от местных жителей, может представлять собой побудительную причину для реализации этих мер.

4.5.6.2.5 Фильтры для каменной ваты

Описание

Фильтры для каменной ваты могут использоваться как комбинированная система фильтрации отходящих газов из зон формования и вулканизации или в качестве отдельного фильтра для выбросов из зоны вулканизации. Подробное описание этой технологии содержится в Разделе 4.5.6.1.4.

Достигнутые преимущества для окружающей среды

Фильтры эффективно сокращают выбросы органических и неорганических частиц, но не сокращают выбросы газов существенным образом. Это приведет к увеличению выбросов органических компонентов плюс аммиака из связующего вещества, но потребление энергии и выбросы оксидов азота и CO_2 в результате использования фильтров будет снижено, по сравнению со сжигательной печью. Увеличенные выбросы компонентов связующего вещества обычно являются незначительными по сравнению с выбросами из зоны формования.

Влияние загрязнений одной среды на другую среду

Фильтр для каменной ваты удерживает большую часть твердых частиц, органических и неорганических, но объем газообразных компонентов сокращается незначительно.

Эксплуатационные данные

Результаты касательно использования фильтров для каменной ваты приведены в таблице 4.20, по сравнению с прочими технологиями снижения загрязнений.

Применимость.

Фильтры для каменной ваты используются для обработки выбросов из вулканизационных печей для базальтовой ваты в качестве альтернативы установкам по сжиганию отработавшего газа. Концентрация частиц в отходящем газе, вырабатываемом при вулканизации обычно очень низка, так что несколько установок используют только основные меры борьбы с выбросами и вентиляционные каналы для очистки отходящего газа из вулканизационных печей. Вентиляционный канал может быть как отдельным, так и комбинированным для зоны формования/ вулканизации.

Экономические аспекты.

Затраты на эту технологию приведены в Таблице 4.21 и зависят главным образом от объема отходящего газа и размера установки

Побудительная причина для реализации

Удаление органических твердых частиц и мелких капель/ аэрозолей с целью соответствия пределам для выбросов органических соединений, установленных по закону, может представлять собой побудительную причину для реализации этой технологии.

4.5.6.3 Охлаждение продукта

Продукт должен пропустить большое количество воздуха (как правило, от 10 000 до 40 000 м³/ч) для охлаждения до приемлемой температуры после того, как его изъяли из печи. Этот газ содержит волокно, частицы вулканизированного связующего вещества, а также небольшой процент органической гари, которая может иметь сильный запах. Поток газа – основной вопрос в данном секторе, но он может вызвать местные проблемы. Существует три основных метода очистки газа, примеры каждого из которых представлены в рассматриваемом секторе, и все они приняты как доступные и приемлемые. Все

три метода позволяют достичь сравнительно низких уровней выбросов и вопрос о том, какой из вариантов наиболее предпочтителен, зависит от местных условий. В некоторых случаях, если показатель выбросов очень низкий, меры по снижению вторичных загрязнений могут оказаться излишними. К названным выше трем технологиям относятся следующие:

- использование системы фильтров для устранения пыли, в сочетании с достаточной скоростью истечения и высотой для избежания запахов на уровне земли.

- использование системы влажной очистки в сочетании с достаточной дисперсией. Система типа Вентури обеспечила бы сокращение выбросов твердых частиц и гари до максимального уровня.

- сочетание воздуха для охлаждения с системой очистки отходящего газа из зоны формования или вулканизационной печи.

Этот вариант сочетания – возможно наиболее экологичный и экономически эффективный.

4.5.6.4 Обработка и упаковка продукта

Процессы по производству минеральной ваты включают целый ряд операций по обрезке кромок и обрезке продукта, что приводит к образованию выбросов пыли. Принятый способ обработки этих выбросов – эффективный сбор и вытяжная вентиляция, после чего отработанный воздух проходит через эффективную систему удаления пыли, обычно пылеуловитель с рукавными фильтрами (см. также Раздел п 3.8.2.4).

Операции по упаковке также являются потенциальными источниками выбросов пыли, и их следует рассматривать таким же образом.

Объемы газа от этих операций могут существенно различаться (от 5000 до 70000 м³/ч). С целью минимизации капитальных и эксплуатационных расходов, объем отработанного воздуха должен быть сокращен до минимума, соразмерно надлежащему сбору пыли.

4.5.6.5 Запахи, возникающие в результате производства минеральной ваты

Оценка технического запаха – сложная, дорогостоящая и потенциально субъективная процедура, и имеется не так много доступной информации по ней. Однако установки по производству минеральной ваты могут быть источником жалоб местных жителей на запахи. Эта проблема стала несколько менее острой в последние годы в силу улучшения эксплуатации и контроля, но все же она остается серьезным вопросом для многих установок. В этом разделе обсуждаются запахи, вырабатываемыми всеми частями технологического процесса производства стекла, включая стекловарение.

Обычные газо-воздушные и кислородно-топливные печи не вызывают проблем с запахом, даже при плавлении перерабатываемого материала, в силу высокой температуры. Стекловаренные печи с холодным сводом редко вызывают проблемы с запахом, но такие проблемы могут возникать при переработке отходов от минеральной ваты. Связующие материалы могут подвергаться частичной термической деструкции в ходе процесса стекловарения, и могут вырабатываться некоторые пахучие вещества. Эта проблема может быть сведена к минимуму, путем добавления окисляющих агентов или предварительной очистки волокна.

Стекловарение в печах приводит к существенному объему выбросов пахучего сульфида водорода. Принятое решение этой проблемы – сжигание в форсажной системе, которая обрабатывает любые прочие пахучие выбросы переработанного материала или сырья.

Основные источники запахов – операции далее по технологической цепочке, в частности формование и вулканизация. Запахи также могут возникать в результате операций по охлаждению продукта, в частности от плотных или высокопрочных связующих продуктов, или если имела место степень чрезмерной вулканизации. Запах от отдельных химических соединений, используемых в процессе, не рассматривается как существенный. В процессе использовались результаты уровня запаха преимущественно от химических и тепловых реакций с органическим связующим. Характерный запах – это запах «жженого бакелита». Жалобы на запахи формальдегида и аммиака широко предъявляются жителями за пределами установки.

Как представляется, большинство запахов возникает из процессов в печи вулканизации, где происходят основные химические реакции и тепловые процессы. Процесс сушки приведет к определенному объему дистилляции соединений связующего и про-

межуточных соединений. Внутри большинства печей вулканизации формируется волокнистые и смолистые вещества, которые также могут приводить к образованию пахучих соединений, под влиянием температуры печи. Небольшие пожары и локализованные случаи неполного сгорания не редкость в печах вулканизации, и дым и гарь, выделяемые ими, могут производить очень сильный запах.

Случаи выделения запаха могут быть значительно сокращены при условии надлежащего технического обслуживания и очистки печей, использования систем влажной очистки, соответствующего разброса пламени и обеспечения быстрого пожаротушения. Сжигание отходящих газов из печи вулканизации – очень эффективное решение этой проблемы.

Операции в зоне формования также могут привести к образованию пахучих соединений, в частности, когда связующее распыляется на горячее стекловолокно. Однако атмосфера здесь более прохладная и, следовательно, более влажная, чем в печи вулканизации, и объем газа гораздо более высокий, и концентрации любых пахучих соединений являются разведенными. Несмотря на то, что значительная масса пахучих соединений может выделяться из зоны формования, запах «существует» только в том случае, если соединение имеет концентрацию выше порога запаха, и таким образом выбросы из зоны формования, в общем и целом, имеют менее выраженный запах, чем выбросы из печи вулканизации. Если выбросы из зоны формования и вызывают запахи, они могут быть сведены к минимуму путем влажной очистки и соответствующей дисперсии. Сложные запахи могут быть обработаны путем влажной очистки с использованием окисляющего агента, но эта очистка могла бы проводиться отдельно от использования технологической воды. Вопросы влажной очистки с использованием химических веществ обсуждаются в Разделе 4.5.6.1.2.

Резюме общих достижимых величин выбросов в атмосферу от основных видов деятельности, не связанных с процессами стекловарения, в секторе минеральной ваты (измельчение частиц, формование, вулканизация и охлаждение) представлены в таблице 4.20. Данные, содержащиеся в этой таблице, отражают фактические измерения, сделанные на производственных установках. Фактические выбросы зависят не только от использованных приемов борьбы с вредными загрязнениями, но также и от содержания связующего вещества в производимом продукте и основных используемых технологий.

Следовательно, данные, о которых сообщается в таблице, представляют собой наложение диапазонов показателей выбросов при применении различных технологий борьбы с загрязнениями.

В таблице 4.21, представлено резюме данных о затратах в связи с применением технологии борьбы с выбросами к основным операциям, не связанным с процессами стекловарения, в секторе производства минеральной ваты. Технологии борьбы с выбросами использованы согласно описанию, данному в таблице. Например, влажный электростатический осадитель (WESP) всегда мог бы сочетаться с импульсным скраббером и циклоном (пылеуловителем центробежного типа), расположенным до него для удаления волокон и воды; следовательно, затраты указаны в соответствии с приведенным описанием.

Таблица 4.20: Общедоступные значения для выбросов в воздух от операций, не связанных с процессами стекловарения в секторе производства минеральной ваты, с применением различных технологий

Процесс / технология	Выбросы (¹) в мг/нм ³ (кг/т продукта в скобках)							
	Твердые частицы	Фенол	Формальдегид	Аммиак	NO _x	CO ₂	Летучие органические соединения (²)	Амины (²)
Комбинированное измельчение древесных частиц, формование и вулканизация								
Циклон	15 (0.6)	2 (0.08)	1 (0.04)	10 (0.4)			14 (0.56)	
Импульсный скраббер + циклон	9 – 64 (0.6 – 3.2)	0.4 – 14 (0.03 – 0.8)	0.7 – 6.4 (0.06 – 0.25)	8 – 61 (0.36 – 5.0)			3 – 28 (0.13 – 1.7)	
Импульсный скраббер + циклон + влажный электростатический осадитель (³)	19 (1.21)	7.0 (0.46)	3.6 (0.269)	56 (3.6)			20.3 (1.43)	
Импульсный скраббер + циклон + осадительная камера	18.1 (0.65)	1.31 (0.0465)	3 (0.1)	48.8 (1.81)		5236 (194)	23.7 (0.89)	
Фильтр для каменной ваты (⁴)	18.3 (0.8)	18.8 (0.7)	6.5 (0.23)	39.3 (1.41)	48 (²)			
Комбинированное измельчение древесных частиц и формование								
Циклон	14.5	1.88	1.65 (0.13)	19.5			9.3 (0.71)	

Процесс / технология	Выбросы (¹) в мг/нм ³ (кг/т продукта в скобках)							
	Твердые частицы	Фенол	Формальдегид	Аммиак	NO _x	CO ₂	Летучие органические соединения (²)	Амины (²)
	(1.11)	(0.14)		(1.49)				
Импульсный скраббер + циклон + PBS (³)	11 (0.35)	0.75 (0.024)	1.4 (0.044)	30.9 (0.97)	2 (0.06)		20.7 (0.65)	
Фильтр для каменной ваты (⁴)	7 – 44 (0.15 – 1.2)	0.5 – 14 (0.01 – 0.25)	0.7 – 5.4 (0.017 – 0.14)	6.7 – 64.2 (0.18 – 1.4)	70.4 (2.75)			0.08 (0.0016)
Отдельный процесс вулканизации								
Циклон	81 (0.33)	1.02 (0.0043)	1.4 (0.018)	125 (0.84)			14.4 (0.08)	
Импульсный скраббер+ циклон + PBS(³)	1.9 (0.0048)	0.18 (0.0005)	0.03 (0.00007)	44.3 (0.11)			42.7 (0.11)	
Сжигание отходящего газа (⁴)	3 – 29 (0.01 – 0.16)	0.2 – 30 (0.0004 – 0.1)	0.22 – 7.1 (0.001 – 0.06)	6 – 90 (0.05 – 0.24)	45 – 204 (0.08 – 1.3)	16000 – 8000 (35 – 81)		0.07 (0.0002)
Фильтр для каменной ваты (⁴)	11 (0.25)	5.85 (0.019)	5.4 (0.022)	65 (0.28)	34 (0.12)			
Сжигание + фильтр для	13.5	1.2	5 (0.011)	83 (0.26)	225			0.3

Таблица 4.21: Инвестиционные и эксплуатационные расходы на технологии борьбы с загрязнениями для операций, не связанных с процессами стекловарения в секторе производства минеральной ваты

Технология борьбы с выбросами	Пропускная способность (т в сутки)	Инвестиционные затраты (млн руб.) ⁽¹⁾	Эксплуатационные затраты (млн руб. в год) ⁽²⁾	Удельная стоимость (руб./т) ⁽²⁾
Формование + вулканизация				
Импульсный скруббер + циклон	50	66	9	1000
Импульсный скруббер + циклон + WESP	150	264	36	1410
Импульсный скруббер + циклон + мокрые скрубберы	100 – 150	138	30 (100 т/сутки) 37 (150 т/сутки)	1110 (150 т/сутки) 1230 (100 т/сутки)
Фильтры каменной ваты	150 – 350	54 (200 т/сутки)	52 (200 т/сутки)	960 (200 т/сутки)
Формование+ вулканизация+ охлаждение				
Импульсный скруббер + циклон + мокрые скрубберы + WESP	250	456	57	1260
Сухие+ мокрые скрубберы + WESP ⁽³⁾	250	820	44	1650
Формование + охлаждение				
Фильтры для ка-	150	78 – 258	24 – 33	1000 – 1050

Технология борьбы с выбросами	Пропускная способность (т в сутки)	Инвестиционные затраты (млн руб.) ⁽¹⁾	Эксплуатационные затраты (млн руб. в год) ⁽²⁾	Удельная стоимость (руб./т) ⁽²⁾
менной ваты				
Только формование				
Импульсный скруббер + циклон	25	48	10	1800
Скрубберы перекрестного потока	100	186	9	930
Фильтры для каменной ваты	150 – 350	60 (150 т/сутки) 504 (350 т/сутки)	33 – 36	51 – 1000
Только вулканизация				
Фильтры для каменной ваты + камера дожига	150 – 200	48 – 78	12 (переработка) 24 (утилизация)	33 (переработка) 870 (утилизация)
Вулканизация + охлаждение				
Сжигание отходящего газа (камера дожига)	150 – 350	36 – 78 (150 – 250 т/сутки) 210 (350 т/сутки)	18 – 36	330 – 840

⁽¹⁾ Инвестиционные затраты включают годовое обесценивание инвестиций, процентные расходы, подготовку площадки, очистку топочного газа, очистку / удаление отходов и т.п.

⁽²⁾ Эксплуатационные и особые расходы включают техобслуживание, энергию, химические вещества, разрешения на выбросы CO₂, удаление отходов, использование воды и т.п.

⁽³⁾ В случае сухих и мокрых скрубберов + влажный электростатический осадитель: инвестиционные расходы включают установку по переработке промывочной воды, издержки производства конкретных изделий исключают связанные расходы на установку по переработке промывочной воды.

4.5.7 Фритта

Производство фритты не сопряжено с какими-либо существенными атмосферными выбросами далее по технологической цепочке. Помол и измельчение продукта обычно производится во влажном виде, но меры по контролю уровня загрязнений могут быть необходимы в случае осуществления сухого помола и возможно в зонах упаковки сухих продуктов. Наиболее эффективной технологией является использование вытяжной вентиляции, за которой следует применение системы пылеуловителей с рукавными фильтрами.

4.6 Технологии контроля выбросов в воду

В общем, выбросы в воду находятся на сравнительно низком уровне, и имеется не так много серьезных вопросов, которые характерны для стекольной промышленности. В этом документе не затрагиваются такие общие вопросы загрязнения воды, которые являются общими для многих производственных процессов и обсуждаются очень подробно в технической литературе. В этом разделе кратко обобщаются вопросы загрязнения воды и, там, где это уместно, предоставляется дополнительная информация по таким вопросам, которые являются специфичными для стекольной промышленности. Вода используется главным образом для очистки и охлаждения, и легко может быть переработана или очищена с использованием стандартных технологий. Основные потенциальные источники загрязнения воды приведены ниже.

- дренирование поверхностных вод;
- разливы или утечки от хранения сырьевых материалов;
- дренажная вода из зон, загрязненных жидкими или твердыми материалами;
- вода, используемая для очистки продукта;
- вода для охлаждения и сбросы воды для охлаждения из системы с замкнутым контуром;
- стоки от мокрых скрубберов;

Исключая бытовые сточные воды, сбросы, как правило, содержат только частицы стекла, некоторое загрязнение масла, некоторые растворимые материалы для производ-

ства стекла (например, сульфат натрия) и химические реагенты для очистки системы подачи охлаждающей воды. В случае использования потенциально опасных материалов, могут быть предприняты меры, чтобы воспрепятствовать их попаданию в водяной контур. Там где это практически осуществимо, могут быть использованы замкнутые системы охлаждения, в случае применения которых сбросы воды сводятся к минимуму. Стандартные технологии контроля загрязнений могут использоваться для сокращения выбросов, если необходимо, например, осадка, просев, маслоочистители, нейтрализация и сброс в системы коммунально-бытовых сточных вод.

Могут использоваться стандартные надлежащие практики для контроля выбросов из мест хранения жидкого сырья и промежуточных продуктов, таких как:

- обеспечение изоляции достаточного размера (система бордюров, перегородок, шлюзов, комингсов и т.д. для сбора и / или направления пролитых веществ в систему для дальнейшей утилизации, либо в отстойники);
- контроль/ испытание резервуаров и система бордюров, перегородок, шлюзов, комингсов и т.д. для сбора и / или направления пролитых веществ в систему для дальнейшей утилизации, либо в отстойники для обеспечения герметичности;
- защита от переливания (запорные вентили, система сигнализации, и т.п.);
- расположение вентилей и уровней заполнения в пределах системы перегородок и шлюзов и т.п. или иной оболочки.

В общем, контроль сброса вод осуществляется с помощью сложной выборки, которая проводится за период в два часа или за день. Распространены непрерывные замеры pH-фактора и температуры.

Вопросы, которые рассматриваются, как специфичные для стекольной промышленности, включают следующие:

- система технологического охлаждения минеральной ваты;
- сбросы воды при производстве непрерывного стекловолокна;
- специальное стекло (стекло для телевизионных экранов и трубок);
- стеклянная посуда (свинцовый хрусталь, хрусталь);
- охлаждение фритты (контуры быстрого охлаждения и помол).

Минеральная вата

При нормальных условиях процессы производства минеральной ваты являются чистыми потребителями воды, при этом значительный объем водяного пара выпускается в атмосферу после операций по формованию и, в меньшей степени, операций по вулканизации. Помимо общих вопросов, упомянутых выше, отсутствуют внутренние сбросы сточных вод. Большинство процессов управляют системой водоснабжения процесса с замкнутым контуром (см. Рис. 2.11), и, где это практически возможно, сбросы воды для охлаждения и воды для очистки поступают в эту систему. Технологическая вода для охлаждения и утечки связующего вещества обычно перерабатываются в контуре технологического водоснабжения.

Система технологического водоснабжения имеет ограниченный объем, но может быть спроектирована таким образом, чтобы включать резервуар-накопитель, который бы выдерживал объемную перегрузку, который может быть затем опорожнен в систему. Большая часть материалов, используемых в процессе, совместима с химическими параметрами технологического водоснабжения. Небольшие количества зараженной сточной воды могут возникать из системы перегородок для химических реагентов, ловушек для утечек и масла. Хотя эти материалы не совместимы с системой технологического водоснабжения, они могут быть направлены в резервуар-накопитель. В силу очень низкого объема этих материалов, они обычно утилизируются в муниципальные канализационные системы или отправляются для утилизации вне площадки. Технологии, перечисленные в таблице 4.22, могли бы использоваться, но это экономически нецелесообразно в силу этих очень ограниченных объемов.

Большой объем системы технологического водоснабжения представляет потенциальную опасность заражения контуров чистой воды, таких как поверхностная вода и закалочная вода для стеклянного боя. Системы могут быть спроектированы и эксплуатироваться таким образом, чтобы минимизировать риски. Например, системы чистой воды должны быть закупорены при прохождении через зоны, где возможно возникновение заражения.

Биологическая очистка – это технология, которая может использоваться в секторе производства минеральной ваты для разложения органических соединений, полученных в результате применения связующего вещества. Биоскрubberы, использующие бактерии

и промывные колонны, сокращают объем органических загрязняющих веществ в технологической воде (см. таблицу 4.19 в разделе 4.5.6.1.3).

Непрерывное стекловолокно

Выбросы возникают из зоны формования, подготовки связующего, очистки, охлаждения, применения ткани/ мата и систем очистки на водной основе. Основным источником выбросов – зона формования. В силу высокой скорости наматывающих аппаратов и движения стекловолокна на протяжении процесса формования, доля применяемого связующего выбрасывается или просачивается. Основными загрязняющими веществами в неочищенной сточной воде являются сами материалы связующего вещества. Процедуры бережного обращения, в частности, в зоне подготовки вяжущего вещества, могут значительно сократить уровень выбросов, возникающих вследствие общего производственного процесса.

Виды и концентрации загрязнителей достаточно широко различаются в силу вариаций в системах вяжущих веществ и эксплуатационных практиках. Концентрации загрязнителей сточных вод иногда являются довольно низкими в силу разведения промышленной водой, но обычно они содержат достаточно высокий уровень органических загрязнений, возникающих из материалов вяжущих веществ. Стоки обычно потребуют очистки либо путем сброса в муниципальные канализационные системы, либо путем очистки на месте с использованием соответствующего сочетания технологий, перечисленных в таблице 4.22. Если стоки, подлежащие утилизации напрямую водоток, наиболее эффективным способом очистки на месте, вероятно, является биоочистка. Однако требуется тщательное проектирование и эксплуатация системы очистки, поскольку эффективность биологической очистки нередко ставится под сомнение ввиду низких концентраций и высокой доли полимерных частиц.

Специальное стекло

Сектор производства специального стекла очень разнообразен, и невозможно идентифицировать все потенциальные выбросы в воду и технологии борьбы с загрязнениями, которые являются соответствующими. Большая часть мероприятий в этом секторе включают только общие вопросы сточных вод, описанных выше. Однако производ-

ство определенных продуктов, в частности стекла для телевизоров и оптических устройств, предполагает шлифовку с охлаждением или полировку. Это приводит к возникновению потока жидкости, содержащего средства для шлифовки и полировки (например, оксид церия, карбид кремния) и формированию осветленного стекла, которое может содержать свинец. Этот поток отходов может быть обработан с помощью сочетания стандартных техник удаления твердых веществ, перечисленных в таблице 4.22 ниже. Свинец, содержащий в стекле, в основном, нерастворим и общее содержание свинца будет зависеть от содержания твердых веществ.

Стеклопосуда

В общем сектор производства сортового стекла приводит к возникновению очень низких показателей выбросов в воду. Наряду с другими секторами этой отрасли, основные потребности в воде включают охлаждение и очистку, и сбросы воды будут содержать агенты системы очистки воды для охлаждения, воду для очистки и отходы поверхностных вод. Однако определенные виды деятельности, в частности, производство свинцового хрусталя и хрусталя сопряжены с более специфическими выбросами.

Вода, используемая в операциях по резке, содержит интенсификаторы резки и некоторое количество частиц осветленного стекла. Эти отходы могут обрабатываться с использованием стандартных технологий отделения твердых частиц. Вода может повторно использоваться для резки с целью минимизации уровня выбросов, однако остается вероятность слива небольшого объема из контура. Свинец, содержащийся в стекле, в основном, является нерастворимым.

В случае кислотной полировки, после погружения в кислоту, стекло имеет слой сульфата свинца на поверхности. Он смывается горячей водой, которая становится кислотной и содержит растворимый сульфат свинца. Этот сток воды может обрабатываться посредством сочетания химических и физических технологий. Сульфат свинца может вступать в реакции для выделения свинца (например, с карбонатом кальция для получения карбоната свинца) который затем может удаляться, обычно путем коагуляции или флокуляции, за которыми следует физическое отделение. Используя эти технологии, надо полагать, можно сократить уровень концентрации свинца в стоках воды до менее 0.5 мг/л.

Кислотные отходы от влажных скрубберов потребуют нейтрализации до сброса. В качестве варианта, гексафторкремневая кислота может быть восстановлена и продана в качестве химического сырья. Добавление карбоната кальция в кислотную воду может использоваться для удаления фторидов, возникающих из раствора фтороводородной (плавиковой) кислоты, используемой для полировки (См. раздел 3.6.2.3).

Список возможных технологий очистки сточных вод приведен в таблице 4.22.

Таблица 4.22 Список возможных технологий очистки сточных вод для использования в стекольной промышленности.

<u>Физическая/ химическая обработка</u> Очистка через решетку Удаление стекольной пены Осаждение Центрифугирование Фильтрация	Нейтрализация Аэрация осаждение коагуляция и флокуляция
<u>Биологическая очистка</u> Активированный шлам Биофильтрация	

Фритта

Сбросы в воду состоят из обычных сбросов охлаждающей воды, воды для очистки и поверхностных стоков. Контур быстрого охлаждения и измельчения обычно закрыты дозаправкой пресной воды, но иногда имеют систему очистки для предотвращения образования солей. Показатели выбросов очень низкие, но они содержат взвешенные твердые частицы, возможно содержащие некоторые элементы, которые могли бы вызвать необходимость в очистке на месте с целью повторного использования этой воды в других эксплуатационных процессах. Эти элементы обычно связаны с взвешенными твердыми частицами и могут быть удалены путем технологий отделения твердых частиц. В случае бора, этот параметр в очищенной воде мог бы быть выше, чем стандартные значения в прочих секторах производства стекла, что требует других решений по переработке.

4.7 Технологии минимизации прочих отходов

Отличительной чертой стекольной промышленности является то, что большая часть операций производят сравнительно низкий уровень твердых отходов. Большинство процессов, не сопряжены со значительным внутренним потоком отходов производства. Остатки технологического процесса состоят из неиспользованного сырья и отходов стекла, не превращенных в продукт. Остатки основного производственного процесса, с которыми можно столкнуться в стекольной промышленности и технологии, используемые для их контроля, обсуждаются ниже.

Материалы отходов шихты

Материалы отходов шихты происходят из переработки материалов и их хранения, если требования к качеству это позволяют, они могут легко перерабатываться в технологическом процессе. В случае накопления материалов, он может быть недостаточно высокой чистоты для переработки, но количество такого типа материалов может быть минимизировано с использованием технологий, описанных в Разделе 4.3.

Пыль, собранная из потоков отходящего газа

В большинстве случаев, пыль, собранная из потоков отходящего газа, может быть вновь возвращена в дальнейший технологический процесс после переработки. Переработанная отфильтрованная пыль используется в качестве замены содержащего серу первичного сырья в процессе производства стекла с использованием сульфата в качестве осветляющего агента. В случае использования абсорбентов кислого газа, они обычно выбираются по критериям их совместимости с сырьем для обеспечения рециркуляции, даже если при этом требуется внести корректировки в рецепт шихты. Этот вопрос в дальнейшем обсуждается в Разделе 4.4.1.

Использование фильтрованной пыли в рецептах шихты может быть источником долгосрочных проблем, в силу переноса и потенциальной коррозии огнеупоров, и краткосрочных проблем, связанных с накоплением серы и паров NaCl в топочных газах.

В регенеративных печах, значительное количество пыли осаждается в секции регенерации на протяжении срока эксплуатации печи. В ходе перестройки/ ремонта этот материал извлекается и утилизируется на соответствующем образом лицензированную площадку. В общем и целом, перерабатывать этот материал нецелесообразно.

Расплавленное стекло, не превращенное в продукт

Поток этих отходов возникает главным образом из-за перерывов в процессах формования, либо из-за неисправностей или изменений в продукте. Наиболее распространенным и эффективным способом является охлаждение и расщепление расплава в воде, а затем использование стекольного боя, сформированного таким образом, непосредственно в качестве сырья. Имеется целый ряд примеров, когда это нецелесообразно или не практикуется. В общем возможно расплавить все отбракованное тарное стекло. Основным исключением из этого правила является тот случай, когда стекло загрязнено, например, керамическими примесями из источников внешнего стекольного боя.

В процессе производства флоат-стекла, перерывы в производственном процессе обычно происходят после флоат-ванны, и, таким образом, отходы обычно включают твердое стекло, которое может разбиваться и перерабатываться в качестве стекольного боя. Аналогично в процессе производства непрерывного стекловолокна, перерывы обычно происходят после формования волокна, и материалом отходов является волокно. Дополнительный источник этого типа отходов – выпуск стекла, который включают извлечение потока расплавленного стекла, взятого со дна канала для удаления более плотных нерасплавленных частиц. В случае их неудаления, эти частицы могут вызвать проблемы с образованием волокон, что могло бы привести к дорогостоящим повреждениям и увеличению отходов. Внутренняя переработка этого материала обычно не желательна, поскольку она предусматривает возвращение отделенных примесей в печь, которые будут подвергаться обратному потоку к фильерным пластинам. Это могло бы привести к постепенному формированию нерасплавленного материала и возможно более высокому уровню отходов в силу проблем с образованием волокон. В некоторых случаях появляется возможность для переработки этого материала в других секторах стекольной промышленности.

В производстве каменной ваты, мелкозернистые материалы не могут быть переработаны во вращающейся печи, поскольку это нарушило бы поток воздуха у основания материала. Эта проблема может быть решена путем брикетирования отходов для формирования фрагментов размера, сопоставимого со стандартным сырьем. Эта технология теперь широко используется, и может рассматриваться как обоснованная как экономически, так и технически, несмотря на то, что экономические аспекты будут варьироваться с учетом масштабов. Песчаные фрагменты каменной ваты (не преобразованные в волокна частицы) могут быть также переработаны таким образом (см. Раздел 3.8.4.).

Отходы

К этой категории относятся материалы, которые не укладываются в пределы требований спецификации, обрезки кромки, продукты отходов от переналадки, поломок (бой), и образцы качества. Всякий раз, когда это возможно меры по минимизации этого типа отходов предпочтительнее по сравнению с переработкой, например, обрезки кромок могут быть сокращены до минимальной ширины. Эти меры обычно приводят к экономическим преимуществам.

Твердые отходы, например обрезки кромок листового стекла и отбраковка тарного стекла, легко перерабатываются в качестве стеклянного боя после измельчения. В некоторых установках это не может происходить из-за вариаций в формуле продукта, либо просто в силу того, что это не считается экономически привлекательным. Теоретически все отходы «Твердого» стекла могут быть переработаны таким образом, за исключением очень загрязненного стекла или отбракованного стекла со значительными дефектами (камни, корд), который нуждается в утилизации.

В секторе производства минеральной ваты, такие продукты отходов являются волокнистыми и, таким образом, не могут перерабатываться напрямую в печи. Решением в этом случае является размол или дробление материала и последующая его переработка его в качестве порошка в ваннах печах или путем брикетирования в печи для каменной ваты. Несмотря на очевидную простоту, эта технология является достаточно дорогостоящей, и только недавно становится экономически жизнеспособной в силу увеличивающихся расходов на утилизацию. Дальнейшая проблема в производстве стеклянной ваты – органическое содержание материала, который должен окисляться в печи. В общем и

целом эта технология требует повышенного использования нитратов, которые распадаются для высвобождения NO_x и иногда MnO_2 , который также используется в качестве окислителя. Там где это возможно, волокнистые отходы перерабатываются, и продаются в качестве стеклянной ваты. Отходы в виде обрезков кромки обычно разрезаются на части, и перерабатываются обратно в волоконные маты. Имеются определенные пределы в количестве отходов, которые могут быть переработаны таким образом (только обрезки кромки) и эта технология не может применяться для продуктов с высокими требованиями прочности.

Производство непрерывного стекловолокна предусматривает очень высокие требования по качеству, поэтому отсутствуют известные полномасштабные примеры отходов стекловолокна, которые бы непосредственно перерабатывались в печи. Проблема явно связана с органическим компонентом волокна и обработкой волокнистых материалов.

Твердые отходы из системы сбора и отведения сточных вод

В общем, отходы из системы технологического водоснабжения не перерабатываются и утилизируются в стоки. В некоторых секторах, в частности, сортового стекла (шлам от резки свинцового стекла), выдвигаются инициативы по восстановлению и оценке этих потоков отходов. В большинстве секторов с финансовой точки зрения нецелесообразно восстанавливать эти отходы, либо в силу низкого объема, либо непредсказуемого/загрязненного состава.

В секторе производства тарного стекла, отходы от систем воды для охлаждения часто перерабатываются на самом предприятии (мелкие частицы стекла смешиваются с мазутом).

Предварительная очистка отходов после использования продуктов и изделий (например, от стеклянных сосудов) не обсуждается в настоящем разделе, поскольку они не относятся к потоку отходов от технологического процесса и, таким образом, не подпадают под действие настоящего документа. Однако переработка стеклянного боя имеет важные эффекты для процесса, и рассматривается в разделах 4.4 и 4.8. Более того, помимо сокращения удельного энергопотребления процесса стекловарения, на практике сокращается потребление первичного сырья.

4.8 Энергия

Производство стекла – очень энергоемкий процесс, и выборы источника энергии, технологии обогрева и восстановления тепла являются центральным вопросом для проекта печи и экономической эффективности процесса. Такой же выбор необходимо сделать и в плане некоторых из важнейших факторов, затрагивающих экологическую эффективность и энергетическую эффективность операций по плавлению. В целом, энергия необходимая для стекловарения стекла может составлять свыше 75 % от общих потребностей в энергии при производстве стекла, при этом средний показатель вводимых ресурсов энергии составляет примерно 65 % при рассмотрении всех секторов стекольной промышленности. Проценты, указанные выше, относятся к энергии в точке использования, и не скорректированы по первичной энергии (См. Раздел 3.2.3).

Резюме характерных значений, достигнутых при применении имеющихся технологий для минимизации удельного энергопотребления перечислено в Таблице 4.23, где данные представленные для различных секторов производства стекла, извлечены на основе агрегированных статистических данных, о которых сообщается в Главе 3 (например, для тарного стекла использовался наименьший 50-й перцентиль агрегированных данных) и величины по установкам, выбранным в качестве примера.

Таблица 4.23: Характерные показатели удельного энергопотребления при применении имеющихся технологий/ мер для минимизации использования энергии

Сектор	Тип печи/ емкость	ГДж/т расплавленного стекла (¹)	ГДж/т готового продукта (²)
Тарное стекло, бутылки и кувшины	<100 т/сутки	5.5 – 7	<7.7
	>100 т/сутки	3.3 – 4.6	
	Электрические печи	2.9 – 3.6	
Флаконы	<100 т/сутки	7 – 9	<16
	>100 т/сутки	4.8 – 6	
Листовое стекло	Все емкости	5 – 7	<8

Сектор	Тип печи/ емкость	ГДж/т расплавленного стекла ⁽¹⁾	ГДж/т готового продукта ⁽²⁾
Непрерывное стекловолокно	Все емкости	7 – 14	<20
Сортовое стекло	Обычные печи		
	<100 т/сутки ⁽³⁾	6.7 – 9.5	<24
	>100 т/сутки	5 – 6	<18
	Электрические печи ⁽⁴⁾	3.4 – 4.3	
Специальное стекло			
Все продукты	Электрические печи ⁽⁴⁾	3.9 – 4.5	<20
натрий-кальций-силикатное стекло	Обычные печи	5 – 10	
Боросиликатное стекло		10 – 15	
Стекланная вата	Все емкости	2.7 – 5.5	<14
Каменная вата	Все емкости	4.2 – 10	<12
Фритта	Кислородно-топливная печь	≤ 9	
	Воздушно-топливные и печи с горением топлива в обогащенном воздухе	≤ 13	

(1) Данные относятся к энергопотреблению печи.

(2) Данные относятся к общему энергопотреблению установки

(3) Значения не включают установки, оборудованные карбидными/ тигельными печами или ванными печами периодического действия, в которых энергопотребление для процесса стекловарения может укладываться в диапазон от 10 до 30 ГДж/т расплавленного стекла.

(4) Отчетные данные относятся к энергии в точке использования и не скорректированы по первичной энергии.

Значения, указанные в Таблице 4.23, отражают ориентировочные данные для определенных секторов, однако они могут не отражать весь диапазон условий эксплуатации стекловаренной печи и все мероприятия далее по технологической цепочке, связанные с производством специальной продукции из стекла. На самом деле, показатель стекольного боя, используемый в рецепте шихты, требования к качеству расплава стекла и коэффициент выхода готовой к упаковке продукции могут существенно различаться в каждом секторе с последующим влиянием на удельное энергопотребление. Корректировка представленных значений с учетом первичной электроэнергии (т.е. для электро-стекловарения, дополнительного электроподогрева, кислородно-топливного горения) может также оказывать существенное влияние на уровни удельного энергопотребления.

Стоимость энергии для стекловарения является одним из важнейших факторов в эксплуатационных затратах на установки для производства стекла, и у операторов имеется существенный стимул сократить энергопотребление. Сбережение ресурсов традиционно было мотивацией для реализации технологий энергосбережения, но в последнее время возросло значение экологических аспектов использования энергии. В печах на ископаемом топливе, использование энергии также воздействует на прямые и косвенные выбросы на тонну стекла тех веществ, которые напрямую относятся к объему сожженного ископаемого топлива, в частности CO_2 , SO_2 и NO_x , но также твердых частиц. Эти вопросы обсуждаются в разделах этой главы касающихся определенных веществ.

Использование энергии и основные факторы, влияющие на энергоэффективность, обсуждаются в Главе 3, где представлены данные по удельному энергопотреблению для каждого сектора стекольной промышленности. В этом разделе содержатся технологии улучшения эффективности печей.

4.8.1 Технологии стекловарения и проект печи

Выбор технологий стекловарения может оказывать сильное воздействие на энергоэффективность. Выбор в основном определяется целым рядом экономических сооб-

ражений. Основным фактором является желательная норма выработки и связанные капитальные и эксплуатационные затраты за жизненный цикл печи. Важный аспект эксплуатационных расходов – это использование энергии, и, в общем и целом, оператор изберет использование наиболее энергоэффективного проекта, который только возможен.

В обычных печах, работающих на ископаемом топливе, основное отличие проекта печи заключается в том основана ли система рекуперации тепла на регенераторах или на рекуператоре. Отличия в проекте и эксплуатации осуждаются в Главе 2. Один из основных факторов, влияющих на выбор, - это размер печи, который обсуждается далее в Разделе 4.2.

Регенеративные печи достигают более высокой температуры предварительного нагрева воздуха, поступающего в камеру сгорания, для топочных газов; до 1300-1400 °С, по сравнению с максимальной температурой 750 – 800 °С для рекуперативных печей, что приводит к более высокой эффективности стекловарения. В целом больший размер регенеративных печей делает их более энергоэффективными, по сравнению с меньшего размера рекуперативными печами. Это объясняется тем, что удельные теплотопотери на поверхность ограждающих конструкций обратно пропорциональны размеру печи, и основной причиной тому является изменение соотношения площади поверхности к объему. Современная регенеративная печь для тарного стекла будет иметь общую теплоэффективность около 50 %, при этом потери отходящего газа составляют около 25 – 35 % (примерно 14 – 20 % когда используются предварительный нагрев шихты и стекольного боя), а теплотопотери на поверхности ограждающих конструкций составляют значительную часть остальной величины. Теплоэффективность рекуперативной печи без дополнительного восстановления тепла будет приближаться к 20-30 %.

Регенеративные печи могут подразделяться на ваннные печи с подковообразным пламенем и печи с поперечным направлением пламени. Ваннные печи с подковообразным пламенем могут быть теоретически более теплоэффективны (до 10 %), но температурный контроль в них более ограничен, и имеется верхний предел для размера печи (в настоящее время примерно 150 м² для тарного стекла). В общем, эксплуатация печи играет более важную роль в энергоэффективности, чем тип печи (ваннные печи с подковообразным пламенем или печи с поперечным направлением пламени). Печи для стекловарения флоат-стекла, столовой посуды и флаконов (для духов и косметики класса

люкс) – менее эффективны, чем печи для тарного стекла, поскольку удельный съем стекломассы гораздо ниже, в силу требований к качеству и/или химических процессов по осветлению.

Энергия, восстановленная регенераторами, может быть максимизирована за счет увеличения количества используемых огнеупоров. На практике, это может быть организовано в расширенных регенераторных камерах, или в отдельных, но связанных конструкциях, именуемых «многоходовые регенераторы». Закон сокращения возвращаемого сырья применяется, по мере того, как эффективность регенератора приближается к максимальным пределам без какой-либо симптоматики. Ограничения этого принципа включают затраты на дополнительные огнеупорные кирпичи, а в случае существующих печей, к ограничениям следует отнести имеющееся пространство и дополнительные расходы на видоизменение инфраструктуры печи. Этот принцип наиболее часто применяется к ванным печам с подковообразным пламенем в силу простой геометрической формы регенератора, хотя иногда он распространяется и на печи с поперечным направлением пламени. Видоизменение конструкции регенератора в существующих печах (если это технически или экономически оправдано, учитывая план установки) может быть произведено в ходе реконструкции печи. В начале срока службы регенераторов, потребление энергии может быть сокращено до 15 %, по сравнению с эквивалентными печами с характерными одноходовыми регенераторами, в зависимости от размера оригинального одноходового регенератора. С другой стороны, использование многоходовых регенераторов может быть связано с возможными проблемами конденсации с последующей необходимостью в очистке контрольных приборов и последующем уменьшении энергоэффективности. Современные печи, оборудованные одноходовыми регенераторами, демонстрируют эффективность рекуперации тепла, близкую к 65 %. В этих случаях использование многоходовых регенераторов не позволило бы достичь существенного повышения энергоэффективности печи.

Единственное отрицательное воздействие – это увеличение объема огнеупорных материалов, которые необходимо обработать в конце срока эксплуатации печи. Это отрицательное воздействие является ограниченным, поскольку существенная доля дополнительных огнеупорных кирпичей выдерживает два или более жизненных циклов печей, и существуют, и будут далее разрабатываться решения по переработке этих материалов.

Несмотря на то, что повышенная температура предварительного нагрева воздуха в печи, оснащенной многоходовыми регенераторами, потенциально является фактором увеличения температуры пламени и таким образом образования NO_x , эти печи, на практике, не демонстрируют высокий уровень выбросов NO_x , в случае применения соответствующих мер по снижению выбросов у источника.

Существуют разнообразные материалы, доступные для использования в качестве средств аккумулирования тепловой энергии и упаковки в регенераторы. Самым простым решением является использование огнеупорных кирпичей, уложенных в открытой конфигурации или в шахматном порядке, и с помощью такого метода можно обычно добиться эффективности регенератора до 50 и более процентов (тепло восстановленное воздухом, по сравнению с теплом, содержащимся в отходящем газе). Однако, перенос тепла может быть улучшен, если использовать специальной формы упаковочные материалы. Например, плавленоолитые гофрированные крестообразные элементы будут усиливать эффективность теплообмена по сравнению со стандартным образом упакованными кирпичами. Эффект такого типа огнеупорных кирпичей на потребление энергии зависит от стартовой ситуации и размера регенератора; указывается об экономии топлива до 7 %. Кроме того, эти материалы имеют высокое сопротивление к химической атаке летучих веществ в потоке отходящего газа и демонстрируют намного меньшее снижение производительности (по сравнению с кирпичами) на протяжении срока эксплуатации печи. Пока использование гофрированных форм распространено в тех случаях, когда крестообразные элементы установлены в регенераторе.

Максимальная теоретическая эффективность регенератора составляет примерно 77 % поскольку масса отводящего газа, поступающего из печи, превышает массу входящего воздуха в камере сгорания и теплоемкость отработавших газов превышает теплоемкость воздуха в камере сгорания. С практической точки зрения, эффективность ограничивается затратами и теплотери на поверхность ограждающих конструкций становятся более значительными по мере увеличения размера регенераторов. На практике, трудно разработать рентабельный проект регенератора, который бы имел эффективность, превышающую 70 %.

Геометрия регенератора постоянно подвергается усовершенствованиям в целях оптимизации теплотоков и переноса тепла, но также для улучшения качества тепла и

сохранения энергии. Разработки часто сочетаются с разработками в системах сжигания для сокращения выбросов и сохранения энергии. Изменения в геометрии печи возможны только для новых печей и полностью модернизированных печей, и даже в этих случаях, то, что фактически возможно сделать, ограничено стальными конструкциями и существующей инфраструктурой.

Электрическое стекловарение, либо частично, либо на 100 % улучшает энергоэффективность при рассмотрении на уровне объекта, но если принимать во внимание потери эффективности электрогенерации и затраты на распределение, то ситуация становится менее очевидной. Эти технологии более подробно описаны в Разделе 4.2. Кислородно-топливная плавка может также представлять собой способ снижения энергопотребления, но это сложный вопрос, который более подробно обсуждается в Разделе 4.4.2.5.

Усовершенствования огнеупоров за последние десятилетия обеспечили более длительный срок эксплуатации печей и более высокий уровень изоляции. Ограничение температуры, которым могла бы подвергаться верхняя часть печи, в прошлом, представляла собой ограничивающий фактор для высокой изоляции. Сегодня изоляция должна быть тщательно спроектирована сообразно части печи и эксплуатационным условиям (температура, тип стекла и т.п.). Не все части печи могут быть изолированы. Линия зеркала стекломассы и пережим свода должны быть оставлены без изоляции, и они должны охлаждаться для того, чтобы срок службы печи был более длительным. Большая часть зоны контакта со стеклом и надстроечных огнеупоров изготовлены из материалов плавленного литого или агломерированных оксидов хрома, которые обладают высокой плотностью и сопротивлением жидкому стеклу и летучим соединениям в надстройке. Они имеют высокую теплопроводность и нуждаются в хорошем уровне изоляции, что приводит к значительному энергосбережению. Что касается натрий-кальций-силикатного стекла, свод обычно изготовлен из кремния, и имеет высокую степень изоляции. Для кислородно-топливных печей, могут применяться прочие материалы (цельнолитой алюминий или AZS) с тем, чтобы выдерживать возможные атаки щелочных паров. Кремний ограничивает температуру свода печи до 1600 – 1620 °C, в то время как другие огнеупоры свода печи, такие как цельнолитой AZS, муллит или цельнолитой алюминий могут выдерживать температуру свыше 1620 °C. Любое увеличение температуры печи может

также отрицательно воздействовать на выбросы NO_x и любые выбросы, в результате утечки летучих компонентов шихты.

К определенным зонам печи с низким риском повреждения конструкций может применяться дополнительная изоляция. Напыляемая изоляция стекловолокна может значительно сократить теплопотери при применении к конструкции регенератора. Эта простая экономически эффективная технология может сократить теплопотери регенератора на конструкции ограждений до 50 % и получить экономию энергии в районе 5 %. Также имеется дополнительное преимущество, что материал сможет эффективно закупоривать любые трещины в конструкции регенератора, тем самым сокращая поступление холодного воздуха и утечки горячего воздуха.

4.8.2 Контроль горения и выбор топлива

За последние десятилетия преобладающим топливом, используемым при производстве стекла, является природный газ, хотя в качестве резервного топлива используется мазут. В настоящее время оба вида топлива вполне сопоставимы. Использование природного газа приводит к снижению выбросов SO_x , но в общем и целом вызывает увеличение выбросов NO_x . Это сопряжено с тем, что пламя природного газа имеет менее интенсивное свечение, и теплоемкость топочных газов от нагревания с помощью газа (в пересчете на горение в ГДж) отличается от сжигания мазута. Это приводит к отличию теплопотерь даже при той же температуре топочного газа, и в общем и целом, к увеличению энергопотребления, которое составляет на 7-8 % выше для природного газа, чем для мазута. Однако поскольку опыт использования газового топлива увеличивается, можно достичь уровня эффективности, постепенно приближающегося к связанному с сжиганием мазута; хотя в общем печи на мазутном топливе все же демонстрируют более высокую энергоэффективность. Природный газ имеет более высокое соотношение водорода к углероду и его использование сокращает общие выбросы CO_2 до 25 % на определенный удельный съем стекломассы.

Разработки систем горелок с более низкими выбросами NO_x также привело к экономии энергии. Сокращая объем воздуха в камере горения до близкого к стехиометрическому уровню, меньший объем энергии теряется на отходящий газ.

Улучшения, внесенные в систему сжигания, системы теплопереноса и общий контроль технологического процесса в ходе разработок, нацеленных на сокращение NO_x , во многих случаях также привели к усовершенствованиям эксплуатации печи и ее эффективности.

Технология часто используемая в прошлом для повышения энергоэффективности и удельного съема стекломассы состояла в обогащении кислородом воздуха в камере горения. Сокращенный объем газа и более высокая температура пламени повышают энергоэффективность, но если технология не составляет часть тщательно контролируемой общей системы сжигания с низким показателем выбросов NO_x , то уровень NO_x может значительно увеличиться. Использование этой технологии становится менее распространенным в силу данных экологических соображений. Однако обогащение кислородом часто применяется, когда азот отделяется от воздуха (для камеры ванны для лужения при производстве флоат-стекла) и, следовательно, имеется в наличии воздух, обогащенный кислородом.

4.8.3 Использование стекольного боя

Использование стекольного боя в стекловаренной печи может значительно сократить энергопотребление и его использование, в общем, применяется для разных типов печей, т.е. печей на ископаемом топливе, кислородно-топливных и электрических печей. Многие секторы стекольной промышленности, как правило, перерабатывают весь стекольный бой. Основными исключениями являются производство непрерывного стекловолокна, которое не рассматривается в силу ограничений по качеству, и производство фритты (там стекольный бой, как таковой, не выпускается). При производстве каменной ваты, песок и байпасный расплав перерабатываются только в случае использования процесса брикетирования (см. Раздел 3.8.4). Базовый уровень внутреннего стекольного боя при производстве шихты обычно составляет от 10 до 25 %.

Стекольный бой предъявляет более низкие требования по энергии стекловарения, чем сырье, составляющее основу стекла, поскольку эндотермические химические реакции, связанные с формированием стекла, уже завершены, и его масса составляет примерно на 20 % меньше, чем массы эквивалентных материалов шихты. Следовательно, более

высокий уровень стекольного боя в шихте имеет потенциал энергосбережения, и, в общем, каждые 10 % дополнительного стекольного боя приводят к сокращению на 2.5-3.0 % энергопотребления печи. Использование стекольного боя, в общем и целом, приводит к значительной экономии затрат вследствие сокращения потребностей как в энергии, так и в сырье. Однако цена стекольного боя значительно увеличивается, и его доступность становится все более трудным вопросом; следовательно, использование стекольного боя не всегда экономически оправданно.

Следует провести разграничение между внутренним стекольным боем (отбракованным стеклом с производственной линии) и внешним стекольным боем (стеклом после использования продуктов от потребителя или внешних промышленных источников). Состав внешнего стекольного боя не всегда определен, и это ограничивает его применение. Требования к качеству часто ограничивают использование стекольного боя в рецепте шихты, вследствие загрязнения стекольного боя, которое трудно определить и устранить. В частности это имеет место для тарного стекла класса люкс (бутылок из стекла экстра-флинт, или флаконов для парфюмерии и косметики), что касается производства столовой посуды, специального стекла и листового стекла, то высокие требования к качеству готового продукта ограничивают использование внешнего стекольного боя. Однако сектор производства тарного стекла имеет уникальное позиционирование, чтобы получать преимущества от использования значительных количеств внешнего стекольного боя от программ рециркуляции бутылок. В настоящее время значительное использование внешнего стекольного боя ограничено сектором тарного стекла и некоторыми частями сектора производства минеральной ваты, в частности стекловаты. Несмотря на то, что сектор тарного стекла – основной потребитель внешнего стекольного боя, требования высокого качества к некоторой конечной стекольной продукции (бутылки из стекла экстра-флинт, флаконы для парфюмерии и косметики), предъявляемые потребителями, не всегда сопоставимы с имеющимся качеством стекольного боя, в силу содержания примесей, что приводит к последующему сокращению его использования в рецепте шихты. Стекольный бой, остающийся после использования продукции, требует дорогостоящей обработки с тем, чтобы сделать его пригодным для использования в качестве сырья для производства стекла. Сектора производства стекла с более высокими требованиями к качеству или низкой доступностью стекольного боя (например, листо-

вое стекло), могут попытаться договориться с крупными потребителями о переработке отходов стекла, которые у них производятся. Использование внешнего стекольного боя в производстве тарного стекла составляет от <20 до >90 %, при среднем по России показателе в районе 50 %.

При производстве сортового стекла, соображения качества препятствуют использованию внешнего стекольного боя в технологическом процессе. Использование внутреннего стекольного боя ограничено доступностью стекольного боя соответствующего качества и состава. В общем, средние количества используемого внутреннего стекольного боя составляют примерно 25 % для продукции из натрий-кальций-силикатного стекла, хотя доля стекольного боя до 50 % возможна в зависимости от производимого изделия, для свинцового хрусталя, как правило, применяются средние показатели в районе 35 %.

Для производства флинт-стекла (обесцвеченного стекла) допустим только очень низкий уровень обесцвеченного стекольного боя, поскольку бесцветное стекло уже невозможно обесцветить. Следовательно, схемы рециркуляции с отдельным сбором по основным цветам стекла, или иначе сортировкой по цвету стекольного боя, полученного в результате смешанного сбора, необходимы для максимизации переработки. В России имеется достаточно поставщиков смешанного окрашенного, зеленого и коричневого стекольного боя. Однако стекольный бой флинт-стекла имеет тенденцию к меньшему распространению, и ввиду этой ситуации, печи, выплавляющие бесцветное стекло, работают при более высоких показателях стекольного боя, в частности, при производстве зеленого стекла, при котором может использоваться смесь различных цветов.

С точки зрения эксплуатации печей, высокий уровень стекольного боя также может дать другие преимущества, такие как более низкие выбросы твердых частиц. Стекольный бой легче предварительно нагревается, чем шихта. Объем выработки печи также можно значительно увеличить, но имеется ряд нижеперечисленных недостатков для производителя при эксплуатации с высоким уровнем стекольного боя. Металлические примеси, такие как пробки для бутылок или фольга от винных бутылок, могут вызвать серьезное повреждение огнеупоров и сократить срок службы печи. Металлы осаждаются на дно, когда происходит такое явление как «нисходящее осаждение». Металлы или капли металла (в частности, свинец), накапливаемые на огнеупорном дне стекловарен-

ной печи, будут застревать в материале дна, в силу распада материала огнеупоров, вызванного градиентами поверхностного натяжения, которые возникают в непосредственной близости от капель металла. Загрязнение металла в присутствии свинцового хрусталя и сокращение компонентов стекольного боя может вызвать дефекты стекла. Керамические включения, такие как глиняная посуда или керамика, или стеклокерамика, которые имеют очень низкий показатель растворения в расплаве стекла, будут выглядеть как «камни» или узлы, нередко непрозрачного цвета в конечном продукте, в результате чего продукт будет отбраковываться. При высоком уровне стекольного боя, контроль состава и, следовательно, физические характеристики расплава стекла могут быть сокращены, что возможно будет приводить к проблемам качества готового продукта. Изменчивое содержание органического вещества (остатки пищи, бумажные этикетки, пластик) в частности может вызвать проблемы в окислительно-восстановительном состоянии, приводят к проблемам цвета и улучшения качества. Алюминиевые пробки и фольга действуют как мощные местные восстановительные агенты, вызывая восстановление кремния из стекла до металлического кремния (Si). Кремний образует включения в стеклянных продуктах (небольшие бусины), которые значительно сокращают механическую прочность стекла, вследствие давления, вызванного большой разницей коэффициентов термального расширения стекла и кремния. Примеси от стекольного боя могут вызывать атмосферные выбросы (свинец, соединения фтора и бора, и т.п.)

Помимо значительного энергосбережения, которое становится возможным благодаря использованию стекольного боя, имеется ряд других важных связанных экологических преимуществ. Выбросы CO_2 , SO_x , NO_x и пыли значительно сокращаются в силу сокращения использования топлива и более низких температурах в печи. Выбросы других летучих материалов могут быть также снижены в силу снижения температуры. Однако примеси в стекольном бое могут привести к увеличению выбросов HCl , HF и металлов и SO_x (при производстве стекла с низким содержанием серы). Это в особенности касается тех областей с высокими показателями рециркуляции, в которых примеси могут накапливаться в рециркулированном материале. Многие виды сырья, применяемые в производстве стекла, представляют собой карбонаты и сульфаты, которые при плавлении приводят к высвобождению CO_2 и SO_x . Повышенное использование стекольного

боя сокращает эти выбросы, обусловленные сырьем, и сокращает потребление первичного сырья.

4.8.4 Котел утилизатор

Принцип этой технологии состоит в пропускании отходящих газов напрямую через соответствующий трубный котел для генерирования пара. Пар может использоваться в целях нагрева (нагрева пространства и нагрева хранилища мазута и труб) или через подходящую паровую машину однократного расширения или турбину для привода оборудования электрогенерации или элементов установки, таких как воздушные компрессоры или машинные вентиляторы Отдельной секции (ОС).

Газы, поступающие от регенераторов/ рекуператоров, обычно имеют диапазон температур от 600 до 300 °С. Температура выпускного клапана определяет температуру имеющегося восстанавливаемого тепла, которая ограничена примерно 200 °С в силу риска конденсации котла и для обеспечения корректной стековой операции. Трубы котлов, подвергающиеся действию отработавших газов печи, могут покрываться конденсатными материалами (например, сульфат натрия, в зависимости от состава) и вязкие и коррозионные вещества (например, бисульфат натрия) могут образовываться в зависимости от температуры и состава топочных газов, способных вступать в реакции с металлическими структурами труб. Вот почему, трубы котлов следует периодически чистить для поддержания эффективности восстановления (это также важно для котлов, эксплуатирующих устройства пылеудаления далее по технологической цепочке). Очистка на месте может производиться автоматически с помощью пара, механически или путем планового техобслуживания.

Применимость и экономическая целесообразность этой технологии продиктована общей эффективностью, которой можно достичь (включая эффективное использование генерируемого пара). На практике, котлы-утилизаторы рассматривались только как средство восстановления остаточного тепла далее по технологической цепочке от систем регенерации или рекуперации и, как считается, имеется по крайней мере два примера кислородно-топливных печей (см. таблицу 4.18). Во многих случаях объем восстанавливаемой энергии недостаточно высок для эффективной электрогенерации, и может

потребоваться дополнительное горение для генерации перегретого пара и приведения в движение турбин. Рекуперативные печи с более высокими температурами отходящего газа или установки, где возможно аккумулировать отходящие газы от различных печей, предоставляют больше возможностей для электрогенерации. Котлы-утилизаторы имеют промышленное использование в некоторых установках по производству тарного стекла, но большинство применений относится к печам по производству флоат-стекла.

Инвестиционные затраты могут превышать 60 млн руб. с различными периодами окупаемости, в зависимости от производительности и действующих цен на энергоресурсы. Продолжающиеся усовершенствования в эффективности энергии от первичных источников приводят к размыванию рентабельности котлов-утилизаторов. В некоторых применениях привлекательный период окупаемости невозможен, но ситуация зависит от конкретного случая. Процесс 3R может содействовать повышению эффективности существующих систем котлов-утилизаторов и, вероятно, повысить экономическую эффективность любой новой системы, предлагаемой к установке. Однако если по какой-либо причине установка котла-утилизатора считается неподходящей или экономически непривлекательной, необязательно, чтобы установка 3R процесса приводила к изменению этой ситуации.

В таблице 4.24 приведены данные касательно примеров установок, в которых используются котлы утилизаторы (теплообменники) в различных секторах стекольной промышленности.

Таблица 4.24: Образцовые установки котлов-утилизаторов избыточного тепла, применяемые в разных секторах стекольной промышленности, использующих природный газ

Тип стекла	Тарное	Тарное	Термополированное	Специальное	Специальное
Тип печей	Кислородного сжигания (2 печи)	С торцевыми горелками, регенератор	С поперечным направлением пламени, регенератор	Кислородного сжигания	С поперечным направлением пламени, регенератор
Мощность печи	650 т/сутки (всего)	300 т/сутки	800 т/сутки	40 т/сутки	220 т/сутки
Фактическая скорость вытягивания	502 т/сутки (всего)	297 т/сутки	700 т/сутки	40 т/сутки	180 т/сутки
Последний кап. ремонт	2000 – 1996	1997	2002	2004	
Доп. электрообогрев		Да	Да	Да	Да
Тип стекла	Коричнево-зеленое	Коричневое	Белое	Ситалл	Нет данных
Стеклобой	66 % (в среднем)	72 %	35 %	50 %	25 %
Тип теплообменника	Пучок труб	Пучок труб	Змеевик		Змеевик
Место установки	Перед мешочным фильтром	После электростат. фильтра	Перед электростат. фильтром	Перед мешочным фильтром	После электростат. фильтра
Среда теплообмена	Вода/пар	Вода/пар	Вода/пар	Вода/пар	Вода/пар
Использование восстановленной энергии	Электричество, сжатый воздух	Электричество, тех. вода	Тех. вода, электричество, тепло	Тех. вода	Бытовая вода
Удаление золы	В рабочем режиме	В рабочем ре-	В рабочем режиме	Нет данных	Нет

Тип стекла	Тарное	Тарное	Термополированное	Специальное	Специальное
		жиге			
Утилизация золы	Добавление в шихту	Добавление в шихту	Переработка или специальная утилизация	Нет данных	Переработка или специальная утилизация
Разница температур	От 1380 до 200 °C	Примерно 150 °C	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Кол-во восстановленной энергии	6472 кВт/час	1500 кВт/час (по оценкам)	3000 кВт/час	550 кВт/час	1140 кВт/час
Удельное восстановление тепла	0.31 кВт/кг стекла	0.12 кВт/кг стекла (по оценкам)	0.10 кВт/кг стекла	0.33 кВт/кг стекла	0.15 кВт/кг стекла
Удельное энергопотребление	4.20 ГДж/тонна плавленного стекла (в среднем)	ГДж/тонна плавленного стекла	5.20 ГДж/тонна плавленного стекла	12.31 ГДж/тонна плавленного стекла	16.44 ГДж/тонна плавленного стекла
Инвестиционные затраты/затраты на замещение ⁽¹⁾		100 миллионов руб. ⁽²⁾	60 миллионов руб. ⁽²⁾		
Срок амортизации		10 лет	10 лет		
Текущие расходы		2 миллиона руб.	4,2 миллиона руб.		
Годовые затраты на амортизацию		1,3 миллиона	8 миллионов руб.		

Тип стекла	Тарное	Тарное	Термополированное	Специальное	Специальное
		руб.			
<u>Общие годовые затраты</u> ⁽¹⁾		15 миллионов руб.	12 миллионов руб.		
Ожидаемые затраты на тонну стекла		160 руб./т стекла	48 руб./т стекла		
⁽¹⁾ Данные по затратам, собранные за год установки системы контроля загрязнения воздуха, необязательно являются репрезентативными для сегодняшней ситуации. ⁽²⁾ Инвестиционные затраты на теплообменник включают дополнительное оборудование.					

4.8.5 Предварительный нагрев шихты и стеклобоя

Описание

Шихта и стеклобой, как правило, загружаются в печь в холодном виде, однако при помощи использования остаточного тепла дымовых газов для предварительного нагрева стеклобоя и шихты представляется возможным существенно сократить потребление энергии. Это применимо только к стеклоплавильным печам, работающим на горючих ископаемых. В производстве каменной используются ваты печи, конструкция которых позволяет самостоятельно осуществлять предварительный нагрев сырья.

Температура предварительного нагрева в идеале не должна быть ниже 270 °С и не должна превышать 500 – 550 °С. На практике, большинство подогревателей шихты и стеклобоя работают с температурой предварительного нагрева шихты от 275 до 325 °С.

Доступные на сегодняшний день системы описаны ниже:

- Прямой подогрев - данный тип подогрева предполагает непосредственный контакт между дымовыми газами и сырьём (шихта и стеклобой) в перекрёстном потоке. Дымовые газы поставляются в обогреватель из газоотводного канала за регенератором. Они проходят через полости подогревателя, где вступают в непосредственный контакт с сырьём. Выходная температура стеклобоя и шихты составляет 300 °С и может достигать до 400 °С. Системы включают в себя обходной канал, который позволяет обеспечить непрерывную работу печи, когда использование подогревателя является невозможным или нецелесообразным. Примеры установок использующих метод прямого подогрева стеклобоя, приведены в таблице 4.25

- Непрямой подогрев - по своему рабочему принципу, устройство непрямого подогрева представляет собой пластинчатый теплообменник с перекрёстным потоком, в котором сырьё нагревается непрямым методом. Такие устройства имеют модулярную форму и состоят из отдельных блоков теплообменника расположенных друг над другом. Эти блоки, в свою очередь, делаются на горизонтальные трубы для дымовых газов и вертикальные трубы для сырья. В таких вертикальных трубах, сырьё движется сверху вниз под действием гравитации. В зависимости от пропускной способности системы, сырьё может достигать скорости 1 - 3 м/час и, как правило, нагревается до, приблизительно, 300 °С под воздействием температуры окружающей среды. Дымовые газы проникают в

теплообменник через нижнюю часть и транспортируются вверх посредством специальных обходных каналов. Дымовые газы протекают горизонтально через отдельные модули, как правило, в процессе теплообмена они охлаждаются примерно на 270 - 300 °С.

Фильтры с электрическим зернистым слоем - система фильтров с электрическим зернистым слоем, которая является комбинированной системой электростатического фильтра для удаления золы и пыли и установки прямого подогрева стеклобоя. Применение подобной системы включает в себя два этапа с использованием внешнего и внутреннего стеклобоя. При этом подогреваются оба потока стеклобоя, однако для подогрева используются разные способы. Электростатическое поле для удаления золы из дымовых газов, используется только в той секции установки, которая работает с внутренним и внешним стеклобоем после обработки в блоке пиролиза (первый этап подогрева). Дымовые газы из печей, которые используют переработанные стеклобои (внутренние и внешние), подаются в секцию предварительного нагрева вместе с внешним стеклобоем (этап 1). Органические газообразные продукты, полученные из внешнего стеклобоя в результате первого этапа подогрева, проходят пиролиз и объединяются со вторым потоком дымовых газов из печи. Объединённый поток газов попадает в камеру ионизатора, где частицы пыли, содержащиеся в дымовых газах, заряжаются. Горячие дымовые газы, содержащие заряженные частицы пыли, затем попадают в подогреватель, оснащённый пластинчатыми электродами (этап 2). В подогреватель непрерывно загружается внутренний (чистый) стеклобой и внешний стеклобой с первого этапа подогрева. Электростатические поля поднимают заряженные частицы пыли к поверхности и задерживают их. Предварительно нагретое сырьё (вплоть до 400 °С) и прилипшие частицы пыли загружаются в стеклоплавильную печь.

Экологические преимущества

Данные технологии оказывают ряд экологических эффектов, которые могут отличаться от случая к случаю. В целом, на практике были получены следующие экологические преимущества:

- Удельная экономия энергии от 10 до 20 % последующим снижением выбросов CO₂

- Снижение выбросов оксидов азота (благодаря более низкой потребности в топливе и более низким температурам внутри печи). Однако в большинстве случаев сэкономленная энергия используется для увеличения удельного съёма стекломассы.

- В случае прямого подогрева было выявлено, сокращение кислотных соединений SO_2 , HF и HC на 60 %, 50 % и 90 % соответственно (разница до и после подогрева шихты).

- Так же, подобная технология способна увеличить удельный съём стекломассы существующих на сегодняшний день стеклоплавильных печей на 10 - 15 %, путём предварительного нагрева шихты до 300 °С.

- Снижение или устранение потребности в веществах для сухой газоочистки.

Межсредовые эффекты

Подобная технология может увеличить мощность печи на 10 – 15 % без сокращения срока её службы. Если не увеличивать удельный съём стекломассы, то можно так же добиться небольшого увеличения срока службы печи. Подавая в печь больше тепловой энергии, данная технология может сократить потребность в дополнительном электроподогреве.

В некоторых случаях, наблюдалась проблема возникновения неприятного запаха из подогревателя из-за высвобождения органических газов во время предварительной сушки стеклобоя в зависимости от уровня содержания органики в сырье. Подобные проблемы вызваны сжиганием и испарением остатков пищи и прочих органических веществ во внешнем стеклобое. Решение данной проблемы (к примеру, мусоросжигание) в данный момент находится в разработке.

Использование прямого подогрева приводит к увеличению выброса твёрдых отходов (вплоть до 2000 мг/нм³) и требует их вторичной очистки. Собранная пыль и зола, как правило, может перерабатываться, и снова загружаться в печь.

Предварительный нагрев шихты и стеклобоя приводит к повышению сухости сырья, что в свою очередь может привести к повторному загрязнению очищенных соединений во время загрузки шихты в стеклоплавильную печь или во время прохождения потока дымовых газов, движущегося с высокой скоростью над слоем шихты перед началом спекания и стекловарения.

Использование прямого подогрева порождает потребность в обслуживании и очистке, в связи с увеличением выбросов твёрдых отходов, что соответственно приводит к повышению затрат.

Если прямой подогрев сырья требует использование электростатического фильтра, при этом поглощается электроэнергия. Это частично сокращает экономию энергии, однако её расход является незначительным.

Так же существует возможность того, что прямой подогрев может привести к выбросам диоксида. В частности, если в процессе участвуют дымовые газы, содержащие HCl попавшие туда в результате нанесения покрытия на входе в лер. На основании проведённых исследований и измерений можно заключить, что не существует каких-либо объективных доказательств образования опасных уровней диоксида в дымовом газе печей оснащённых установками предварительного нагрева шихты.

Эксплуатационные данные

Для того чтобы как можно больше сократить потерю тепла в транспортной системе под теплообменником, подогреватель должен размещаться как можно ближе к загрузочному карману. Идеальное расположение подогревателя будет непосредственно над загрузочным механизмом для шихты.

В силу экономических причин температура доступных дымовых газов должна быть 400 – 450 °С. Более того, дымовые газы должны охлаждаться как минимум на 200 – 250 °С. Кроме этого, для того чтобы предотвратить агломерацию материала, максимальная входная температура дымовых газов, в большинстве существующих систем предварительного нагрева шихты не должна превышать 600 °С. Однако, на данный момент, в разработке находятся новые технологии, позволяющие работать с дымовыми газами более высокой температуры.

Применение

Теоретически систему подогрева стеклобоя/шихты можно установить на любую существующую стекловаренную печь с содержанием стеклобоя в шихте больше 50 %. Однако, с соблюдением специальных условий и ограниченным сроком службы одна нагревательная установка успешно работает в связке со стекловаренной печью с содер-

жанием стеклобоя в шихте 30 %. Предварительный нагрев одной шихты без стеклобоя является проблематичным и не считается проверенной технологией. Предварительный нагрев смеси стеклобоя и шихты является более сложным, чем предварительный нагрев одного стеклобоя. В связи с указанными ограничениями применение технологий предварительного нагрева стеклобоя и шихты практически полностью ограничено сектором тарного стекла.

Экономика

Финансовые аспекты предварительного нагрева шихты/стеклобоя в значительной мере зависят от мощности печи и нагревательной установки. В качестве показательного примера затрат и экономии средств за счёт данной технологии была выполнена финансовая оценка для двух различных установок в секторе тарного стекла использующих технологию непрямого подогрева. Результаты подобной оценки приведены ниже:

- Для регенеративной печи с поперечным направлением пламени, мощностью 350 тонн в сутки дополнительные инвестиционные затраты связанные с использованием технологии предварительного нагрева составляют около 150 миллионов руб., включая некоторые адаптации в механизме загрузки шихты. Годовая экономия на эксплуатационных расходах составляет около 49 миллионов руб. в год, предполагая, что цена топлива составляет 590 руб. за ГДж валовой теплоты сгорания. Средняя экономия затрат во время работы печи, рассчитана на основании текущих цен на энергию и оценивается в 180 руб. на тонну плавленного стекла.

- Применения технологий предварительного нагрева шихты/стеклобоя для печи мощностью 450 тонн в сутки позволяет увеличить удельный съём стекломассы от 450 до 500 тонн в сутки, экономя при этом энергию. Инвестиционные затраты составляют 200 миллионов руб., в то время как экономия (на основании мощности 500) составляет 66 миллионов руб. в год. В этом случае, время окупаемости инвестиции оставляет три года. Общая экономия средств составляет 300-360 руб. на тонну стекла, отчасти благодаря повышенной стекловаренной мощности печи без необходимости расширения её структуры

- Так же для утилизации любого увеличения удельного съёма стекломассы потребуются инвестиции в оборудование и инфраструктуру для транспортировки с материа-

лов и газов к подогревателю. Затраты, в частности связанные с увеличением мощности оборудования, могут быть весьма значительными.

В настоящее время данная технология не используется широко в связи с относительно высокими инвестиционными затратами и, в некоторых случаях, пространственными ограничениями. Однако возможность её применения отличается от региона к региону и постоянно пересматривается по мере изменения цены энергии и прочих факторов (к примеру, ограничений на выбросы).

В таблице 4.25 приведен пример применения подобной установки шихта и стеклобоя для печи производящей флинтглас в секторе тарного стекла.

Побудительные причины для реализации технологии

Основной побудительной причиной для реализации подобной технологии является потребность в сокращении энергопотребления и последующих выбросов CO₂. Так же, ещё одной причиной может выступать стекловаренной мощности печи (вплоть до 10 %).

Таблица 4.25: Примеры применения установок прямого подогрева шихты и стеклобоя

Тип печей	Регенеративная, с перекрестным направлением пламени
Топливо	Природный газ
Мощность	350 т/день
Удельный съем	275 т/сутки
Последний кап. ремонт	2005 год
Доп. электрообогрев	Да
Тип стекла	Флинт
Стеклобой	60 %
Удельное энергопотребление	3.78 ГДж/т
Тип фильтра	ЭСФ с 3 полями
Температура перед фильтрацией	200 °С
Сорбент	Нет

Тип печей	Регенеративная, с перекрестным направлением пламени	
Использование фильтрата в шихте	100 %	
Энергопотребление, включая вентилятор	194 кВт/час	
Тип подогревателя сырья	Прямой контакт с дымовыми газами из печи	
Объем дымовых газов перед подогревом	17000 м ³ /час	
Вход./выход. температура дымовых газов	Примерно. 450/200 °С	
Вход./выход. температура сырья	Примерно. 20/300 °С	
Кол-во восстановленной энергии	Примерно. 900 кВт/час	
	Система фильтрации, включая доп. оборудование Трубопровод, вентилятор (¹)	Нагреватель сырья, включая доп. оборудование
Инвестиционные затраты/затраты на замещение	90 миллионов руб.	60 миллионов руб.
Срок амортизации	10 лет	12 лет
Текущие затраты	7,2 миллиона руб.	0,6 миллиона руб.
Годовые затраты на амортизацию	12 миллионов руб.	6,8 миллионов руб.
Общие годовые затраты	19 миллионов руб.	7,4 миллионов руб.
Ожидаемые затраты на тонну стекла	190 руб./т стекла	74 руб./т стекла
Уровень выбросов (²)	(мг/нм ³ , сухой газ при 8 % O ₂)	кг/т стекла
Твердые отходы	23.8	0.037
NO _x	909	1.42
SO _x	386	0.60

Тип печей	Регенеративная, с перекрестным направлением пламени	
HCl	4.8	0.0075
HF	3.0	0.0047
<u>Металлы</u>		
Класс I (Hg, Tl)	0.003	0.005×10^{-3}
Класс II (Pb, Co, Ni, Se)	0.76	1.2×10^{-3}
Класс III (Sb, Cr, Cu, Mn, V, Sn)	1.01	1.6×10^{-3}
⁽¹⁾ Данные по затратам, собранные за год установки системы контроля загрязнения воздуха, необязательно являются репрезентативными для сегодняшней ситуации. ⁽²⁾ Данные по выбросам строятся на средних получасовых значениях.		

4.8.6 Гранулирование и нагрев шихты и стеклобоя

Подогрев шихты целесообразно применять в единой систем первоначального гранулирования и последующего подогрева. Причём методы уплотнения шихты могут быть различны. Наиболее дешёвыми, легко встраиваемыми в технологическую цепочку являются методы валкового брикетирования, компактирования шихты. Даже при своей неприхотливости метод даёт очень хороший результат – повышение съёма до 20 %, улучшение гомогенности стекломассы, провара, уменьшение брака. Более дорогой метод - гранулирование. Основное преимущество по сравнению с первым – поведение гранулированной шихты при высыпании на зеркало стекломасс. Если пластинчатообразно уплотнённая шихта ведёт себя подобно обычной, образует кучи, хотя и менее высокие на зеркале, то гранулированная, шарикоподобная, рассыпается более тонким, относительно ровным слоем по поверхности стекломассы, что обеспечивает лучший и быстрый прогрев с вытекающими последствиями. Уплотнённая шихта минимизирует или совершенно устраняет основную сложность, сдерживающую успешное внедрение процесса подогрева шихты, связанную с выраженной тенденцией подогретой шихты к комкованию, что приводит к образованию пробок и блокированию работы подогревателя.

4.9 Системы управления природопользованием

Описание

Формализованные системы для наглядной демонстрации выполнения экологических задач.

Техническое описание

Закон определяет «технологии» (в рамках определения «наилучшие доступные технологии») следующим образом: «как применяемые технологии, так и способы конструирования, построения, обслуживания, эксплуатации и утилизации установки».

В данном отношении, система управления природопользованием (СУП) является технологией, позволяющей операторам установок систематически и наглядно разбирать проблемные вопросы окружающей среды. СУП являются наиболее эффективными, когда они представляют собой неотъемлемую часть глобального управления и эксплуатации установки.

СУП фокусирует внимание оператора на экологических показателях установки; в частности посредством применения четких рабочих процедур, как для нормальных, так и для нестандартных рабочих условий, устанавливая связанные с этим сферы ответственности.

Все эффективные СУП включают в себя концепцию непрерывного улучшения. Это значит, что управление природопользованием является перманентным процессом, а не проектом, который рано или поздно доходит до своего логического завершения. Существуют различные модели рабочих процессов, однако большинство СУП основаны на цикле «планирование-выполнение-проверка-действие» (который широко используется в контексте прочих аспектов корпоративного управления). Данный цикл является интерактивной динамичной моделью, где завершение одного цикла одновременно является началом следующего (см. Рис. 4.9).



Рисунок 4.9: непрерывное улучшение в модели СУП

СУП может принимать форму, как стандартизированной, так и нестандартизированной («индивидуальной») системы. Реализация и соблюдение международных принятых стандартизованных системы, таких как ISO 14001:2004, может повысить степень надежности СУП, особенно при должном выполнении внешних контрольных проверок. ЕАМС также имеет повышенную надежность благодаря взаимодействию с общественностью посредством заявлений о воздействии на окружающую среду и механизма обеспечения соответствия применимым нормам экологического законодательства. Однако, нестандартизованная система, в принципе, может иметь равную эффективность при условии ее правильной разработки и реализации.

Проверка и корректирующие мероприятия

В то время как обе стандартизованные (ISO 14001:2004 или EMAS) и нестандартизованные системы по сути своей относятся к **юридическим лицам**, данный документ использует более узкий подход, и не включает в себя все виды деятельности того или иного юридического лица в отношении, к примеру, поставляемых им продуктов и услуг, поскольку данный документ регулирует исключительно **промышленные установки/фабрики**.

СУП может включать в себя следующие компоненты:

1. Обязательства руководства, включая высшее руководство;
2. Определение экологической политики, которое включает непрерывное улучшение установки руководством;
3. Планирование и установление необходимых процедур, задач и целей в соче-

тании с финансовым планированием и инвестициями;

4. Реализация процедур, уделяющих особое внимание следующим аспектам:

- (a) Структуре и сферам ответственности;
- (b) Обучению, информированности, компетенции;
- (c) Связи;
- (d) Участию сотрудников;
- (e) Документации;
- (f) Эффективному контролю процессов;
- (g) Программам обслуживания;
- (h) Готовности и реагированию в чрезвычайных ситуациях;
- (i) Обеспечению соответствия экологическому законодательству.

5. Проверка эффективности и проведение коррекционных мероприятий с особым вниманием к следующим аспектам:

- (a) Мониторинг и измерение;
- (b) Коррекционные и превентивные мероприятия;
- (c) Ведение записей;
- (d) Независимый (если это практически осуществимо) внутренний и внешний

аудит с целью определения соответствия СУП запланированным организационным работам, а также правильности ее реализации и поддержания;

6. Оценка СУП и непрерывная проверка ее пригодности, адекватности и эффективности руководством;

7. Подготовка планового заявления о воздействии на окружающую среду;

8. Проверка со стороны сертификационного органа или внешнего аудитора СУП;

9. Поддержка разработки более чистых технологий;

10. Учет экологических эффектов от конечной утилизации установки на этапе проектирования новой фабрики и в течение срока ее эксплуатации;

11. Использование секторальных эталонных критериев на постоянной основе.

Экологические преимущества

СУП способствует и поддерживает непрерывное улучшение экологических характеристик установки. Если на момент внедрения системы установка уже имеет в целом хорошие экологические показатели, EMS помогает оператору поддерживать подобный высокий уровень.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Потребление всех значительных ресурсов (включая энергию), а также выбросы и отходы управляются оператором на основе одной скоординированной системы в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе, в сочетании с финансовым планированием и инвестиционными циклами. Это значит, что, к примеру, внедрение краткосрочных природоохранных решений для контроля выбросов могут привязать оператора к более высокому потреблению энергии в долгосрочной перспективе, и отложить на неопределенный срок инвестиции в потенциально более экологически выгодные решения в целом. Это требует учета межсредовых аспектов и рассмотрения финансовых и экономических вопросов.

Технические соображения, связанные с применимостью системы

Вышеописанные компоненты СУП, как правило, могут применяться ко всем установкам, которые являются предметом настоящего документа. Область применения (к примеру, степень подробности) и характер СУП (к примеру, стандартизованная или нестандартизованная) будет зависеть от характера, масштабов и сложности установки, а также диапазона экологических эффектов, которые она может оказывать.

Внедрение СУП, в соответствии с правилами стандарта ISO 14001, в ряд установок стекольной промышленности, показало себя в качестве хорошего инструмента для выработки методических рекомендаций компании для:

- Определение направления фокусировки работы для всех сотрудников;
- Создание организационной структуры, где задачи и сфера ответственности каждой функции четко определены;
- Описание производственного процесса таким образом, чтобы скоординировать работу всех его участников;

- Адаптация системы контроля для выявления неполадок и аномалий, проведение надежных коррекционных мероприятий, а также внедрение системы для улучшения производительности фабрики путем установки и достижения конкретных целей.

Экономика

Сложно точно определить стоимость и экономические преимущества от внедрения и поддержания качественной СУП. Существуют определенные экономические преимущества, достигаемые за счет использования EMS, однако они значительно разнятся от сектора к сектору.

Побудительные причины для реализации

Побудительные причины для реализации СУП включают в себя:

- Улучшенные экологические показатели;
- Улучшенное понимание экологических аспектов деятельности компании, которое может использоваться для выполнения экологических требований клиентов, регулирующих органов, банков, страховых компаний и прочих заинтересованных лиц (к примеру, людей, которые живут и работают в непосредственной близости от предприятия)
- Улучшенный механизм принятия решений
- Улучшенная мотивация для персонала (к примеру, руководство может быть уверенным, что экологические эффекты предприятия контролируются, а сотрудники – чувствовать, что они работают на экологически ответственную компанию)

Дополнительные возможности для снижения текущих расходов и улучшения качества продукции.

- Улучшение имиджа компании;
- Снижение затрат, связанных с ответственностью, страховкой и несоответствием стандартам.

Примеры реального использования на производстве

СУП применяются на различных предприятиях в России.

В качестве примера, все предприятия по изготовлению термополированного стекла, принадлежащие «AGC Flat Glass Europe», «Pilkington/NSG» прошли или проходят

сертификацию ISO 14001. Эти компании являются частью международных групп, которые действуют по всему миру, и в связи с этим выбрали международный стандарт ISO 14001 вместо EMAS, который действует конкретно в Европе.

Прочие европейские предприятия, которые производят тарное стекло, непрерывные нити стекловолокна, минеральную вату, фритту и т.д. сертифицированы в соответствии с ISO 14001 или EMAS (к примеру, «Rockwool Denmark», «OCV», «Saint-Gobain ISOVER», «Saint-Gobain Mondego» и т.д.).

5 Выводы о наилучших доступных технологических методах для сферы производства стекла

Эти выводы о наилучших доступных технологических методах касаются производственной деятельности:

- Производство стекла, перечисленных в разделе 1 видов, с максимальной производительностью стекловаренной печи, превышающей 20 тонн в сутки;
- Стекловарение минеральных веществ, включая производство минеральных волокон, с максимальной производительностью стекловаренной печи, превышающей 20 тонн в сутки.

Эти выводы о наилучших доступных технологических методах не затрагивают следующую деятельность:

- Производство ваты из поликристаллического волокна;
- Производство зеркал;
- Промышленную переработку листового стекла.

Технологии, перечисленные и описанные в этих выводах о наилучших доступных технологических методах, не являются ни обязательными, ни исчерпывающими. Могут использоваться иные технологии, которые обеспечивают минимальный эквивалентный уровень защиты окружающей среды.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Применительно к целям данных выводов о наилучших доступных технологических методах, применяются определения, приведенные в таблице 5.1:

Таблица 5.1. Используемые определения

Используемый термин	Определение
Новое предприятие	Предприятие, созданное на месте производства, соответствующее этому справочнику о наилучших доступных технологических методах, или полная замена предприятия на существующих фундаментах установки, исходя из этого справочника о наилучших доступных технологических методах
Существующее предприятие	Предприятие, которое не является новым предприятием
Новая печь	Печь, монтируемая на месте установки, соответствует этому справочнику о наилучших доступных технологических методах, или полная реконструкция печи соответствует этому справочнику о наилучших доступных технологических методах
Обычная реконструкция печи	Реконструкция между кампаниями без существенного изменения требований к печи или технологии, и при которой каркас печи значительно не изменяют, и размеры печи остаются в основном неизменными. Огнеупорный материал печи и, где необходимо, регенераторы ремонтируются, с применением полной или частичной замены материала.
Полная реконструкция печи	Реконструкция, включающая в себя существенное изменение требований к печи или технологии, и значительные изменения или замену печи и дополнительного оборудования.

Общие соображения

Если не установлено иначе, уровни выбросов загрязняющего вещества, связанные с наилучшими доступными технологическими методами для выбросов вредных веществ в атмосферу (НДТ-AELs), предоставленные в настоящих выводах о наилучших доступ-

ных технологических методах, применяют в соответствии с исходными условиями, показанными в Таблице 5.3. Все значения для концентраций в отработавших газах относятся к нормальным условиям: сухой природный газ, температура 273.15°K, давление 101.3 кПа, правила усреднения показаний приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Правила усреднения показаний при измерении выбросов

Для дискретных измерений	Уровни атмосферных выбросов при использовании наилучших доступных технологических методов относятся к среднему значению трех единичных проб длительностью минимум 30 минут каждая; для регенеративных печей измерительный период должен охватывать минимум два реверсирования разогрева камер регенератора
Для непрерывных измерений	Уровни атмосферных выбросов при использовании наилучших доступных технологических методов относятся к ежедневным средним значениям

Таблица 5.3: Исходные условия для уровней атмосферных выбросов НДТ, относящихся к выбросам вредных веществ в атмосферу

Действия		Единица измерения	Исходные условия
	Стандартная стекловаренная печь непрерывного действия	мг/нм ³	8 % кислорода по объему
	Стандартная стекловаренная печь периодического действия	мг/нм ³	13 % кислорода по объему
	Рекуперативные печи с кислородным дутьем	кг/т	Выражение уровней выбросов загрязняющего вещества, измеряемых как мг/нм ³ по отношению к референсной концентра-

Действия		Единица измерения	Исходные условия
			ции кислорода, не применимо
	Электрические печи	мг/нм ³ или кг/т	Выражение уровней выбросов загрязняющего вещества, измеряемых как мг/нм ³ , по отношению к референсной концентрации кислорода, не применимо
Деятельность, связанная с варкой стекла	Печи для варки фритты	мг/нм ³ или кг/т	Концентрации относятся к 15 % кислорода по объему. Когда используется разогрев с помощью горючей смеси воздуха и паров нефтепродуктов, применяются уровни атмосферных выбросов НДТМ, выраженные в виде концентрации вредных примесей (мг/нм³). Когда используется разогрев только с использованием горения топлива в кислороде, применяются уровни атмосферных выбросов НДТМ, выраженные в виде удельных выбросов массы (кг/т расплавленной фритты). Когда используется разогрев с использованием обогащенной кислородом смеси воздух-топливо, применяются уровни атмосферных выбросов НДТМ, выраженные в виде либо концентрации вредных примесей

Действия		Единица измерения	Исходные условия
			(мг/нм ³), либо как удельные выбросы массы (кг/т расплавленной фритты).
	Все типы печей	кг/т	Удельные выбросы массы, относящиеся к одной тонне расплавленного стекла
Деятельность, не связанная с варкой стекла, включая последующие технологические процессы	Все процессы	мг/нм ³	Без коррекции для кислорода
	Все процессы	кг/т	Удельные выбросы массы, относящиеся к одной тонне расплавленного стекла

Формула для вычисления концентрации выбросов загрязняющего вещества при референсной концентрации кислорода (см. Таблицу 5.1):

$$E_r = 21 - O_R / 21 - O_M * E_m$$

Где:

E_R (мг/нм³) - концентрация выбросов загрязняющего вещества, с поправкой на референсный уровень кислорода O_R

O_R (%) - референсный уровень кислорода

E_M (мг/нм³) - концентрация выбросов загрязняющего вещества в отношении измеренного уровня кислорода O_M

O_M (%) - измеренный уровень кислорода.

Уровни атмосферных выбросов НДТМ, которые приводятся в Разделах с 5.2 по 5.9, как удельные выбросы массы (кг/т расплавленного стекла), базируются на вычислении, которое приводится ниже, за исключением рекуперативных печей с кислородным дутьем и, в ограниченном ряде случаев, для стекловарения в электропечи, где уровни

атмосферных выбросов НДТМ, приведенные в виде кг/т расплавленного стекла, были получены из опубликованных данных.

Методика вычислений, используемая для преобразования из концентраций в удельные выбросы массы:

Удельный выброс массы (кг/т расплавленного стекла) = пересчетный коэффициент $\times$ концентрация выбросов загрязняющего вещества (мг/нм³)

где: пересчетный коэффициент = $(Q/P) \times 10^{-6}$

при этом Q = объем отработавшего газа в нм³/час

P = удельный съем стекломассы в т/час.

Объем отработавшего газа (Q) определяется удельными энергозатратами, типом топлива и окислителем (воздух, воздух, обогащенный кислородом и кислород с чистотой в зависимости от технологического процесса). Потребление энергии является комплексной функцией (преимущественно) от типа печи, типа стекла и процентного содержания стекольного боя.

Однако, ряд факторов может влиять на связь между концентрацией и определенным массовым расходом, включая:

- тип печи (температура предварительного нагрева воздуха, технология стекловарения)
- тип произведенного стекла (потребность в энергии для стекловарения)
- структура энергии (органическое топливо / дополнительный электроподогрев)
- тип органического топлива (мазут, газ)
- тип окислителя (кислород, воздух, обогащенный кислородом воздух)
- процентное содержание стекольного боя
- состав шихты
- срок службы печи
- размер печи

Пересчетные коэффициенты, приведенные в Таблице 5.4, использовались для преобразования уровней атмосферных выбросов НДТМ из концентраций в удельные выбросы массы. Пересчетные коэффициенты были определены на основании печи с низким энергопотреблением, и имеют отношение только к стекловаренным печам, работающим целиком на смеси воздух-топливо.

Таблица 5.4: Индикативные факторы, используемые для преобразования мг/нм^3 в кг/т расплавленного стекла основываясь на стекловаренной печи с низким энергопотреблением, работающей на смеси воздух-топливо

Сектора		Коэффициенты для преобразования мг/нм^3 в кг/т расплавленного стекла
Листовое стекло		$2,5 \times 10^{-3}$
Тарное стекло	Общий случай	$1,5 \times 10^{-3}$
	Конкретные случаи (1)	Исследования, основанные на изучении частных случаев (часто $3,0 \times 10^{-3}$)
Стекловолокно из непрерывной нити		$4,5 \times 10^{-3}$
Сортовое стекло	Натрий-кальций-силикатное стекло	$2,5 \times 10^{-3}$
	Конкретные случаи (2)	Исследования, основанные на изучении частных случаев (между $2,5$ и $>10 \times 10^{-3}$; часто $3,0 \times 10^{-3}$)
Минеральное волокно	Стекловата	2×10^{-3}
	Базальтовое волокно	$2,5 \times 10^{-3}$
Специальное стекло	Телевизионное стекло (панели)	3×10^{-3}
	Телевизионное стекло (конус)	$2,5 \times 10^{-3}$
	Боросиликатное стекло (трубка)	4×10^{-3}
	Ситаллы	$6,5 \times 10^{-3}$
	Стекло для осветительных приборов (натрий-кальций-силикатное стекло)	$2,5 \times 10^{-3}$
Фритты		Исследования, основанные на изучении частных случаев (между 5 - $7,5 \times 10^{-3}$)
(1) Конкретные случаи соответствуют менее распространенным случаям (то есть небольшие специальные печи с производительностью обычно ниже 100 т/сутки и соотношением стекольного боя менее 30%). Эта категория представляет собой только 1 или 2% производства тарного стекла.		

(2) Конкретные случаи, соответствующие менее подходящим случаям и/или не натрий-кальций-силикатным стеклам: боросиликаты, ситаллы, хрустальное стекло и, реже, свинцовый хрусталь.

Определения для некоторых загрязнителей воздуха

Для целей этих выводов о наилучших доступных технологических методах и для уровней атмосферных выбросов НДТМ, описываемых в Разделах с 5.2 по 5.9, применяются определения, приведенные в таблице 5.5:

Таблица 5.5. Определения учитываемых уровней атмосферных выбросов

NO _x выражен в виде NO ₂	Сумма оксида азота (NO) и диоксида азота (NO ₂), выраженная в виде NO ₂
SO _x выражен в виде SO ₂	Сумма сернистого ангидрида (SO ₂) и триоксида серы (SO ₃), выраженная в виде SO ₂
Хлористый водород выражен в виде HCl	Все газообразные хлориды, выраженные в виде HCl
Фтористый водород выражен в виде HF	Все газообразные фториды, выраженные в виде HF

Периоды усреднения для сбросов отработанных вод

Если не установлено иначе, уровни выбросов загрязняющего вещества, связанные с наилучшими доступными технологическими методами для сбросов отработанных вод, предоставленных в этом справочнике о наилучших доступных технологических методах, относятся к среднему значению комбинированной выборки, полученной за период, равный двум или 24 часам.

5.1 Общие выводы о наилучших доступных технологических методах для производства стекла

Если не указано особо, выводы о наилучших доступных технологических методах, приведенные в этом разделе, могут быть применены ко всей технологической линии.

Наилучшие доступные технологические методы, характерные для конкретного процесса и приведенные в Разделах 5.2 - 5.9, применяются в дополнение к общим наилучшим доступным технологическим методам, упомянутым в настоящем разделе.

5.1.1 Системы управления состоянием окружающей среды

Наилучшие доступные технологические методы должны обеспечить выполнение и придерживаться Системы управления состоянием окружающей среды (EMS), которая объединяет в себе все следующие особенности:

1. обязательство руководства, включая высшее руководство;
2. определение экологической политики, которая включает в себя непрерывное совершенствование инженерной системы руководством предприятия;
3. планирование и организация необходимых процедур, ориентиров и целей, в совокупности с финансовым планированием и инвестициями;
4. внедрение процедур, уделяя особое внимание следующему:
 - 4.1. структура и ответственность
 - 4.2. обучение, понимание и компетентность
 - 4.3. коммуникация
 - 4.4. вовлечение сотрудников
 - 4.5. документация
 - 4.6. контроль отлаженного процесса
 - 4.7. регламенты технического обслуживания
 - 4.8. готовность к чрезвычайным ситуациям и реагирование
 - 4.9. защитные мероприятия, соответствующие законодательству в области окружающей среды.
5. проверка показателей работы и принятие соответствующих мер, уделяя особое внимание следующему:
 - 5.1. мониторинг и нормирование

5.2. корректирующие и профилактические действия

5.3. ведение документации

5.4. независимый (при наличии возможности) внутренний и внешний аудит для того, чтобы определить, действительно ли система мониторинга состояния окружающей среды (EMS) соответствует запланированным договоренностям, и правильно ли реализовалась и поддерживалась;

6. обзор высшим руководством системы мониторинга состояния окружающей среды и ее соответствие современным требованиям, адекватность и эффективность;

7. требование к продолжению разработки экологически более чистых технологий;

8. рассмотрение воздействий на окружающую среду от возможного списания установки на стадии проектирования нового предприятия, и на всем протяжении его срока службы;

9. регулярное применение секторального сопоставительного анализа.

Возможность использования

Объем (например, степень детализации) и природа системы мониторинга состояния окружающей среды (например, стандартизированная или нестандартизированная) будут обычно иметь отношение к природе, масштабу и сложности установки, и области воздействий на окружающую среду, которые она может иметь.

5.1.2 Эффективность использования энергии

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшить удельные энергозатраты путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.6:

Таблица 5.6. Технологические методы, позволяющие уменьшить энергозатраты

Технология	Возможность использования
1. Оптимизация процесса с помощью контроля рабочих параметров	Технологии в основном применимы
2. Регулярное техническое обслуживание стек-	

ловаренной печи	
3. Оптимизация конструкции печи и выбор технологии стекловарения	Подходит для новых предприятий. Для действующих предприятий внедрение требует полной реконструкции печи
4. Применение методов, оборудования и средств борьбы с загрязнением при сжигании топлива	Применимо для печей, работающих на смеси воздух-топливо, и рекуперативных печей с кислородным дутьем
5. Увеличение содержания стекольного боя, где это доступно и экономически и технически целесообразно	Не применимо к секторам стекловолочна из непрерывной нити и фритт
6. Применение котла-утилизатора тепла отходящих газов для восстановления энергии, где это технически и экономически целесообразно	Применимо для печей, работающих на смеси воздух-топливо, и рекуперативных печей с кислородным дутьем. Возможность использования и экономическая целесообразность технологии обусловлены общей производительностью, которая может быть достигнута, включая эффективное использование создаваемого пара
7. Предварительный нагрев шихты и стекольного боя, где это технически и экономически целесообразно	Применимо для печей, работающих на смеси воздух-топливо, и рекуперативных печей с кислородным дутьем. Возможность использования обычно ограничивается составами шихты с более чем 50 % стекольным боем

5.1.3 Хранение и погрузка-разгрузка материалов

Наилучшие доступные технологические методы должны предотвращать, или где это практически не осуществимо, уменьшать рассеянные выбросы пыли от хранения и

погрузки-разгрузки твердых материалов путем использования одного или комбинации следующих технологических методов:

1. Хранение сырья

1.1. Нерасфасованные порошкообразные материалы храните в закрытых бункерах, снабженных системой снижения запыленности (например, тканевый фильтр)

1.2. Мелкозернистые материалы храните в закрытых или заваренных мешках

1.3. Пылящие крупнозернистые материалы храните в накрытых отвалах

1.4. Используйте подметально-уборочные машины и различные способы увлажнения

2. Погрузка-разгрузка сырья: технологические методы сокращения выбросов приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7. Технологические методы сокращения выбросов при хранении сырьевых материалов

Технологические методы	Возможность использования
2.1. Для материалов, транспортируемых над землей, используйте закрытые конвейеры, чтобы предотвратить потери материала	Технологические методы обычно общеприменимы
2.2. Там, где используется пневматический конвейерный транспорт, используйте герметизированную систему, снабженную фильтром для очистки транспортного воздуха перед выбросом	
2.3. Увлажнение шихты	Использование этих технологических методов ограничено отрицательными последствиями для энергоэффективности печи. Ограничения могут распространяться на некоторые составы шихты, в частности для производства боросиликатного стекла
2.4. Применение незначительно отрицательного давления в печи	Применимо только как неотъемлемая особенность выполняемой операции

	(то есть плавильные печи для производства фритт) вследствие вредного воздействия на энергоэффективность печи
2.5. Использование сырья, не вызывающего явления растрескивания при накаливании (главным образом доломит и известняк). Этому явлению подвержены минералы, которые 'потрескивают', когда они подвергаются воздействию тепла, с последующим потенциальным увеличением выбросов пыли	Применимо в рамках ограничений, связанных с доступностью соответствующего сырья
2.6. Используйте вытяжку в систему фильтрации в процессах, где вероятно может образовываться пыль (например, вскрытие мешка, смешивание компонентов шихты фритт, утилизация пыли тканевого фильтра, стекловаренные печи с холодным сводом)	Технологические методы общеприменимы
2.7. Используйте шнековые транспортеры закрытого типа	
2.8. Огораживание загрузочных коробок	Общеприменимо. Чтобы избежать повреждения оборудования может потребоваться охлаждение

Наилучшие доступные технологические методы должны предотвращать, или где это практически невозможно, уменьшать рассеянный выброс газообразных отходов при хранении и погрузке-разгрузке сырья с летучими соединениями путем использования одного или комбинации следующих технологических методов:

1. Используйте краску для резервуаров с низкой поглощающей способностью солнечной энергии для хранения в емкостях, подвергающихся колебаниям температуры в результате солнечного обогрева.

2. Контроль температуры при хранении сырья с летучими соединениями.

3. Изоляция резервуара при хранении сырья с летучими соединениями.
4. Управление материально-техническим снабжением
5. Использование резервуаров с плавающей крышей при хранении больших количеств летучих нефтепродуктов.
6. Использование систем переноса отработанных паров при перемещении летучих жидкостей (например, из автоцистерн в резервуар).
7. Использование резервуаров с мембранной крышей при хранении жидкого сырья.
8. Использование запорных нагнетательных / вакуумных клапанов в резервуарах, выдерживающих колебания давления.
9. Применение методов обработки выбросов (например, адсорбция, абсорбция, конденсация) в месте хранения опасных материалов.
10. Применение приповерхностного материала, заполняющего устройство для хранения жидкостей, которые имеют склонность к пенообразованию.

5.1.4 Общие меры борьбы с первичным загрязнением

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшить потребление энергии и выброс загрязнителей в воздух, выполняя постоянный контроль рабочих параметров и запрограммированное техническое обслуживание стекловаренной печи. Общие методы борьбы с первичными загрязнениями приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8. Общие методы борьбы с загрязнениями

Технологические методы	Возможность использования
Технологические методы состоят из ряда операций контроля и технического обслуживания, которые могут использоваться по отдельности или в сочетании, соответствующем типу печи, с целью уменьшения эффектов старения в печи, таких как уплотнение печи и блоков горелок, для сохранения максимальной изоляции, контроля стабили-	Технологические методы применимы для регенеративных, рекуперативных и печей с кислородным дутьем. Возможность использования в печах других типов требует выполнения экспертизы для каждой конкретной системы

Технологические методы	Возможность использования
зированных характеристик пламени, контроля соотношения топлива/воздуха и т.д.	

Наилучшие доступные технологические методы должны обеспечивать тщательный отбор и контроль всех веществ и сырья, закладываемых в стекловаренную печь для того, чтобы уменьшить или предотвратить выброс загрязнителей в воздух путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.9.

Таблица 5.9. Контроль сырьевых материалов

Технологические методы	Возможность использования
Использование сырьевых материалов и привозного стекольного боя с низкими уровнями загрязнений (например, металлы, хлориды, фториды)	Применимо в рамках ограничений со стороны типа стекла, произведенного в установке, и доступности сырьевых материалов и топлива
Использование альтернативных сырьевых материалов (например, менее летучее вещество)	
Использование топлив с низкими металлическими примесями	

Наилучшие доступные технологические методы должны обеспечивать регулярный контроль выбросов загрязняющего вещества и/или других соответствующих параметров процесса, включая контроль параметров, приведенных в таблице 5.10.

Таблица 5.10 Контролируемые параметры

Технологические методы	Возможность использования
1. Непрерывный контроль критических параметров процесса для обеспечения стабильности процесса, например, температуры, подачи топлива и воздушного потока	Технологические методы общеприменимы
2. Постоянный контроль параметров процесса,	

Технологические методы	Возможность использования
чтобы предотвратить/уменьшить загрязнение, например, содержание O_2 в газообразных продуктах сгорания, чтобы контролировать соотношение топлива/воздуха.	
3. Непрерывные измерения пыли, выбросов NO_x и SO_2 или дискретные измерения, по крайней мере, дважды в год, связанные с контролем суррогатных параметров, чтобы гарантировать то, что между измерениями система очистки работает правильно	
4. Непрерывные или обычные периодические измерения выбросов NH_3 , когда применяются технологии избирательного каталитического восстановления (SCR) или избирательного некаталитического восстановления (SNCR)	
5. Непрерывные или обычные периодические измерения выбросов CO , когда могут иметь место меры борьбы с первичным загрязнением или химическое восстановление с помощью топливных технологий, применяемые для уменьшения выбросов NO_x или при частичном сгорании.	Применимо к стандартным стекловаренным печам, работающим на смеси воздух-топливо
6. Обычные периодические измерения выбросов HCl , HF , CO и металлов, в частности, когда используется сырье, содержащее такого рода вещества, или может иметь место частичное сгорание	
7. Непрерывный контроль суррогатных параметров, чтобы следить за тем, что система очистки отработавшего газа работает правильно, и что уровни выбросов загрязняющего вещества поддерживаются в период между дискретными изме-	Технологические методы общеприменимы

Технологические методы	Возможность использования
рениями. Контроль суррогатных параметров включает в себя: контроль подачи реагента, температуры, подачи воды, напряжения, удаления пыли, скорости вентилятора и т.д.	

Наилучшие доступные технологические методы должны в оптимальном объеме контролировать системы очистки отработавшего газа во время нормальных условий эксплуатации для предотвращения или уменьшения выбросов загрязняющего вещества

Возможность использования

Специальные процедуры могут быть определены для определенных режимов работы, а именно:

1. во время запуска и работ выключения
2. во время других специальных операций, которые могут влиять на надежное функционирование систем (например, регулярное и внеплановое обслуживание и ремонт и операции по очистке печи и/или системы очистки отработавшего газа, или значительная переналадка производства)
3. в случае недостаточного выделения отработавшего газа или температуры, что препятствует использованию системы с полной производительностью.

Наилучшие доступные технологические методы должны ограничивать выбросы оксида углерода (CO) из стекловаренной печи на уровне ниже приведенного в таблице 5.12 путем применения мер борьбы с первичным загрязнением или химическое восстановление посредством топлива, для уменьшения выбросов NO_x, которые приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11. Методы сокращения выбросов NO_x

Технологические методы	Возможность использования
Меры борьбы с первичным загрязнением для уменьшения выбросов NO _x базируются на модификациях процесса горения (например, уменьшение соотношения	Применимо к стандартным стекловаренным печам, работающим на смеси воздух-

Технологические методы	Возможность использования
воздуха/топлива, ступенчатое сжигание, горелок с низким выходом оксидов азота и т.д.). Химическое восстановление посредством топлива заключается в добавлении углеводородного топлива в поток отработавшего газа, чтобы уменьшить количество оксидов азота, образующихся в печи. Увеличение выбросов СО вследствие применения этих технологических методов может быть ограничено тщательным контролем рабочих параметров	топливо.

Таблица 5.12. Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов оксида углерода из стекловаренных печей

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ
Оксид углерода, выраженный в виде СО	$<100 \text{ мг/нм}^3$

Наилучшие доступные технологические методы, приведенные в таблице 5.14, должны ограничивать выбросы аммиака (NH_3) загрязняющего вещества, применяя избирательное каталитическое восстановление (SCR) или избирательное некаталитическое восстановление (SNCR) технологические методы для высокоэффективного уменьшения выбросов NO_x до допустимого уровня, ниже приведенного в таблице 5.13.

Таблица 5.13: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов аммиака, когда применяются технологические методы SCR или SNCR

Параметр	Уровни атмосферных выбросов НДТМ ⁽¹⁾
Аммиак, выраженный в виде NH_3	$<5 - 30 \text{ мг/нм}^3$
(1) Чем выше уровни, связанные с более высокими концентрациями NO_x на входе, тем выше коэффициент уменьшения и старение катализатора.	

Таблица 5.14. Технологические методы сокращения выбросов аммиака

Технологические методы	Возможность использования
Технологический метод состоит из принятия и поддержания специальных режимов работы систем очистки отработавшего газа SCR или SNCR, с целью ограничения выбросов непрореагировавшего аммиака	Применимо для стекловаренных печей, оборудованных системами очистки отработавшего газа SCR или SNCR

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы бора из стекловаренной печи, когда в химическом составе шихты используются соединения бора, путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.15.

Таблица 5.15. Методы уменьшения выбросов бора

Технологические методы (1)	Возможность использования
1. Работа системы фильтрации при отвечающей требованиям температуре для усиления разделения соединений бора в твердом состоянии, принимая во внимание, что некоторые разновидности борной кислоты могут присутствовать в топочном газе в виде газообразных соединений при температурах больше 60 °C	Возможность использования на действующих предприятиях может быть ограничена техническими ограничениями, связанными с положением и особенностями существующей системы фильтрования
2. Использование сухой или полусухой газоочистки в сочетании с использованием системы фильтрации	Возможность использования может быть ограничена пониженной эффективностью удаления других газообразных загрязнителей (оксид серы, HCl, HF), вызываемых отложением соединений бора с внешней стороны сухого щелочного реагента
3. Использование влажной очистки газа	Возможность использования на действующих предприятиях может быть ограничена

Технологические методы (1)	Возможность использования
	потребностью в специальной очистке сточных вод
(1) Описание технологических методов приводится в Разделах 5.9.1, 5.9.4 и 5.9.6.	

Мониторинг

Мониторинг выбросов бора должен выполняться в соответствии с определенной методологией, которая позволяет выполнять измерение как твердых, так и газообразных форм, и позволяет определять эффективность удаления этих частиц из топочных газов.

5.1.5 Выброс вредных веществ в воду при выполнении процессов стекольного производства

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать водопотребление путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.16.

Таблица 5.16. Методы сокращения потребления воды

Технологические методы	Возможность использования
1. Минимизация проливаний и протечек	Технологический метод общеприменим
2. Повторное использование охлаждающих и моющих вод после выполнения очистки	Технологический метод общеприменим. Рециркуляция промывной воды применима в большинстве систем очистки газа; однако, может потребоваться периодическая выгрузка и замена средства очистки газа
3. Работа системы квазамкнутого оборотного водоснабжения насколько технически и экономически выполнимо	Возможность использования этого технологического метода может быть ограничена ограничениями, связанными с контролем безопасности производственного процесса. А именно: • охлаждение по незамкнутому циклу может использовать-

Технологические методы	Возможность использования
	ся, когда это требуют проблемы техники безопасности (например, случаи, когда необходимо охлаждать большие количества стекла) • воду, используемую в некотором определенном процессе (например, в последующих действиях в секторе изготовления стекловолокна из непрерывной нити, полирование с использованием кислоты в секторах сортового и специального стекла и т.д.), вероятно, придется сбрасывать целиком или частично в систему очистки сточных вод

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать количество выброшенных в сбросы отработанных вод загрязнителей путем использования одной или комбинации систем очистки сточных вод, приведенных в таблице 5.17. Допустимые уровни выбросов приведены в таблице 5.18.

Таблица 5.17. Системы очистки сточных вод

Технологические методы	Возможность использования
1. Стандартные методы, оборудование и средства борьбы с загрязнением, такие как механическая очистка сточных вод, процеживание через решётку, удаление плавающих загрязнений, нейтрализация, фильтрация, проветривание, осаждение, коагуляция и образование хлопьевидного осадка, и т.д. Стандартные оптимальные технологические методы для контроля выбросов при хранении сыпучих и опасных материалов, жидких сырьевых материалов и промежуточных продуктов, таких как защитные герметичные оболочки, инспекции/испытания резервуаров, оборудование для защиты от переполнения и т.д.	Технологический метод общеприменим

Технологические методы	Возможность использования
2. Биологические системы очистки, такие как активированный ил, биологическая фильтрация для удаления/разрушения органических соединений	Возможность использования ограничивается секторами, в которых в технологическом процессе используются органические вещества (например, сектора стекловолокна из непрерывной нити и минерального волокна)
3. Сброс в муниципальные станции по очистке сточных вод	Применимо там, где необходимо дополнительное уменьшение количества загрязнителей
4. Внешнее повторное использование отработанной воды	Возможность использования обычно ограничивается сектором фритт (возможно повторное использование в керамической промышленности)

Таблица 5.18: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для сбросов отработанных вод в открытые водоёмы с водой от производства стекла

Параметр (¹)	Единица измерения	Уровни атмосферных выбросов НДТМ (²) (комбинированная выборка)
рН	-	6,5-9
Общее количество взвешенных твёрдых частиц	мг/л	<30
Химическая потребность в кислороде (COD)	мг/л	<5 - 130 (³)
Сульфаты, выраженные в виде SO_4^{2-}	мг/л	<1000
Фториды, выраженные в виде F^-	мг/л	<6 (⁴)
Общее количество углеводов	мг/л	<15 (⁵)
Свинец, выраженный в виде Pb	мг/л	<0,05 - 0,3(⁶)
Сурьма, выраженная в виде Sb	мг/л	<0,5

Параметр ⁽¹⁾	Единица измерения	Уровни атмосферных выбросов НДТМ ⁽²⁾ (комбинированная выборка)
Мышьяк, выраженный в виде As	мг/л	<0,3
Барий, выраженный в виде Ba	мг/л	<3,0
Цинк, выраженный в виде Zn	мг/л	<0,5
Медь, выраженная в виде Cu	мг/л	<0,3
Хром, выраженный в виде Cr	мг/л	<0,3
Кадмий, выраженный в виде Cd	мг/л	<0,05
Олово, выраженное в виде Sn	мг/л	<0,5
Никель, выраженный в виде Ni	мг/л	<0,5
Аммиак, выраженный в виде NH ₄	мг/л	<10
Бор, выраженный в виде B	мг/л	<1 - 3
Фенол	мг/л	<1

⁽¹⁾ Значимость загрязнителей, перечисленных в таблице, зависит от сектора стекольной промышленности и от различных видов деятельности, выполняемых на предприятии.

⁽²⁾ Уровни относятся к комбинированной выборке, выполняемой в промежуток времени, равный двум или 24 часам.

⁽³⁾ Для сектора стекловолокна из непрерывной нити уровень атмосферных выбросов НДТМ равняется <200 мг/л.

⁽⁴⁾ Уровень имеет отношение к очищенной воде, поступающей в результате деятельности, предусматривающей полирование с использованием кислоты.

⁽⁵⁾ Как правило, общее количество углеводородов образуется из минеральных масел.

⁽⁶⁾ Более высокий уровень интервала связан с последующим процессом производства свинцового хрусталя.

5.1.6 Отходы от процессов стекольного производства

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшить образование твердых отходов, которые будут утилизированы путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.19.

Таблица 5.19. Методы сокращения твердых отходов

Технологические методы	Возможность использования
1. Повторное использование отработанных компонентов шихты там, где это позволяют требования к уровню качества	Возможность использования может быть уменьшена из-за ограничений, связанных с качеством готовой стекольной продукции
2. Уменьшение потерь материала во время хранения и погрузки-разгрузки сырья	Технологический метод общеприменим
3. Повторное использование внутреннего стекольного боя из забракованной продукции	Обычно, не применимо в секторах стекловолокна из непрерывной нити, высокотемпературной изоляционной ваты и фритт
4. Повторное использование пыли в составе шихты, где это позволяют требования к уровню качества	Возможность использования может быть ограничена различными факторами: • требованиями к уровню качества готовой стекольной продукции • процентным содержанием стекольного боя, используемого в составе шихты • потенциальными явлениями механического выноса и коррозии огнеупорных материалов • ограничения по балансу серы
5. Валоризация твердых отходов и/или шлама путем соответствующего использования на месте эксплуатации (например, шлам от обработки воды) или в прочих отраслях производства	Общеприменимо в секторе сортового стекла (для срезанного со свинцового хрусталя шлама) и в секторе тарного стекла (тонкодисперсные включения стекла, смешанные с нефтепродуктами). Ограниченная возможность использования в прочих секторах стекольного производства вследствие непрогнозируемого, загрязненного состава, низких объемов и экономической целесообразности

Технологические методы	Возможность использования
6. Валоризация огнеупорных материалов в конце срока эксплуатации для возможного применения в других отраслях производства	Возможность использования сокращена ограничениями, налагаемыми производителями огнеупорных материалов и потенциальными конечными пользователями
7. Применение брикетирования отходов на цементной связке для повторного использования во вращающейся печи на горячем дутье, где это позволяют требования к уровню качества	Возможность использования брикетирования отходов на цементной связке ограничивается сектором базальтового волокна. Должен соблюдаться компромиссный подход между выбросами вредных веществ в атмосферу и созданием потока твердых отходов

5.1.7 Шум от процессов стекольного производства

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать шумовое воздействие путем использования одного или комбинации следующих технологических методов:

1. Выполните оценку шума окружающей среды и, в случае необходимости, разработайте борьбы с зашумлённостью для местной среды
2. Выделите для шумного оборудования/операций отдельное помещение/блок
3. Используйте дамбы для экранирования источника шума
4. Выполняйте шумные операции вне помещения днем
5. Используйте шумозащитные стены или природные препятствия (деревья, кусты) между установкой и охраняемой зоной, исходя из местных условий.

5.2 Выводы о наилучших доступных технологических методах для производства тарного стекла

Если не указано особо, выводы о наилучших доступных технологических методах, приведенные в настоящем разделе, могут быть применены ко всем предприятиям, производящим тарное стекло.

5.2.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы, приведенные в таблице 5.20, должны уменьшать выбросы пыли из отработавших газов стекловаренной печи, до уровня, приведенного в таблице 5.21, путем применения системы очистки топочного газа, такой как электростатический пылеуловитель или мешочный фильтр.

Таблица 5.20. Методы сокращения выбросов пыли

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
Системы очистки топочного газа состоят из природо-очистных технологий на основании фильтрации всех материалов, которые находятся в твердом состоянии в точке измерения	Технологический метод общеприменим
(1) Описание систем фильтрации (то есть электростатический пылеуловитель, мешочный фильтр) приводится в Разделе 5.9.1.	

Таблица 5.21: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов пыли из стекловаренной печи в секторе тарного стекла

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ	
	мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла ⁽¹⁾
Пыль	<10 - 20	<0,015 - 0,06
(1) Пересчетные коэффициенты $1,5 \times 10^{-3}$ и 3×10^{-3} использовались для определения более низкого и более высокого значения в диапазоне значений соответственно.		

5.2.2 Оксиды азота (NO_x) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы NO_x из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.22, и должны обеспечить уровни выбросов, ниже указанных в таблице 5.23.

Таблица 5.22. Методы сокращения выбросов NO_x

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Корректировки процесса горения	Применимо в стандартных стекловаренных печах, работающих на смеси воздух-топливо.
1.1. Уменьшение соотношения воздух-топливо	Выгоду в полной мере можно извлечь при обычной или полной реконструкции печи, в сочетании с оптимальной конструкцией и геометрией печи.
1.2. Пониженная температура воздуха для системы сгорания	Применимо только в присущих конкретной системе обстоятельствах вследствие меньшей эффективности печи и более высоких требований к топливу (то есть вместо регенеративных печей используются рекуперативные печи).
1.3. Ступенчатое сжигание: • Ступенчатая подача воздуха • Ступенчатое сжигание топлива	Ступенчатое сжигание топлива применимо в большинстве стандартных стекловаренных печей, работающих на смеси воздух-топливо. Ступенчатая подача воздуха имеет очень ограниченную возможность использования вследствие ее технической сложности.
1.4. Рециркуляция топочного газа	Возможность использования этого технологического метода ограничивается использованием специальных горелок с автоматической рециркуляцией отработавшего газа.
1.5. Горелки с низким выходом оксидов азота	Технологический метод общеприменим. Достижимые экологические выгоды обычно бывают меньшими при применении печей с поперечным направлением пламени, газовых печей вследствие технических ограничений и меньшей гибкости печи. Максимальную выгоду можно извлечь при обычной или полной реконструкции печи, в сочетании с оптимальной конструкцией и геометрией печи.
1.6. Возможность выбора	Возможность использования ограничивается доступно-

Технологические методы (¹)	Возможность использования
топлива	стью различных типов топлива, на которую может влиять энергетическая политика
2. Специальная конструкция печи	Возможность использования ограничивается химическими составами шихты, которые содержат высокие уровни привозного стекольного боя (> 70 %). Применение требует полной реконструкции стекловаренной печи. Форма печи (длинная и узкая) может вносить ограничения по габаритным размерам.
3. Плавка в электропечи	Не применимо для крупносерийных производств стекольной продукции (>300 т/сутки). Не применимо для производств, требующих больших изменений производительности стекловаренной печи. Реализация требует полной реконструкции печи.
4. Стекловарение с использованием горения топлива в кислороде	Максимальные экологические выгоды достигаются во время полной реконструкции печи.
5. Избирательное каталитическое восстановление (SCR)	Применение может потребовать обновления системы снижения запыленности с целью обеспечения концентрации пыли ниже 10 - 15 мг/нм ³ и системы десульфуризации для удаления выбросов оксида серы. С учётом оптимального промежутка рабочих температур, возможность использования ограничивается использованием электростатических пылеуловителей. Как правило, технологический метод не используется с системой мешочных пылеуловителей, потому что низкая рабочая температура в интервале 180 – 200 °С, потребовала бы подогрева отработавших газов. Реализация технологического метода может потребовать наличия значительного пространства.
6. Избирательное некатали-	Технологический метод применим для рекуперативных

Технологические методы (¹)	Возможность использования
тическое восстановление (SNCR)	печей. Очень ограниченная возможность использования в стандартных регенеративных печах, в которых сложно достичь правильного температурного окна или хорошего перемешивания топочных газов с реагентом. Может быть применим в новых регенеративных печах, снабженным двухпоточными регенераторами; однако, температурное окно сложно поддерживать в результате изменение направления нагрева между камерами, что вызывает циклическое изменение температуры.
7. Технологические методы снижения выбросов нитратов, если они содержатся в составе шихты: • Снижение использования нитратов в химическом составе шихты. Нитраты применяются для производства очень высококачественных продуктов (то есть, наборов флаконов, парфюмерных флаконов для духов и контейнеров для косметики). Эффективными альтернативными материалами являются сульфаты, оксиды мышьяка, оксид церия. Применение модификаций процесса (например, специальные окислительные условия сгорания) предоставляет	Замена нитратов в химическом составе шихты может быть ограничена высокой стоимостью и/или более сильным воздействием на окружающую среду альтернативных материалов.

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
альтернативу использованию нитратов.	
⁽¹⁾ Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.2.	

Таблица 5.23: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов окиси азота из стекловаренной печи в секторе тарного стекла

Параметр	Наилучшие доступные технологические методы	Уровень атмосферных выбросов НДТМ	
		мг/м ³	кг/т расплавленного стекла ⁽¹⁾
NO _x вы- раженный в виде NO ₂	Изменение процесса горения, специальные конструкции ⁽²⁾ ⁽³⁾ печи	500 - 800	0,75 - 1,2
	Плавка в электропечи	<100	<0,3
	Стекловарение с использованием горения топлива в кислороде ⁽⁴⁾	Не применимо	<0,5 - 0,8
	Вспомогательные технологические методы	<500	<0,75
	Основные технологические методы сокращения нитратов в составе шихты	<1000	<3

⁽¹⁾ Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 для общих случаев (1.5×10^{-3}), за исключением плавки в электропечи (конкретные случаи: 3×10^{-3}).

⁽²⁾ Нижнее значение относится к использованию специальных конструкций печи, когда это применимо.

⁽³⁾ Эти значения должны быть пересмотрены по случаю обычной или полной реконструкции стекловаренной печи.

⁽⁴⁾ Достижимые уровни зависят от качества природного газа и наличия кислорода (содержание азота).

5.2.3 Оксиды серы (SO_x) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы оксида серы из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.24, до уровня, ниже приведенного в таблице 5.25.

Таблица 5.24. Методы уменьшения выбросов серы

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
1. Сухая или полусухая газоочистка в сочетании с использованием системы фильтрации	Технологический метод общеприменим
2. Минимизация содержания серы в химическом составе шихты и оптимизация баланса серы	Минимизация содержания серы в химическом составе шихты общеприменима в рамках ограничения требований к уровню качества готовой стекльной продукции. Применение оптимизации баланса серы требует компромиссного подхода между удалением выбросов оксида серы и управлением ликвидацией твердых отходов (пыль из фильтров). Эффективное уменьшение выбросов оксида серы зависит от фиксации сернистых соединений в стекле, которое может значительно изменяться в зависимости от типа стекла.
3. Использование низкосернистых видов топлива	Возможность использования может быть уменьшена из-за ограничений, связанных с доступностью топлива с низким содержанием серы, на что может влиять энергетическая политика.

Таблица 5.25: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов оксида серы из стекловаренной печи в секторе тарного стекла

Параметр	Топливо	Уровень атмосферных выбросов НДТМ (1) (2)	
		мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла (3)

SO _x выраженный в виде SO ₂	Природный газ	<200 - 500	<0,3 - 0,75
	Топочный мазут (⁴)	<500 - 1200	<0,75 - 1,8
(¹) Для специальных типов цветных стекол (например, стекло "разбавленная зелень") могут потребоваться исследования баланса серы. Значения, приведенные в таблице, могут быть труднодостижимыми в сочетании с повторным использованием пыли из фильтров и степени переработки привозного стекольного боя. (²) Более низкие уровни связаны с условиями, когда уменьшение оксида серы имеет более высокий приоритет над созданием меньшего количества твердых отходов, соответствующих богатой сульфатом пыли из фильтров. (³) Для общих случаев был применен пересчетный коэффициент ($1,5 \times 10^{-3}$), приведенный в Таблице 5.2. (4) Связанные уровни выбросов загрязняющего вещества имеют отношение к использованию топочного мазута с 1 % содержанием серы в сочетании с мерами борьбы с вторичным загрязнением.			

5.2.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы HCl и HF из стекловаренной печи (возможно в сочетании с топочные газы от деятельности, связанной с нанесением покрытия на входе в лер) путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.26, до уровней, ниже приведенных в таблице 5.27.

Таблица 5.26. Методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Выбор сырья для состава шихты с низким содержанием хлора и фтора	Возможность использования может быть уменьшена из-за ограничений со стороны типа стекла, произведенного в установке и доступности сырья
2. Сухая или полусухая газоочистка в сочета-	Технологический метод общеприменим

нии с использованием системы фильтрации	
⁽¹⁾ Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.4.	

Таблица 5.27: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов HCl и HF из стекловаренной печи в секторе тарного стекла

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ	
	мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла (1)
Хлористый водород, выраженный в виде HCl (2)	<10 - 20	<0,02 - 0,03
Фтористый водород, выраженный в виде HF	<1 - 5	<0,001 - 0,008
⁽¹⁾ Был применен пересчетный коэффициент для общих случаев, который приводится в Таблице 5.2 (1,5 x 10 ⁻³).		
⁽²⁾ Более высокие уровни связаны с одновременной обработкой топочных газов от работ нанесения покрытия на входе в лер.		

5.2.5 Металлы из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы металлов из стекловаренной печи путем использования один или комбинация технологических методов, приведенных в таблице 5.28, до уровней, приведенных в таблице 5.29.

Таблица 5.28. Методы сокращения выбросов металлов

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Выбор сырья для состава шихты с низким содержанием металла	Возможность использования может быть снижена из-за ограничений, налагаемых типом стекла, произведенного в установке, и доступности сырья
2. Уменьшение использования металлов соединения в составе шихты, где окраска и обесцвечивание стекла необходимы согласно требованиям пользователя к уровню качества стекла	
3. Применение системы фильтрации (мешочный	Технологический метод обще-

Технологические методы (¹)	Возможность использования применим
фильтр или электростатический пылеуловитель)	
4. Применение сухой или полусухой газоочистки в сочетании с использованием системы фильтрации	
⁽¹⁾ Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.5.	

Таблица 5.29: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для металлов в выбросах из стекловаренной печи в секторе тарного стекла

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾	
	мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла ⁽⁴⁾
S (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI)	<0,2 - 1 (5)	<0,3 - 1,5 x 10 ⁻³
S (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI Sb, Pb, CrIII, Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<1,5 - 7,5 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Уровни, относящиеся к количеству металлов, присутствующих в настоящее время в топочных газах, как в твердых, так и в газообразных фазах.

⁽²⁾ Более низкие уровни – это уровни атмосферных выбросов НДТМ, когда металлические соединения умышленно не используются в составе шихты.

⁽³⁾ Более высокие уровни связаны с использованием металла для окраски или обесцвечивания стекла, или когда топочные газы от работ по нанесению покрытия на входе в лер обрабатываются вместе с выбросами загрязняющего вещества из стекловаренной печи.

⁽⁴⁾ Был применен пересчетный коэффициент для общих случаев, приведенный в Таблице 5.2 (1,5 x 10⁻³).

⁽⁵⁾ В конкретных случаях, когда выпускается высококачественное бесцветное стекло, для чего требуется большее количество селена для обесцвечивания стекла (в зависимости от сырья), известно о более высоких значениях, до 3 мг/нм³.

5.2.6 Выбросы загрязняющего вещества от последующих технологических процессов

Когда соединения олова, титана или оловоорганические соединения используются для работ по нанесению покрытия на входе в лер, наилучшие доступные технологические методы должны уменьшить выбросы загрязняющего вещества путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.30, до уровня, ниже приведенного в таблице 5.31.

Таблица 5.30. Методы сокращения выбросов в последующих технологических операциях

Технологические методы	Возможность использования
1. Уменьшение потерь покрываемого продукта, обеспечивая хорошее уплотнение системы, и применяя эффективную вытяжку. Хорошая конструкция и уплотнение системы имеют большое значение для того, чтобы ограничить потери непрореагировавшего продукта в воздух.	Технологический метод общеприменим
2. Соединение топочного газа от операций по нанесению покрытия с отработавшим газом из стекловаренной печи или с воздухом для системы сгорания печи, при применении вспомогательной системы очистки (фильтр и скруббер сухой очистки или скруббер полусухой очистки). На основе химической совместимости, отработавшие газы от операций по нанесению покрытия перед обработкой могут связываться с другими топочными газами. Могут быть применены следующие две опции: • комбинация с топочными газами из стекловаренной печи до системы очистки вторичных выбросов (сухая или полусухая газоочистка плюс система фильтрации) • комбинация с воздухом для системы сгорания до входа в регенератор, за которой следует обработка вторичных	Комбинация с топочными газами от стекловаренной печи общеприменима. Комбинация с воздухом для системы сгорания может подвергаться техническим ограничениям вследствие некоторых потенциальных воздействий на химический состав стекла и на материалы регенератора.

Технологические методы	Возможность использования
выбросов отработавших газов, создаваемых во время процесса стекловарения (сухая или полусухая газоочистка плюс система фильтрации)	
3. Применение вспомогательного технологического метода, например, мокрая очистка газа, сухая газоочистка плюс фильтрация ⁽¹⁾	Технологический метод общеприменим
⁽¹⁾ Описание технологических методов приводится в Разделах 5.9.4 и 5.9.7.	

Таблица 5.31: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов вредных веществ в атмосферу от деятельности по нанесению покрытия на входе в лер в секторе производства тарного стекла, когда топочные газы от последующих операций обрабатываются отдельно

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ, мг/нм ³
Пыль	<10
Титановые соединения, выраженные в виде Ti	<5
Соединения олова, включая оловоорганические, выраженные в виде Sn	<5
Хлористый водород, выраженный в виде HCl	<30

Когда SO₃ используется для операций по обработке поверхности, наилучшие доступные технологические методы должны уменьшить выбросы загрязняющего вещества оксида серы путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.32, до уровня, ниже приведенного в таблице 5.33.

Таблица 5.32. Методы сокращения выбросов серы

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
1. Уменьшение потерь продукта, обеспечивая хорошее уплотнение системы. Хорошая конструкция и уплотне-	Технологический метод общеприменим

Технологические методы (¹)	Возможность использования
ние системы имеют большое значение для того, чтобы ограничить потери непрореагировавшего продукта в воздух.	
2. Применение вспомогательного технологического метода, например, мокрая очистка газа	
(¹) Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.6.	

Таблица 5.33: Уровень атмосферных выбросов НДТМ для выбросов оксида серы от последующих действий, когда SO₃ используется для операций по обработке поверхности в секторе тарного стекла, при отдельной обработке

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ, мг/нм ³
Оксид серы, выраженный в виде SO ₂	<100 - 200

5.3 Выводы о наилучших доступных технологических методах для производства листового стекла

Если не указано особо, выводы о наилучших доступных технологических методах, приведенные в этом разделе, могут быть применены ко всем предприятиям по производству листового стекла.

5.3.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы пыли от отработавших газов стекловаренной печи, применяя электростатический пылеуловитель или систему мешочных пылеуловителей, до уровня, приведенного в таблице 5.34. Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.1.

Таблица 5.34. Допустимые выбросы пыли.

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ
----------	-----------------------------------

	мг/м ³	кг/т расплавленного стекла (¹)
Пыль	<10 - 20	<0,025 - 0,05
(1) Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 ($2,5 \times 10^{-3}$).		

5.3.2 Оксиды азота (NO_x) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы загрязняющего вещества окиси азота от стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.35, и обеспечить уровни выбросов, ниже приведенных в таблице 5.36.

Таблица 5.35. Методы сокращения выбросов оксидов азота

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Модификации процесса горения	
1.1. Уменьшение соотношения воздух-топливо	Применимо для стандартных стекловаренных печей, работающих на смеси воздух-топливо. Максимальная выгода достигается при обычной или полной реконструкции печи, в сочетании с оптимальной конструкцией и геометрией печи
1.2. Пониженная температура воздуха, поступающего в зону горения	Возможность использования ограничивается печами небольшой емкости для производства специального листового стекла и присущими конкретной системе обстоятельствами вследствие меньшей эффективности печи и более высоким требованиям к топливу (то есть используйте рекуперативные печи вместо регенеративных печей).
1.3. Ступенчатое сжигание: Ступенчатая подача воздуха	Ступенчатое сжигание топлива применимо в большинстве стандартных стекловаренных печей, работающих на смеси воздух-топливо.

Технологические методы (¹)	Возможность использования
• Ступенчатое сжигание топлива	Ступенчатая подача воздуха имеет очень ограниченную возможность использования вследствие ее технической сложности.
1.4. Рециркуляция топочного газа	Возможность использования этого технологического метода ограничивается использованием специальных горелок с автоматической рециркуляцией отработавшего газа.
1.5. Горелки с низким выходом оксидов азота	Технологический метод общеприменим. Достижимые экологические выгоды обычно бывают меньшими при применении печей с поперечным направлением пламени, газовых печей вследствие технических ограничений и меньшей гибкости печи. Максимальную выгоду можно извлечь при обычной или полной реконструкции печи, в сочетании с оптимальной конструкцией и геометрией печи.
1.6. Возможность выбора топлива	Возможность использования ограничивается доступностью различных типов топлива, на которую может влиять энергетическая политика государства-члена.
2. Процесс Fenix Базируется на комбинации нескольких основных технологических методов для оптимизации процесса горения стекловаренных ванн регенеративных печей с поперечным направлением пламени для варки флоат-стекла. Главные особенности: • уменьшение количества из-	Возможность использования ограничивается стекловаренными ваннами регенеративными печами с поперечным направлением пламени. Применимо к новым печам. При полной реконструкции действующих печей требуется непосредственно интегрировать технологический метод во время конструирования и строительства печи.

Технологические методы (¹)	Возможность использования
быточного воздуха • подавление зон максимальных температур в зоне варки и гомогенизация температур пламени • контролируемое смешивание топлива и воздуха для системы сгорания	
3. Стекловарение с использованием горения топлива в кислороде	Максимальные экологические выгоды достигаются во время полной реконструкции печи
4. Химическое восстановление при помощи топлива	Применимо для регенеративных печей. Возможность использования ограничивается повышенным расходом топлива и последующим воздействием на окружающую среду и экономическим эффектом
5. Избирательное каталитическое восстановление (SCR)	Для применения может потребоваться обновление системы снижения запыленности для обеспечения концентрации пыли ниже 10 - 15 мг/нм³ и системы десульфуризации для удаления выбросов оксида серы. Из-за оптимального диапазона рабочих температур возможность использования ограничивается использованием электростатических пылеуловителей. Как правило, технологический метод не используется с системой мешочных пылеуловителей, потому что из-за низкой рабочей температуры 180 – 200 °С может потребоваться подогрев отработавших газов. Для реализации технологического метода может потребоваться наличие значительного пространства.

Технологические методы (¹)	Возможность использования
6. Уменьшение использования нитратов в составе шихты. Использование нитратов применяется для выпуска специальных видов продукции (то есть, цветное стекло). Эффективными альтернативными материалами являются сульфаты, оксиды мышьяка, оксид церия.	Замена нитратов в составе шихты может быть ограничена высокой стоимостью и/или более сильным воздействием на окружающую среду альтернативных материалов.
(¹) Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.2.	

Таблица 5.36. Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов оксидов азота из стекловаренной печи в секторе листового стекла

Параметр	Наилучшие доступные технологические методы	Уровень атмосферных выбросов НДТМ (¹)	
		мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла (²)
NO _x выраженный в виде NO ₂	Модификации процесса горения, процесс Fenix (³)	700 - 800	1,75 - 2,0
	Стекловарение с использованием горения топлива в кислороде (⁴)	Не применимо	<1,25 - 2,0
	Вспомогательные технологические методы (⁵)	400 - 700	1,0 - 1,75
	Основные технологические методы, если в составе шихты используются нитраты	<1200	<3

(¹) Предполагаются более высокие уровни выбросов загрязняющего вещества при периодическом использовании нитратов для производства специальных стекол.

(²) Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 ($2,5 \times 10^{-3}$).

(³) Применению процесса Fenix соответствуют более низкие уровни из диапазона.

(⁴) Доступные уровни зависят от качества имеющихся в наличии природного газа и кис-

лорода (содержание азота).

(⁵) Более высокие уровни из диапазона соответствуют действующими предприятиями до проведения обычной или полной реконструкции стекловаренной печи. Более низкие уровни соответствуют более новым/реконструированным предприятиям.

5.3.3 Оксиды серы (SO_x) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы оксида серы из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.37, до уровня, ниже приведенного в таблице 5.38.

Таблица 5.37. Методы сокращения выбросов оксидов серы.

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Сухая или полусухая газоочистка в сочетании с использованием системы фильтрации	Технологический метод общеприменим
2. Минимизация содержания серы в составе шихты и оптимизация баланса серы	Минимизация содержания серы в составе шихты является общеприменимой практикой в рамках ограничения требований к уровню качества готовой стекольной продукции. Применение оптимизации баланса серы требует компромиссного подхода между удалением выбросов оксида серы и управлением ликвидацией твердых отходов (пыль из фильтров).
3. Использование топлива с низким содержанием серы	Возможность использования может быть уменьшена из-за ограничений, связанных с доступностью топлива с низким содержанием серы, на что может влиять энергетическая политика.
(¹) Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.3.	

Таблица 5.38. Допустимый уровень выбросов оксидов серы

Параметр	Топливо	Уровень атмосферных выбросов НДТМ ⁽¹⁾	
		мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла ⁽²⁾
SO _x , выраженный в виде SO ₂	Природный газ	<300 - 500	<0,75 - 1,25
	Топочный мазут ⁽³⁾ ⁽⁴⁾	500 - 1300	1,25 - 3,25
⁽¹⁾ Более низкие уровни связаны с условиями, при которых уменьшение оксида серы имеет более высокий приоритет, чем снижение образования твердых отходов, соответствующих богатой сульфатом пыли из фильтров. ⁽²⁾ Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 ($2,5 \times 10^{-3}$). ⁽³⁾ Связанные уровни выбросов загрязняющего вещества относятся к использованию топочного мазута с 1 %-ым содержанием серы в качестве резервного топлива в сочетании с мерами борьбы с вторичным загрязнением. ⁽⁴⁾ Для больших печей для производства листового стекла проблемы, относящиеся к доступным уровням выбросов загрязняющего вещества, могут потребовать исследования баланса серы. Значения, приведенные в таблице, возможно, будет сложно достичь в сочетании с повторным использованием пыли из фильтров.			

5.3.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшить выбросы HCl и HF из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.39, и обеспечивать уровни выбросов, ниже приведенных в таблице 5.40.

Таблица 5.39. Методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
1. Выбор сырья для состава шихты с низким содержанием хлора и фтора	Возможность использования может быть снижена из-за ограничений со стороны типа стекла, произведенного в установке, и доступности сырья

2. Сухая или полусухая газоочистка, в сочетании с использованием системы фильтрации	Технологический метод общеприменим
⁽¹⁾ Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.4.	

Таблица 5.40: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов HCl и HF из стекловаренной печи в секторе листового стекла

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ	
	мг/м ³	кг/т расплавленного стекла ⁽¹⁾
Хлористый водород, выраженный в виде HCl ⁽²⁾	<10 - 25	<0,025 - 0,0625
Фтористый водород, выраженный в виде HF	<1 - 4	<0,0025 - 0,010
⁽¹⁾ Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 (2.5×10^{-3}).		
⁽²⁾ Более высокие уровни в диапазоне значений связаны с повторным использованием пыли из фильтров, входящей в состав шихты.		

5.3.5 Металлы из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы металлов из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.41, и обеспечивать уровни выбросов, ниже приведенных в таблице 5.42.

Таблица 5.41. Методы сокращения выбросов металлов

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
1. Выбор сырья для состава шихты с низким содержанием металла	Возможность использования может быть снижена из-за ограничений со стороны типа стекла, произведенного в установке, и доступности сырья.
2. Применение системы фильтрации	Технологический метод общеприменим
3. Применение сухой или полусухой газо-	

очистки, в сочетании с использованием системы фильтрации	
⁽¹⁾ Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.5.	

Таблица 5.42: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов металлов из стекловаренной печи в секторе листового стекла, за исключением стекол окрашенных селеном

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла ⁽²⁾
S (As, Co, Ni, Cd, Se, Crw)	<0,2 - 1	<0,5 - 2,5 x 10 ⁻³
S (As, Co, Ni, Cd, Se, CrvI, Sb, Pb, Crm, Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<2,5 - 12,5 x 10 ⁻³
⁽¹⁾ Интервалы, относящиеся к общему количеству металлов, присутствующих в топочных газах в твердой и в газообразной фазах.		
⁽²⁾ Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 (2,5 x 10 ⁻³)		

Когда для окрашивания стекла используются соединения селена, наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы селена из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.43, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.44.

Таблица 5.43. Методы сокращения выбросов селена

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
1. Уменьшение испарения селена из состава шихты, путем выбора сырья с более высокой эффективностью удержания в стекле и уменьшенным испарительным переносом	Возможность использования может быть снижена из-за ограничений со стороны типа стекла, произведенного в установке, и доступности сырья
2. Применение системы фильтрации	Технологический метод общеприменим
3. Применение сухой или полусухой газо-	

очистки в сочетании с использованием системы фильтрации	
⁽¹⁾ Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.5.	

Таблица 5.44: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов селена из стекловаренной печи в секторе листового стекла для производства цветного стекла

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
	мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла ⁽³⁾
Соединения селена, выраженные в виде Se	1 - 3	2,5 - 7,5 x 10 ⁻³
⁽¹⁾ Значения, относящиеся к общему количеству селена, присутствующего в топочных газах в твердых и в газообразных фазах. ⁽²⁾ Более низкие уровни связаны с условиями, когда уменьшение выбросов Se имеет более высокий приоритет над созданием меньшего количества твердых отходов от пыли из фильтров. В этом случае, применяется высокое стехиометрическое соотношение (реагент/загрязнитель), и создается значительный поток твердых отходов. ⁽³⁾ Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 (2,5 x 10 ⁻³).		

5.3.6 Выбросы загрязняющего вещества от последующих технологических процессов

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выброс загрязнителей в воздух от последующих технологических процессов путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.45, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.46.

Таблица 5.45. Методы сокращения выбросов от последующих операций

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
1. Уменьшение потерь продуктов для покрытия, наносимого на листовое стекло, обеспечивая хорошее уплотне-	Технологический метод общеприменим

Технологические методы (¹)	Возможность использования
ние системы	
2. Уменьшение потерь SO ₂ от лера для отжига, обеспечивая функционирование системы управления оптимальным образом	
3. Объединение выбросов SO ₂ из печи для отжига стекла с отработавшим газом из стекловаренной печи, когда это технически выполнимо, и там, где применяется вспомогательная система очистки (фильтр и скруббер сухой или полусухой очистки)	
4. Применение вспомогательного технологического метода, например, мокрая очистка газа, или сухая очистка газа и фильтрация	Технологический метод общеприменим. Выбор технологического метода и его выполнение будет зависеть от состава входящего отработавшего газа
(¹) Описание вспомогательных систем очистки приводится в Разделах 5.9.3 и 5.9.6.	

Таблица 5.46: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов вредных веществ в атмосферу от последующих технологических процессов в секторе производства листового стекла при раздельной обработке

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ, мг/нм ³
Пыль	<15-20
Хлористый водород, выраженный в виде HCl	<10
Фтористый водород, выраженный в виде HF	<1 - 5
Оксид серы, выраженный в виде SO ₂	<200
S (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI)	<1
S (As, Co, Ni, Cd, Se, Ovi, Sb, Pb, Crm, Cu, Mn, V, Sn)	<5

5.4 Выводы о наилучших доступных технологических методах для производства стекловолокна из непрерывной нити

Если не указано особо, выводы о наилучших доступных технологических методах, представленных в этом разделе, могут быть применены на всех предприятиях обрабатывающей промышленности стекловолокна из непрерывной нити.

5.4.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей

Уровни атмосферных выбросов НДТМ, приведенные для пыли в этом разделе, относятся ко всем материалам, твердым в точке измерения, включают твердые соединения бора. Газообразные соединения бора в точке измерения при подсчёте не учитываются.

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы пыли из отработавших газов стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.47, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.48.

Таблица 5.47. Методы сокращения выбросов пыли

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Уменьшение количества летучих компонентов путем изменений сырьевого материала. Составы шихты без соединений бора или с низким содержанием бора является основной мерой уменьшения выбросов пыли, которые главным образом вызываются явлениями испарительного переноса. Бор является основным элементом твёрдых частиц, выделяемых из стекловаренной печи.	Применение технологического метода ограничивается проблемами патентного характера, так как составы шихты без бора или составы шихты низкого бора охраняются патентом.
2. Система фильтрации: электростатический	Технологический метод общеприменим.

Технологические методы ⁽¹⁾	Возможность использования
пылеуловитель или мешочный фильтр	Максимальные экологические выгоды достигаются при применении на новых предприятиях, на которых позиционирование и характеристики фильтра могут быть выбраны без ограничений.
3. Система мокрой очистки газа	Применение на действующих предприятиях может ограничено техническими трудностями; то есть, необходимость в специальной станции по очистке сточных вод.
(1) Описание вспомогательных систем очистки приводится в Разделах 5.9.1 и 5.9.7.	

Таблица 5.48: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов пыли из стекловаренной печи в секторе производства стекловолокна из непрерывной нити

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла ⁽²⁾
Пыль	<10 - 20	<0,045 - 0,09
⁽¹⁾ Сообщается о значениях на уровне <30 мг/нм ³ (<0,14 кг/т расплавленного стекла) для химических составов без бора, при применении основных технологических методов. ⁽²⁾ Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$).		

5.4.2 Оксиды азота (NO_x) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы NO_x из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.49, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.50.

Таблица 5.49. Методы сокращения выбросов оксидов азота

Технологические методы (¹)		Возможность использования
1. Изменения процесса горения		
1.1	Уменьшение соотношения воздух-топливо	Применимо к стандартным стекловаренным печам, работающим на смеси воздух-топливо. Максимальные выгоды достигаются при обычной или полной реконструкции печи в сочетании с оптимальной конструкцией и геометрией печи.
1.2	Пониженная температура воздуха, поступающего в зону горения	Применимо для стандартных стекловаренных печей, работающих на смеси воздух-топливо в пределах ограничения энергоэффективности печи и более высоких требований к топливу. Большинство печей уже являются рекуперативными.
1.3	Ступенчатое сжигание: • Ступенчатая подача воздуха • Ступенчатое сжигание топлива	Ступенчатое сжигание топлива применимо в большинстве стекловаренных печей, работающих на смеси воздух-топливо и рекуперативных печах с кислородным дутьем. Ступенчатая подача воздуха имеет очень ограниченную возможность использования вследствие ее технической сложности.
1.4	Рециркуляция топочного газа	Возможность использования этого технологического метода ограничивается использованием специальных горелок с автоматической рециркуляцией отработавшего газа.
1.5	Горелки с низким выходом оксидов азота	Технологический метод общеприменим. Максимальные выгоды достигаются при обычной или полной реконструкции печи в сочетании с оптимальной конструкцией и геометрией печи.
1.6	Выбор топлива	Возможность использования ограничивается доступностью различных типов топлива, на которую может влиять энергетическая политика.
2. Стекловарение с использова-		Максимальные экологические выгоды достигаются

Технологические методы (¹)	Возможность использования
нием горения топлива в кислороде	во время полной реконструкции печи.
(¹) Описание технологических методов приводится в Разделе 5.9.2.	

Таблица 5.50: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов NO_x из стекловаренной печи в секторе производства стекловолокна из непрерывной нити

Параметр	Наилучшие доступные технологические методы	Уровень атмосферных выбросов НДТМ	
		мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла
Оксиды азота, выраженные в виде NO ₂	Изменения процесса горения	<600 - 1000	<2,7 - 4,5 (¹)
	Стекловарение с использованием горения топлива в кислороде (²)	Не применимо	<0,5 - 1,5
(¹) Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 (4.5×10^{-3}).			
(²) Доступные уровни зависят от качества природного газа и применимого кислорода (содержание азота).			

5.4.3 Оксиды серы (SO_x) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшить выбросы SO_x из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.51, до уровней ниже приведенных в таблице 5.52.

Таблица 5.51. Методы сокращения выбросов оксидов серы

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Минимизация содержания серы в составе шихты и оптимизация баланса серы	Технологический метод общеприменим в рамках ограничений, накладываемых требованиями к уровню качества готовой стекольной продукции. При использовании оптимизации баланса серы требуется компромиссный подход между удалением выбросов оксида серы и управ-

Технологические методы (¹)	Возможность использования
	лением ликвидацией твердых отходов (пыль от фильтров), которая должна быть утилизирована
2. Использование топлива с низким содержанием серы	Возможность использования может быть снижена из-за ограничений, связанных с доступностью топлива с низким содержанием серы, на что может влиять энергетическая политика.
3. Сухая или полусухая очистка газа в сочетании с использованием системы фильтрации	Технологический метод общеприменим. Присутствие высоких концентраций соединений бора в топочных газах может ограничить эффективность борьбы с загрязнением реагента, используемого в системах сухой или полусухой очистки газа.
4. Использование мокрой очистки газа	Технологический метод общеприменим в пределах технических ограничений; то есть существует необходимость в использовании специализированной станции по очистке сточных вод
(¹) Описание технологических методов приводится в Разделах 5.9.3 и 5.9.6.	

Таблица 5.52. Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов оксида серы из стекловаренной печи в секторе производства стекловолокна из непрерывной нити

Параметр	Топливо	Уровень атмосферных выбросов НДТМ (¹)	
		мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла (²)
Оксид серы, выраженный в виде SO ₂	Природный газ (³)	<200 - 800	<0,9 - 3,6
	Топочный мазут (⁴) (⁵)	<500 - 1000	<2,25 - 4,5
(¹) Более высокие уровни в диапазоне связаны с использованием сульфатов в составе шихты для осветления стекломассы. (²) Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$). (³) Для рекуперативных печей с кислородным дутьем с применением мокрой очистки газа, уровень атмосферных выбросов НДТМ, как сообщают, равняется <0,1 кг оксида серы, выраженного в виде SO₂, на тонну расплавленного стекла.			

(⁴) Связанные уровни выбросов загрязняющего вещества имеют отношение к использованию топочного мазута с 1 %-ым содержанием серы в качестве резервного топлива в сочетании с мерами борьбы с вторичным загрязнением.

(⁵) Более низкие уровни соответствуют состояниям, при которых уменьшение оксида серы является более приоритетным по отношению к уменьшению образования твердых отходов, представляющих собой богатую сульфатом пыль из фильтров. В этом случае более низкие уровни связаны с использованием мешочного фильтра.

5.4.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы HCl и HF из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.53, и обеспечить уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.54.

Таблица 5.53. Методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Выбор сырья для состава шихты с низким содержанием хлора и фтора	Технологический метод общеприменим в рамках ограничений на состав шихты и доступности сырья
2. Минимизация содержания фтора в составе шихты. Минимизация выбросов фтора от процесса стекловарения может быть достигнута следующим образом: • ограничение/уменьшение количества соединений фтора (например, флюорита), используемых в составе шихты, до минимума, соразмерного с качеством конечного продукта. Соединения фтора используются для оптимизации процесса стекловарения, для содействия волоконообразованию и ограничения обрыва	Замена соединений фтора альтернативными материалами ограничена требованиями к уровню качества продукта

Технологические методы (¹)	Возможность использования
нити • замена соединений фтора альтернативными материалами (например, сульфатами)	
3. Сухая или полусухая очистка газа, в сочетании с использованием системы фильтрации	Технологический метод общеприменим
4. Мокрая очистка газа	Технологический метод общеприменим в пределах технических ограничений; то есть существует необходимость в использовании специализированной станции по очистке сточных вод
(¹) Описание технологических методов приводится в Разделах 5.9.4 и 5.9.6.	

Таблица 5.54: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов HCl и HF из стекловаренной печи в секторе производства стекловолокна из непрерывной нити

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ	
	мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла (¹)
Хлористый водород, выраженный в виде HCl	<10	<0,05
Фтористый водород, выраженный в виде HF (²)	<5 - 15	<0,02 - 0,07
(¹) Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$). (²) Более высокие уровни диапазона связаны с использованием соединений фтора в составе шихты.		

5.4.5 Металлы из стекловаренных печей

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы металлов из стекловаренной печи путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.55, и обеспечивать уровень выбросов ниже приведенных в таблице 5.56.

Таблица 5.55. Методы сокращения выбросов металлов

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Выбор сырья для состава шихты с низким содержанием металлов	Технологический метод общеприменим в пределах ограничений со стороны доступности сырья
2. Применение сухой или полусухой очистки газа, в сочетании с использованием системы фильтрации	Технологический метод общеприменим
3. Применение мокрой очистки газа	Технологический метод общеприменим в пределах технических ограничений; то есть существует необходимость в использовании специализированной станции по очистке сточных вод
(¹) Описание технологических методов приводится в Разделах 5.9.5 и 5.9.6.	

Таблица 5.56: Уровни атмосферных выбросов НДТМ для выбросов металлов из стекловаренной печи в секторе производства стекловолокна из непрерывной нити

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ (¹)	
	мг/нм ³	кг/т расплавленного стекла (²)
S (As, Co, Ni, Cd, Se, Crw)	<0.2 - 1	<0,9 - 4,5 x 10 ⁻³
S (As, Co, Ni, Cd, Se, Crw, Sb, Pb, Crm, Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 3	<4,5 - 13,5 x 10 ⁻³
(1) Уровни относятся к общему количеству металла, присутствующего в топочных газах и в твердых, и в газообразных фазах.		
(2) Был применен пересчетный коэффициент, приведенный в Таблице 5.2 (4,5 x 10 ⁻³).		

5.4.6 Выбросы загрязняющего вещества от последующих технологических процессов

Наилучшие доступные технологические методы должны уменьшать выбросы загрязняющего вещества от последующих технологических процессов путем использования одного или комбинации технологических методов, приведенных в таблице 5.57, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.58.

Таблица 5.57. Методы сокращения выбросов последующих технологических операций

Технологические методы (¹)	Возможность использования
1. Системы мокрой очистки газа	Технологический метод общеприменим для обработки отработавших газов от процесса формования, нанесения покрытия на волокна или вспомогательных процессов, в которых используется связующий компонент, который должен быть отвержден или высушен
2. Влажный электростатический пылеуловитель	
3. Система фильтрации (мешочный фильтр)	Технологический метод общеприменим для обработки отработавших газов от процесса резания и фрезеровочных работ
(¹) Описание технологических методов приводится в Разделах 5.9.7 и 5.9.8.	

Таблица 5.58: Уровни атмосферных выбросов НДТМ от последующих технологических процессов в секторе производства стекловолокна из непрерывной нити при последующей обработке

Параметр	Уровень атмосферных выбросов НДТМ, мг/нм ³
Выбросы загрязняющего вещества от процессов формирования и нанесения покрытия	
Пыль	<5 - 20
Формальдегид	<10
Аммиак	<30
Общее количество летучих органических соединений, выраженное в виде С	<20
Выбросы загрязняющего вещества от резания и фрезерования	
Пыль	<5 - 20

5.5 Заключение НДТ для производства стеклянной посуды

До представления иных заключений по лучшим технологиям, заключения НДТ, приведенные в данном разделе, могут применяться всеми предприятиями по производству стеклянной посуды

5.5.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей

НДТ должны сократить выбросы пыли из отходящих газов стекловаренной печи за счет использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.59, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.60.

Таблица 5.59. Методы сокращения выбросов пыли

Технология (1)	Условия применения
1. Сокращение летучих компонентов за счет изменения сырьевого материала. В составе материала могут быть очень летучие компоненты (например, бор, фтористые соединения), которые значительно способствуют процессу выброса пыли из стекловаренной печи	Эта технология применяется обычно с ограничениями, связанными с типом производимого стекла и наличием заменяемых материалов
2. Стекловарение в электрической печи	Не применима при больших объемах производства стекла (более 300 тонн в сутки). Не применима в случае больших изменений натяжения. Внедрение требует полной реконструкции печи
3. Плавка на основе кислородного топлива	Максимальный природоохранный эффект достигается после полной реконструкции печи
4. Система фильтрации: мешковый фильтр или электростатический фильтр	Обычно эта технология применима
5. Система влажной очистки	Применимость ограничена особыми случаями, в частности, при использовании электрических стекловаренных печей, где объемы выбросов

	дымовых газов и пыли обычно низкие и связаны с примесями в исходных материалах
(1) Описание технологии приведено в Разделах 5.9.5 и 5.9.7.	

Таблица 5.60: НДТ-AELs для выбросов пыли из стекловаренной печи в секторе стеклянной посуды

Параметр	НДТ-AEL	
	мг/м ³	кг/т расплавленного стекла (1)
Пыль	<10 – 20 (2)	<0.03 – 0.06
	<1 – 10 (3)	<0.003 – 0.03
(1)) Был применен коэффициент пересчета 3×10^{-3} (см. Таблица 5.2). Однако, от случая к случаю этот коэффициент может использоваться для специального производства (2) Приводятся соображения относительно экономической эффективности НДТ-AELs в случае, если производительность печи, выпускающей натрий-кальций-силикатное стекло менее 80 т/сутки (3) Эти НДТ-AEL применяют к составу материалов, содержащих значительное количество веществ, определяемых критерием, как опасные		

5.5.2 Окись азота (NO_x) из стекловаренных печей

НДТ необходимы для сокращения выбросов NO_x из стекловаренных печей путем использования одной или сочетания приводимых в таблице 5.61 технологий и должны обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.62.

Таблица 5.61. Основные методы сокращения выбросов оксидов азота

Технология (1)	Условия применения
1. Изменение горения	
1.1. Уменьшение соотношения воздух/топливо	Применима к конвенционным воздушно-топливным печам. Лучший результат – при реконструкции печи с учетом соче-

Технология (1)	Условия применения
	тания оптимальной конструкции с геометрическими показателями
1.2. Меньшая температура горения воздуха	Применима только в определенных обстоятельствах, ввиду меньшей эффективности печи и большего потребления топлива (т.е. использование рекуперативной печи взамен регенеративной)
1.3. Чередование горения: - Горение воздуха - Горение топлива	Чередование топлива возможно в большинстве конвенционных воздушно-топливных печей Чередование воздуха связано с ограничениями, ввиду технической сложности
1.4. Рециркуляция топлива-газ	Эта технология ограничена использованием специальных горелок с автоматической рециркуляцией отработанного газа
1.5. Горелки с низким содержанием NO _x	Обычно эта технология применима. Успехи природоохранных мер обычно меньше для печей с поперечным пламенем и боросиликатных печей, ввиду технических ограничений и меньшей степени гибкости печи. Лучшие успехи достигаются при реконструкции печи с учетом сочетания оптимальной конструкции с геометрическими параметрами
1.6. Выбор топлива	Применение обусловлено ограничениями, связанными с наличием различных видов топлива, на что может оказывать влияние энергетическая политика.
2. Специальная конструкция печи	Применение ограничено составом исходного продукта, содержащего высокий уровень стеклобоя (>70 %). Применение требует полной реконструкции стекловаренной печи. Форма печи (длинная и узкая) может создать пространственные ограничения
3. Стекловарение в электрической печи	Экономически неэффективная для производства стекла в больших объемах (>300 т/сутки). Неприменима в случае больших изменений объемов производства. Применение тре-

Технология (1)	Условия применения
	бует полной реконструкции печи
4. Печь на кислородном топливе	Максимальный природоохранный эффект достигается для применений после полной реконструкции печи
Минимизация использования нитратов в составе материалов	Замена нитратов в составе исходных материалов может быть ограничена их высокой стоимостью и/или более неблагоприятным воздействием этих материалов на окружающую среду.
Нитраты применяют для высококачественных изделий, где требуется очень прозрачное стекло или для специального стекла. Другими эффективными материалами могут быть сульфаты, окиси мышьяка или церия.	
(1) Описание технологии приведено в Разделе 5.9.2.	

Таблица 5.62: НДТ-AELs для выбросов NO_x из стекловаренной печи в секторе стеклянной посуды

Параметр	НДТ	НДТ-AEL	
		мг/м ³	кг/т стекла (1)
NO _x обозначен как NO ₂	Виды горения, печи специальной конструкции	<500 – 1000	<1.25 – 2.5
	Стекловарение электрическое	<100	<0.3
	Кислородно-топливное (2)	Не применимо	<0.5 – 1.5
	Тепловоздушная конвенциональная (3)	<500 – 1500	<1.25 – 3.75
	Электроплавильная (3)	<300 – 500	<8 – 10
(1) Для видов горения и конструкции специализированной печи использован коэффициент			

ент пересчета 2.5×10^{-3} , а для электрического стекловарения – коэффициент пересчета 3×10^{-3} (см. Таблицу 5.2), этот коэффициент может использоваться для специального производства.

(2) Достигаемые уровни зависят от качества природного газа и наличия кислорода (содержание азота).

(3) При использовании нитратов в составе сырьевых материалов

5.5.3 Сернистый газ (SO_x) из стекловаренных печей

НДТ должны сократить выбросы SO_x из стекловаренной печи путем использования одной или сочетания приводимых в таблице 5.63 технологий до уровня ниже приведенного в таблице 5.64.

Таблица 5.63. Методы сокращения выбросов оксидов серы

Технология ⁽¹⁾	Условия применения
1. Минимизация содержания серы в исходном материале и оптимизация серного баланса	Минимизация содержания серы в исходном материале и проводится обычно с учетом ограничений качества конечного продукта. Оптимизация баланса серы требует оптимального выбора между устранением выбросов SO _x и контролем твердых отходов (в фильтре для пыли)
2. Использование топлива с низким содержанием серы	Применение связано с ограничениями, обусловленными наличием малосернистого топлива, что регламентировано энергетической политикой страны члена
3. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	Обычно эта технология применима
⁽¹⁾ Описание технологии приводится в Разделе 5.9.3.	

Таблица 5.64: НДТ-AELs для выбросов SO_x из стекловаренной печи в секторе стеклянной посуды

Параметр	Топливо для стекловарения	НДТ-AEL	
		мг/м ³	кг/т стекла (1)
SOx означает SO ₂	Натуральный газ	<200 – 300	<0.5 – 0.75
	Мазут (2)	<1000	<2.5
	Электрическое стекловарение	<100	<0.25
(1) Коэффициент пересчета 2.5×10^{-3} (см. Таблицу 5.2). Однако от случая к случаю этот коэффициент может использоваться для специализированных производств (2) Показано использование мазута с 1 % серы в качестве резервного топлива в комбинации с оборудованием вторичной очистки.			

5.5.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренной печи

НДТ должны уменьшить выбросы HCl и HF из стекловаренной печи за счет использования одной или сочетания приводимых в таблице 5.65 технологий и обеспечить уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.66.

Таблица 5.65. Методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов

Технология (1)	Условия применения
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием хлора и фтора	Применение связано с ограничениями в составе материала для производимого на предприятии стекла и наличием сырьевого материала.
2. Минимизация содержания фтора в исходном материале и оптимизация баланса массы фтора	Эту технологию применяют обычно в условиях ограничений, предъявляемых к качеству конечного продукта
Минимизацию выбросов фтора из печи можно обеспечить путем сведения к минимуму фторсодержащих веществ (например, флюорита) в исходных материалах, соизмеряя с качеством конечного продукта. Соединения фтора до-	

Технология (1)	Условия применения
бавляют в состав материала, чтобы придать стеклу непрозрачный или дымчатый вид	
3. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	Обычно эта технология применима
4. Влажная очистка	Эту технологию применяют обычно в условиях технических ограничений, например, если заводу необходима специальная обработка сточной воды. Высокие расходы, проблемы обработки сточной воды, включающие ограничения повторного использования остатков после ее обработки, могут ограничивать применение этой технологии.
(1) Описание технологии приводится в Разделах 5.9.4 и 5.9.6.	

Таблица 5.66. НДТ-AELs для выбросов HCl и HF из стекловаренной печи в секторе стеклянной посуды

Параметр	НДТ-AEL	
	мг/м ³	кг/т стекло (1)
Хлористый водород, обозначаемый HCl (2) (3)	<10 – 20	<0.03 – 0.06
Фтористый водород, обозначаемый HF (4)	<1 – 5	<0.003 – 0.015
(1) Применен коэффициент пересчета 3×10^{-3} (см. Таблицу 5.2). Однако, время от времени этот коэффициент может использоваться для специализированных производств. (2) Более низкие уровни связаны с использованием электрического стекловарения. (3) Если в качестве осветлителей используются KCl или NaCl, то НДТ-AEL <30 мг/м³ или <0.09 кг/т стекла. (4) Более низкие уровни связаны с использованием электрического стекловарения. Более высокие уровни связаны с производством опалового стекла, повторным использовани-		

ем фильтра для пыли, либо там где в составе исходного материала используются большое количество внешнего (стороннего) стеклобоя.

5.5.5 Металлы из стекловаренных печей

НДТ должны сократить выбросы металла из стекловаренной печи путем использования одной или сочетания приводимых в таблице 5.67 технологий и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.68.

Таблица 5.67. Методы сокращения выбросов металлов

Технология ⁽¹⁾	Условия применения
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием металла	Применение может быть связано с ограничениями, обусловленными типом производимого стекла и наличием сырьевых материалов
2. Минимизация использования сырьевых материалов, содержащих металлы, если требуется окрашивание или обесцвечивание стекла, либо стеклу необходимо придать специфические свойства	При производстве хрустального стекла или свинцового хрусталя минимизация металлических веществ в составе материалов ограничивается пределами, установленными стандартами на эти виды продукции.
3. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	Обычно применяется эта технология
⁽¹⁾ Описание технологии приведено в Разделе 5.9.5.	

Таблица 5.68. НДТ-AELs для выбросов металла из стекловаренной печи в секторе стеклянной посуды, за исключением стекол, для осветления которых используется селен.

Параметр	НДТ-AEL ⁽¹⁾	
	мг/м ³	кг/т стекло ⁽²⁾

Параметр	НДТ-AEL (1)	
	мг/м ³	кг/т стекло (2)
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI)	<0.2 – 1	<0.6 – 3 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI, Sb, Pb, CrIII, Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 5	<3 – 15 x 10 ⁻³
(1) Уровни соответствуют сумме металлов в дымовых газах, в твердой или газообразной фазе		
(2) Коэффициент пересчета 3 x 10 ⁻³ (см. Таблицу 5.2). Однако от случая к случаю этот коэффициент может использоваться для специализированного производства.		

При использовании соединений селена для осветления стекла НДТ необходимы для сокращения выбросов селена из стекловаренной печи посредством одной или сочетания приводимых в таблице 5.69 технологий и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.70.

Таблица 5.69. Методы сокращения выбросов селена

Технология (1)	Условия применения
1. Минимизация использования соединений селена за счет правильного выбора сырья	Применение может быть связано с ограничениями, обусловленными типом производимого стекла и наличием сырьевых материалов
2. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	Обычно применяют эту технологию
(1) Описание технологии приведено в Разделе 5.9.5.	

Таблица 5.70. НДТ-AELs для выбросов селена из стекловаренной печи в секторе стеклянной посуды, если для осветления стекла используются соединения селена

Параметр	НДТ-AEL (1)	
	мг/м ³	кг/т стекла (2)
Соединения селена – Se	<1	<3 x 10 ⁻³

- (1) Значения относятся к сумме селена, присутствующего в дымовых газах в твердой и газообразной фазах
- (2) Коэффициент пересчета 3×10^{-3} (см. Таблицу 5.2). Однако от случая к случаю этот коэффициент может использоваться для специализированного производства.

Если в производстве хрусталя используются соединения свинца, то НДТ должны сократить выбросы свинца из стекловаренной печи счет использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.71, и обеспечить уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.72.

Таблица 5.71. Методы сокращения выбросов свинца

Технология ⁽¹⁾	Условия применения
1. Электрическое стекловарение	Экономически неэффективна для производства больших объемов стекла (>300 т/сутки). Не применима при больших изменениях производительности. Использование требует полной реконструкции печи
2. Мешочный фильтр	Обычно эта техника применима
3. Электростатический фильтр	
4. Сухая либо полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	
⁽¹⁾ Описание технологии приведено в Разделах 5.9.1 и 5.9.5.	

Таблица 5.72. НДТ-AELs для выбросов свинца из стекловаренной печи в секторе стеклянной посуды, если при производстве хрусталя используются соединения свинца

Параметр	НДТ-AEL (1)	
	мг/м ³	кг/т стекла(2)
Соединения свинца, обозначенные Pb	<0.5 – 1	<1 – 3×10^{-3}

- (1) Значения относятся к сумме свинца, присутствующего в дымовых газах в твердой и газообразной фазах
- (2) Коэффициент пересчета 3×10^{-3} (см. Таблицу 5.2). Однако от случая к случаю этот коэффициент может использоваться для специализированного производства

5.5.6 Промышленные выбросы в результате последующих процессов

Для последующих пылеобразующих процессов НДТ необходимы для сокращения выбросов пыли и металлов на основе использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.73, и должны обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.74.

Таблица 5.73. Методы сокращения выбросов из последующих процессов

Технология (1)	Условия применения
1. Выполнение пылеобразующих операций (например, резка, гранение, шлифование) с использованием воды	Обычно эта технология применяется
2. Применение мешкового фильтра	
(1)Описание технологии приводится в Разделе 5.9.8.	

Таблица 5.74: НДТ-AELs для воздуха при пылеобразующих процессах в секторе стеклянной посуды при раздельной обработке

Параметр	НДТ-AEL, мг/м ³
Пыль	<1 – 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI) (1)	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI, Sb, Pb, CrIII, Cu, Mn, V, Sn) (1)	<1 – 5
Соединения свинца, выражаемые, как Pb (2)	<1 – 1.5
(1) Уровни относятся к сумме металлов, присутствующих в отработанном газе.	
(2) Уровни относятся к пылеобразующим операциям при изготовлении хрусталя.	

При использовании процессов кислотного шлифования НДТ необходимы для сокращения выбросов HF за счет использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.75, и должны обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.76.

Таблица 5.75. Методы сокращения выбросов фторидов

Технология (1)	Условия применения
1. Минимизация потерь шлифуемого продукта за счет создания мер защиты в используемой системе	Обычно применяется эта технология
2. Вторичная технология, например, влажная очистка	
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.6.	

Таблица 5.76. НДТ-AELs для выбросов HF, возникающих в результате кислотных процессов шлифования в секторе стеклянной посуды при отдельной обработке

Параметр	НДТ-AEL, мг/м ³
Фтористый водород, обозначенный как HF	<5

5.6 Заключение НДТ для производства специального стекла

До объявления других технологий заключения НДТ, представленные в данном Разделе, могут применяться на всех предприятиях по производству специального стекла.

5.6.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей

НДТ должны сократить выбросы пыли из отработанных газов стекловаренных печей за счет использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.77, и обеспечить уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.78.

Таблица 5.77. Методы сокращения выбросов пыли

Технология (¹)	Условия применения
-----------------------------	--------------------

Технология ⁽¹⁾	Условия применения
1. Сокращение летучих компонентов путем замены сырьевых материалов. В составе исходных материалов могут быть очень летучие компоненты (напр. бор, фтористые соединения), которые могут быть основными составляющими пыли, выбрасываемой из стекловаренной печи	Эта технология используется обычно при определенных ограничениях качества производимого стекла
2. Электрическое стекловарение	Экономически неэффективна при производстве больших объемов стекла (>300 т/сутки). Не применима при частом изменении растяжений. Применение требует полной реконструкции печи
3. Система фильтрации, мешковый или электростатический фильтр	Данная технология обычно применима.
⁽¹⁾ Описание технологии приводится в Разделе 5.9.1.	

Таблица 5.78. НДТ-AELs для выбросов пыли из стекловаренной печи в секторе специального стекла

Параметр	НДТ-AEL	
	мг/м ³	кг/т стекла ⁽¹⁾
Пыль	<10 – 20	<0.03 – 0.13
	<1 – 10 ⁽²⁾	<0.003 – 0.065
(1) Для определения нижнего и верхнего значений НДТ-AELs (с учетом аппроксимации некоторых из них) использованы коэффициенты пересчета 2.5×10^{-3} и 6.5×10^{-3}. Однако, иногда эти коэффициенты должны применяться в зависимости от типа производимого стекла (см. Табл. 5.2). (2) НДТ-AELs применяют к исходным материалам, содержащим большое количество		

составных веществ, определяемых критерием как опасные.

5.6.2 Окись азота (NO_x) из стекловаренных печей

НДТ должны сократить выбросы NO_x из стекловаренной печи путем использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.79, и обеспечить уровень выбросов ниже приведенных в таблице 5.80.

Таблица 5.79. Методы сокращения выбросов оксидов азота

Технология (1)	Условия применения
1. Изменение горения	
1.1. Уменьшение соотношения воздух/ топливо	Применяют для воздушно-топливных конвенциональных печей. Наибольший эффект при реконструкции печи и оптимальном сочетании конструкции и геометрических параметров
1.2. Уменьшение температуры горения воздуха	Применима лишь в условиях специализированных установок, ввиду низкой эффективности печи и высокой потребности в топливе (использование рекуперативной печи взамен регенеративной)
1.3. Чередование горения: - Воздух - Топливо	В большинстве воздушно-топливных печей применяют чередование топлива. Чередование воздуха имеет ограниченное применение, ввиду технической сложности
1.4. Рециркуляция газ-топливо	Применение этой технологии ограничено использованием спец. горелок с автоматической рециркуляцией отработанного газа
1.5. Горелки с низким содержанием NO _x	Обычно эта технология применима. Успехи природоохранных мер обычно ниже при использовании поперечного пламени и печей на газе, ввиду технических ограничений и меньшей гибкости печи. Наибольший эффект при реконструкции печи и оптимальном сочетании конструкции и геометрических парамет-

Технология (1)	Условия применения
	ров
1.6. Выбор топлива	Применение обусловлено ограничениями, связанными с наличием разных видов топлива, что может быть регламентировано энергетической политикой страны-члена
2. Электрическое стекловарение	Экономически неэффективна для производства больших объемов стекла (>300 т/сутки). Не применима при значительных изменениях производительности. Применение требует полной реконструкции печи
3. Топливнокислородное стекловарение	Наибольший природоохранный успех достигается при полной реконструкции печи
4. Выборочное каталитическое восстановление (SCR)	Для доведения концентрации пыли ниже 10-15 мг/м ³ и обеспечения системы сероочистки для устранения выбросов SO _x , применение данной технологии может потребовать модернизации (расширения) системы очистки пыли. Ввиду оптимального диапазона рабочей температуры применение ограничено электростатическими фильтрами. Эта технология не использует систему мешковых фильтров; ввиду низкой рабочей температуры, в диапазоне 180 – 200 °C может потребоваться повторный нагрев отработанных газов. Внедрение технологии может потребовать значительного пространства
5. Выборочное некаталитическое восстановление (SNCR)	Применение ограничено для конвенциональных и регенеративных печей, в которых трудно получить нормальный температурный диапазон, либо невозможно хорошее смешивание отработанных газов с реагентом. Можно использовать для новых регенеративных печей, снабженных сплит системами теплообмена, однако трудно поддерживать температурный диапазон, ввиду изменения направления горения между камерами, что вызывает циклическое изменение температуры

Технология (1)	Условия применения
6. Минимизация использования нитратов в составе материалов Нитраты используют для высококачественного стекла, для которого требуются особые характеристики. Другие эффективные материалы: сульфаты, окиси мышьяка и церия	Замена нитратов в составе материалов ограничена их высокой стоимостью и/или более ощутимым воздействием на окружающую среду
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.2.	

Таблица 5.80. НДТ-AELs для выбросов NO_x из стекловаренной печи в секторе специального стекла

Параметр	НДТ	НДТ-AEL	
		мг/м ³	кг/т стекла (1)
NO _x означает NO ₂	Изменение горения	600 – 800	1.5 – 3.2
	Электрическое стекловарение	<100	<0.25 – 0.4
	Кислородно-топливное(2) (3)	Не применима	<1 – 3
	Вторичные технологии	<500	<1 – 3
	Минимизация ввода нитратов в состав материалов в сочетании с первичными или вторичными технологиями	<500 – 1000	<1 – 6

(1) Для определения нижнего и верхнего значений диапазона НДТ-AEL (см. Таблицу 5.2), выбраны коэффициенты пересчета 2.5×10^{-3} и 4×10^{-3} . Однако иногда эти коэффициенты необходимо использовать для другого типа производства (см. Таблицу 5.2).

(2) Верхние значения связаны со специальным производством трубок из боросиликатно-

го стекла для фармацевтических нужд

(3) Достижимость уровней зависит от качества имеющегося природного газа и кислорода (содержание азота)

5.6.3 Сернистый газ (SO_x) из стекловаренных печей

НДТ должны сократить выбросы SO_x из стекловаренной печи за счет использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.81, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.82.

Таблица 5.81. Методы сокращения выбросов оксидов серы

Технология ⁽¹⁾	Условия применения
1. Минимизация содержания серы в составе материала и оптимизация баланса серы	Обычно эта техника применима с ограничениями, связанными с требованиями качества конечного продукта
2. Использование низкосернистого топлива	Применение может быть ограничено в связи наличием низкосернистого топлива, что обусловлено энергетической политикой.
3. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	Эта технология обычно применима.
⁽¹⁾ Описание технологии приведено в Разделе 5.9.3.	

Таблица 5.82. НДТ-AELs для выбросов SO_x из стекловаренной печи в секторе специального стекла

Параметр	Тип топлива	НДТ-AEL ⁽¹⁾	
		мг/м ³	кг/т стекла ⁽²⁾
SO _x обозначает SO ₂	Природный газ, электрическое стекловарение ⁽³⁾	<30 – 200	<0.08 – 0.5
	Мазут ⁽⁴⁾	500 – 800	1.25 – 2

- (1) Диапазоны учитывают меняющийся баланс серы, что связано с типом производимого стекла.
- (2) Использован коэффициент пересчета 2.5×10^{-3} (см. Таблицу 5.2). Однако, иногда этот коэффициент может использоваться с учетом типа производства.
- (3) Нижние уровни связаны с использованием электрического стекловарения и составом материала без сульфатов.
- (4) Уровни выбросов связаны с использованием 1 % сернистого мазута в качестве резервного топлива в сочетании с технологией вторичной очистки.

5.6.4. Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы HCl и HF из стекловаренных печей за счет использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.83, и обеспечить уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.84.

Таблица 5.83. Методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов

Технология (¹)	Условия применения
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием хлора и фтора	Применение может быть связано с ограничениями в составе материала для типа стекла, производимого на предприятии, а также с наличием сырьевых материалов
2. Минимизация соединений фтора и/или хлора в исходном материале и оптимизация баланса массы фтора и/или хлора. Соединения фтора используют для придания специальным стеклам особых свойств (например, опакое стекло для светильников, оптическое стекло). Соединения хлора могут использоваться как средство розжига в производстве боросиликатного стекла	Данная технология обычно применяется с учетом ограничений по качеству конечного продукта.

3. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	Это обычно применяемая технология
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.4.	

Таблица 5.84. НДТ-AELs для выбросов HCl и HF из стекловаренной печи в секторе специального стекла

Параметр	НДТ-AEL	
	мг/м ³	кг/т стекла (1)
Хлористый водород – HCl (2)	<10 – 20	<0.03 – 0.05
Фтористый водород – HF	<1 – 5	<0.003 – 0.04 (3)
(1) Использован коэффициент пересчета 2.5×10^{-3} (см. Таблицу 5.2) с аппроксимацией некоторых значений. Иногда этот коэффициент может основываться на типе производства.		
(2) Верхние уровни связаны с использованием хлора в составе материала; верхнее значение диапазона приведено на основе отчетных данных.		

5.6.5 Металлы из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы металла из стекловаренной печи за счет использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.85, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.86.

Таблица 5.85. Методы сокращения выбросов металлов

Технология (1)	Условия применения
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием металла	Применение может быть связано с ограничениями, обусловленными типом производимого на предприятии стекла, и наличием сырьевых материалов
2. Минимизация использования соединений металлов в составе материалов, за счет соответ-	Обычно используется эта технология

Технология (1)	Условия применения
ствующего выбора сырьевых материалов, где требуется окрашивание или осветление стекла, либо придание стеклу особых характеристик	
3. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	
(1)Описание этой технологии приводится в Разделе 5.9.5.	

Таблица 5.86. НДТ-AELs для выбросов металлов из стекловаренной печи в секторе специального стекла

Параметр	НДТ-AEL (1) (2)	
	мг/м ³	кг/т стекла (3)
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI)	<0.1 – 1	<0.3 – 3 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI, Sb, Pb, CrIII, Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 5	<3 – 15 x 10 ⁻³
(1) Уровни относятся к сумме металлов, присутствующих в дымовых газах в твердой и газообразной фазах. (2) Нижние уровни, если соединения металла используют в составе материала не в качестве требуемой породы. (3) Использован коэффициент пересчета 2.5 x 10⁻³ с аппроксимацией некоторых значений, приведенных в таблице (см. Таблицу 5.2). Иногда этот коэффициент может выбираться с учетом типа производства.		

5.6.6 Выбросы от последующих процессов

Для процессов, связанных с потоком пыли, НДТ должны сократить выбросы пыли и металлов за счет использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.87, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.88.

Таблица 5.87. Методы сокращения выбросов пыли и металлов

Технология (1)	Условия применения
1. Выполнение операций, связанных с пылеобразованием (резка, гранение, шлифовка), с использованием жидкости	Обычно эта технология применима.
2. Применение системы мешковых фильтров	
(1)Описание технологии приведено в Разделе 5.9.8.	

Таблица 5.88. НДТ-AELs для выбросов пыли и металлов в процессах последующей очистки в секторе специального стекла при отдельной обработке

Параметр	НДТ-AEL, мг/м ³
Пыль	1 – 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI) (1)	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI, Sb, Pb, CrIII, Cu, Mn, V, Sn) (1)	<1 – 5
(1) Уровни относятся к сумме металлов, присутствующих в отработанном газе.	

При использовании процессов кислотного шлифования НДТ должна сократить выбросы HF путем использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.89, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.90.

Таблица 5.89. Методы сокращения выбросов фторидов

Технология (1)	Описание
1. Минимизация потерь шлифуемого продукта за счет системы, обеспечивающей защиту	Обычно используется эта технология
2. Применение вторичной технологии, напр. влажной очистки	
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.6.	

Таблица 5.90. НДТ-AELs для выбросов HF в результате процессов кислотного шлифования в секторе специального стекла.

Параметр	НДТ-AEL, мг/м ³
----------	----------------------------

Фтористый водород, обозначенный как HF	<5
--	----

5.7 Заключение НДТ для производства стеклянной ваты

До объявления других технологий заключения НДТ, представленные в данном Разделе, могут применяться на всех предприятиях по производству минеральной ваты.

5.7.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы пыли из отработанных газов за счет использования электростатического уловителя (фильтра) или системы мешочных фильтров, приведенных в таблице 5.91, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.92.

Таблица 5.91. Методы сокращения выбросов пыли

Технология ⁽¹⁾	Условия применения
Система фильтрации: электростатический фильтр или мешочный фильтр	Обычно эта технология используется. Электростатические фильтры не применимы для печей, используемых при производстве каменной ваты, ввиду риска взрыва от воспламенения угарного газа, вырабатываемого в печи.
⁽¹⁾ Описание технологии приводится в Разделе 5.9.1.	

Таблица 5.92. НДТ-AELs для выбросов пыли из стекловаренной печи в секторе минеральной ваты

Параметр	НДТ-AL	
	мг/м ³	кг/т расплавленного стекла ⁽¹⁾
Пыль	<10 – 20	<0.02 – 0.050
⁽¹⁾ Для производства стекловаты и каменной ваты при определении нижнего и верхнего		

значений диапазона НДТ-AEL выбраны коэффициенты пересчета 2×10^{-3} и 2.5×10^{-3} (см. Таблицу 5.2).

5.7.2 Окись азота (NO_x) из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы NO_x из стекловаренной печи за счет использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.93, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.94.

Таблица 5.93. Методы сокращения выбросов оксидов азота

Технология (1)	Условия применения
1. Изменения горения	
1.1. Уменьшение соотношения воздух/топливо	Применима для воздушно-топливных конвенционных печей. Наибольший эффект при обычной или полной реконструкции печи в сочетании с оптимальной конструкцией печи и размерами.
1.2. Сокращение температуры горения воздуха	Применима лишь в определенных условиях производства, ввиду низкой эффективности печи и высокой потребности топлива (т.е. использование рекуперативных печей взамен регенеративных)
1.3. Поочередное горение: - Горение воздуха - Горение топлива	В большинстве конвенционных воздушно-топливных печей используется поочередное горение. Поочередное горение газа используют редко ввиду технической сложности
1.4. Рециркуляция топлива-газ	Применение этой технологии ограничено, ввиду использования специальных горелок с автоматической рециркуляцией отработанного газа
1.5. Горелки с низким уровнем NO _x	Обычно эта технология применима. Достигнутый природоохранный эффект обычно ниже при поперечном пламени, в печах, работающих на газе, ввиду технических ограничений и

Технология (1)	Условия применения
	более низкой степени гибкости печи. Наибольший эффект при обычной или полной реконструкции печи в сочетании с оптимальной конструкцией печи и размерами
1.6.Выбор топлива	Применение ограничено наличием различных типов топлива, что может быть обусловлено энергетической политикой
2. Электрическое стекло-варение	Экономически неэффективна при больших объемах производства стекла (>300 т/сутки). Не применима для производств с большими изменениями производительности. Внедрение требует полной реконструкции печи.
3. Кислородно-топливное-стекловарение	Наибольший эффект достигается при обычной или полной реконструкции печи.
4. Минимизация использования нитратов в составе материалов. Использование нитратов (как средство окисления) в составе материалов с высоким уровнем внешнего стеклобоя необходимо, чтобы компенсировать имеющийся в стекловом органический материал	Эта технология обычно применима с учетом ограничений, предъявляемых к качеству конечного продукта
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.2.	

Таблица 5.94. НДТ-AELs для выбросов NO_x из стекловаренной печи в секторе минеральной ваты

Параметр	Продукт	Технология стекловарения	НДТ-AEL	
			мг/м ³	кг/т стекла (1)
NO _x озна-	Стекловата	Топливо-воздушные и электри-	<200 – 500	<0.4 – 1.0

Параметр	Продукт	Технология стекловарения	НДТ-AEL	
			мг/м ³	кг/т стекла (1)
Выброс NO ₂		Кислородные печи		
		Кислородно-топливное стекловарение(2)	Не применима	<0.5
	Каменная вата	Все типы печей	<400 – 500	<1.0 – 1.25
	Минеральная вата	Минимизации введения нитратов в состав материалов, в сочетании с первичной технологией	<500 – 700	<1.0 – 1.4 (2)
(1) Использованы коэффициенты пересчета 2×10^{-3} для стекловаты и 2.5×10^{-3} для каменной ваты (см. Таблицу 5.2). (2) Достижимые уровни зависят от качества натурального газа и имеющегося кислорода (содержание азота).				

5.7.3 Сернистый газ (SO_x) из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы SO_x из стекловаренной печи путем использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.95, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.96.

Таблица 5.95. Методы сокращения выбросов оксидов серы

Технология (1)	Условия применения
1. Минимизация содержания серы в составе материала и оптимизация баланса серы	Обычно эта технология применима для производства стекловаты с учетом ограничений, связанных с наличием сырьевых материалов с низким содержанием серы, особенно внешнего стеклобоя. Высокие уровни стеклобоя в составе материала ограничивают возможность оптимизации баланса серы, ввиду изменяющегося состава серы. При производстве каменной ваты оптимизация баланса серы может потребовать выбора опти-

Технология (1)	Условия применения
	мального соотношения между устранением выбросов SO _x из дымовых газов и регулированием твердых отходов при их обработке (мешковый фильтр) и/или измельчении с последующим использованием в составе материала (цементные брикеты), либо уничтожением.
2.Использование низко-сернистого топлива	Применение может быть ограничено в связи с наличием топлива с низким содержанием серы, что объясняется энергетической политикой.
3.Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	В производстве каменной ваты применение электростатических суловителей для вращающихся печей не практикуется
4. Использование влажной очистки	Обычно технология применима с техническими ограничениями, например, необходима установка по специальной обработке сточной воды
(1) Описание технологии приводится в Разделах 5.9.3 и 5.9.6.	

Таблица 5.96. НДТ-AELs для выбросов SO_x из стекловаренной печи в секторе минеральной ваты

Параметр	Продукт/условия	НДТ-AEL	
		мг/м ³	кг/т стекла (1)
SO _x в пересчете на SO ₂	Стекловата		
	Газовые и электрические печи (2)	<50 – 150	<0.1 – 0.3
	Каменная вата		
	Газовые и электрические печи	<350	<0.9
	Вращающиеся печи, без рециклинга (брикеты, шлак) (3)	<400	<1.0
	Вращающиеся печи с рециклингом – цементные брикеты или шлак (4)	<1400	<3.5

- (1) Для стекловаты коэффициент пересчета 2×10^{-3} , для каменной ваты - 2.5×10^{-3} (см. Таблицу 5.2).
- (2) Нижние уровни диапазонов связаны с использованием электрического стекловарения. Верхние уровни связаны с высоким уровнем рециклинга стеклобоя.
- (3) НДТ-AEL связана с условиями, при которых устранение выбросов SO_x имеет более высокий приоритет в сравнении с сокращением производства твердых отходов.
- (4) Если более высокий приоритет имеет сокращение отходов в сравнении с выбросами SO_x , то можно ждать увеличения объема выбросов. Достижимые уровни должны основываться на балансе серы.

5.7.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы HCl и HF из стекловаренных печей путем использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.97, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.98.

Таблица 5.97. Методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов

Технология ⁽¹⁾	Описание
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием хлора и фтора	Эта технология обычно применяется с учетом ограничений, связанных с наличием сырьевых материалов
2. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	При производстве каменной ваты на основе вращающихся печей электростатические фильтры не применяют
⁽¹⁾ Описание технологии приводится в Разделе 5.9.4.	

Таблица 5.98. НДТ-AELs для выбросов HCl и HF из стекловаренных печей в секторе минеральной ваты

Параметр	Продукт	НДТ-AEL	
		мг/м ³	кг/т стекла ⁽¹⁾

Хлористый водород HCl	Стекловата	<5 – 10	<0.01 – 0.02
	Каменная вата	<10 – 30	<0.025 – 0.075
Фтористый водород, HF	Все продукты	<1 – 5	<0.002 – 0.013 ⁽²⁾
(1) Коэффициент пересчета для стекловаты 2×10^{-3} и 2.5×10^{-3} – для каменной ваты (см. Таблицу 5.2). (2) Для определения нижнего и верхнего значений диапазона НДТ-AELs (см. Таблицу 5.2) использованы коэффициента пересчета 2×10^{-3} и 2.5×10^{-3}.			

5.7.5 Сероводород (H₂S) из стекловаренных печей для производства каменной ваты

НДТ должна сократить выбросы H₂S из стекловаренной печи путем использования системы сгорания отработанного газа, с целью окисления (окислирования) сероводорода в SO₂ и обеспечить уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.99.

Таблица 5.99. НДТ-AELs для выбросов H₂S из стекловаренной печи в процессе производства каменной ваты

Параметр	НДТ-AEL	
	мг/м ³	кг/т стекла ⁽¹⁾
Сероводород (сернистый газ) - H ₂ S	<2	<0.005
(¹) Для каменной ваты использовании коэффициент пересчета 2.5×10^{-3} (см. таблицу 5.2).		

5.7.6 Металлы из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы металла из стекловаренной печи посредством использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.100, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.101.

Таблица 5.100. Методы сокращения выбросов металлов

Технология (1)	Условия применения
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием металлов	Техника обычно применима с учетом ограничений, связанных с наличием материалов. При производстве стекловаты использование в составе материала марганца в качестве окислителя зависит от количества и качества внешнего стеклобоя, применяемого как исходный материал, и может быть минимизировано.
2. Применение системы фильтрации	При производстве каменной ваты на основе вращающихся печей электростатические фильтры не применяют
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.5.	

Таблица 5.101. НДТ-AELs для выброса металла из стекловаренных печей в секторе минеральной ваты

Параметр	НДТ-AEL (1)	
	мг/м ³	кг/т стекла (2)
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI)	<0.2 – 1 (3)	<0.4 – 2.5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI, Sb, Pb, CrIII, Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 2 (3)	<2 – 5 x 10 ⁻³
(1) Диапазоны относятся к сумме металлов, присутствующих в дымовых газах в твердой и газообразной фазах. (2) Для определения нижнего и верхнего значений диапазона НДТ-AEL использованы коэффициенты пересчета 2 x 10⁻³ и 2.5 x 10⁻³ (см. Таблицу 5.2). (3) Верхние значения связаны с использованием в производстве каменной ваты вращающихся печей		

5.7.7 Выбросы от последующих процессов

НДТ должна сократить выбросы от последующих процессов посредством использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.102, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.103.

Таблица 5.102. Методы сокращения выбросов от последующих операций

Технология (¹)	Условия применения
1. Удар струей и циклонные фильтры Технология основана на удалении частиц из отработанных газов с помощью удара струей/ударного разрушения, а также удаления газообразных веществ путем частичной абсорбции с помощью воды. Для удара струей используется техническая вода. В рециркулярном процессе вода фильтруется и затем повторно используется.	Технология используется обычно в секторе минеральной ваты, особенно в производстве стекловаты, для удаления выбросов от процессов формования (процесс покрытия волокон). Применение технологии для производства каменной ваты ограничено, поскольку это может неблагоприятно воздействовать на используемое оборудование очистки.
2. Влажная очистка	Технология обычно применяется для обработки газов от процессов формования (процесс покрытия волокон), либо соединившихся отработанных газов (формование плюс отвердевание).
3. Влажные электростатические фильтры	Используется для обработки газов от процессов формования (покрытие волокон), от печей для затвердевания, либо соединившихся отработанных газов (формование + затвердевание)
4. Фильтры для каменной ваты Они представляют собой стальную или металлическую конструкцию, в которую вставлены куски каменной ваты, действующую как фильтр. Фильтр требует периодической очистки или замены. Он пригоден для отработанных газов, имеющих влажный состав и взвешенные частицы, характеризующиеся клейкой	Применение ограничено главным образом процессами обработки каменной ваты, в частности, отработанных газов с участка формования и/или печей для затвердевания.

Технология ⁽¹⁾	Условия применения
природой.	
5. Сжигание отработанного газа	Технология применяется для обработки отработанных газов из печей затвердевания в процессе производства каменной ваты. Применение соединившихся отработанных газов (формования и затвердевания) экономически не выгодно ввиду большого объема, низкой концентрации, низкой температуры этих газов.
⁽¹⁾ Описание технологии приводится в Разделах 5.9.7 и 5.9.9.	

Таблица 5.103. НДТ-AELs для выбросов воздуха при последующих процессах обработки в секторе минеральной Ваты, в случае отдельной обработки

Параметр	НДТ-AEL	
	мг/м ³	кг/т
Объединенные выбросы формования, отверждения и охлаждения		
Всего взвешенных частиц	<20 – 50	-
Фенол	<5 – 10	-
Формальдегид	<2 – 5	-
Аммиак	30 – 60	-
Амин	<3	-
Итого летучих органических соединений, обозначенных С	10 – 30	-
Выбросы из отверждающей печи ⁽¹⁾ ⁽²⁾		
Всего взвешенных частиц	<5 – 30	<0.2
Фенол	<2 – 5	<0.03
Формальдегид	<2 – 5	<0.03
Аммиак	<20 – 60	<0.4
Амин	<2	<0.01
Итого летучих органических соединений, обозначенных С	<10	<0.065

NO _x , означает NO ₂	<100 – 200	<1
(1) На уровне выбросов, выраженные в кг/т конечного продукта, не влияют толщина получаемого мата из минеральной ваты, а также экстремальные значения концентрации или разжиженность топливного газа. Использован коэффициент пересчета 6.5×10^{-3}. (2) Если производимая минеральная вата имеет высокую плотность или высокое содержание связующих веществ, то уровни выбросов связаны с перечисленными технологиями, поскольку НДТ для сектора была бы значительно выше, чем НДТ-AELs. Если продукт этого типа составляет значительную часть продукции предприятия, то следует рассматривать другую технологию.		

5.8 Заключение НДТ для производства фритт

До объявления других технологий заключения НДТ, представленные в данном Разделе, могут применяться на всех предприятиях по производству фритт

5.8.1 Выбросы пыли из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы пыли из отработанных газов стекловаренной печи с помощью системы электростатических или мешковых фильтров, которые должны обеспечить уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.104.

Таблица 5.104. НДТ-AELs для выбросов пыли при производстве фритты

Параметр	НДТ-AEL	
	мг/м ³	кг/т стекла ⁽¹⁾
Пыль	<10 – 20	<0.05 – 0.15
(1) Для определения нижнего и верхнего значений диапазона НДТ-AELs (см. Таблицу 5.2) выбран коэффициент пересчета 5×10^{-3} и 7.5×10^{-3}. Однако, иногда этот коэффициент может быть использован применительно к типу горения.		

5.8.2 Окись азота (NO_x) из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы NO_x из стекловаренных печей путем использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.105, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.106.

Таблица 105. Методы сокращения выбросов оксидов азота.

Технология (¹)	Условия применения
1. Минимизация нитратов в составе материалов. Для получения требуемых характеристик при производстве фритт нитраты добавляют в состав материалов для многих продуктов.	Замена нитратов в составе материалов может быть ограничена высокими расходами и/или усилением влияния на окружающую среду других материалов и/или требованиями к качеству конечного продукта.
2. Сокращение поступления в печь паразитного воздуха. Технология предусматривает предотвращение доступа воздуха в печь с помощью уплотнения отверстий в блоках горелок, подачи исходного материала и других отверстий стекловаренной печи.	Обычно эта технология применима.
3. Изменение горения	
3.1. Уменьшение соотношения воздух/топливо	Применима для воздушно-топливных конвенционных печей. Наибольший эффект достигается при обычной или полной реконструкции печи, с учетом сочетания оптимальной конструкции печи и ее размеров
3.2. Уменьшение температуры горения воздуха	Применима лишь при определенных условиях производства, ввиду более низкой эффективности печи и более высокой потребности в топливе
3.3. Чередование горения:	К большинству конвенционных воздушно-

Технология (1)	Условия применения
- Горение воздуха - Горение топлива	топливных печей применимо чередование топлива. Чередование топлива имеет ограниченное применение, ввиду технической сложности
3.4. Рециркуляция топливо-газ	Применение данной технологии ограничено использованием специальных горелок с автоматической рециркуляцией отработанного газа
3.5. Горелки с низким NO _x	Обычно данная технология применим. Наибольший эффект получают при обычной или полной реконструкции печи, в сочетании с оптимальной конструкцией печи и размерами
3.6. Выбор топлива	Применение имеет ограничения, связанные с наличием различных типов топлива, что обусловлено политикой в области энергетики.
4. Кислородно-топливное стекловарение	Максимальный эффект достигается при полной реконструкции печи
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.2.	

Таблица 5.106. НДТ-AELs для выбросов NO_x из стекловаренных печей в секторе производства фритт

Пара-метр	НДТ	Условия работы	НДТ-AEL (1)	
			мг/м ³	кг/т стекла (2)
NO _x в пересчете на NO ₂	Первичная технология	Кислородно-топливное горение, без нитратов (3)	Не применима	<2.5 – 5
		Кислородно-топливное горение с нитратами	Не применима	5 – 10
		Горение топливо/воздух, топливо/кислород, обогащенный воздухом, без нитратов	500 – 1000	2.5 – 7.5
		Горение топливо/воздух, топливо/кислород, обогащенный воздухом, с нитратами	<1600	<12

- (1) В диапазонах учитывается сочетание дымовых газов из стекловаренной печи (за счет применения различных технологий стекловарения, а также производства различных фритт, с нитратами или без них), которые могут быть направлены в одну трубу.
- (2) Для определения нижнего и верхнего значений диапазона использован коэффициент пересчета 5×10^{-3} и 7.5×10^{-3} . Однако, иногда коэффициент пересчета может быть использован применительно к типу горения (см. Таблицу 5.2).
- (3) Достижимые уровни зависят от качества натурального газа и имеющегося кислорода (содержание азота).

5.8.3 Окись серы (SO_x) из стекловаренных печей

НДТ должна контролировать выбросы SO_x из стекловаренной печи путем использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.107, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.108.

Таблица 5.107. Методы сокращения выбросов оксидов серы

Технология ⁽¹⁾	Условия применения
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием серы	Эта технология обычно применима с учетом ограничений наличия сырьевых материалов
2. Сухая и полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	Эта технология обычно применима
3. Использование топлива с низким содержанием серы	Применение имеет ограничения, связанные с наличием низкосернистого топлива, что обусловлено политикой в области энергетики.
⁽¹⁾ Описание технологии приводится в Разделе 5.9.3.	

Таблица 5.108. НДТ-AELs для выбросов SO_x из стекловаренной печи в секторе производства фритт

Параметр	НДТ-AEL
----------	---------

	мг/м ³	кг/т стекла (1)
SOX в пересчете на SO ₂	<50 – 200	<0.25 – 1.5
(1) Использованы коэффициенты пересчета 5×10^{-3} и 7.5×10^{-3} ; однако, значения указанные в таблице, могли быть аппроксимированы. Иногда коэффициент пересчета может применяться применительно к типу горения (см. Таблицу 5.2).		

5.8.4 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы HCl и HF из стекловаренной печи путем использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.109, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.110.

Таблица 5.109. Методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов

Технология (1)	Условия применения
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием хлора и фтора.	Технология применима с ограничениями по составу материала и наличия сырьевых материалов
2. Минимизация фтористых соединений в составе материала при необходимости обеспечения качества конечного продукта. Фтористые соединения используются для придания фриттам особых характеристик (т.е. термической и химической устойчивости)	Минимизация или замена фтористых соединений альтернативными материалами ограничиваются требованиями качества продукта.
3. Сухая или полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	Обычно эта техника применима
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.4.	

Таблица 5.110. НДТ-AELs для выбросов HCl и HF из стекловаренной печи в секторе фритт

Параметр	НДТ-AEL
----------	---------

	мг/м ³	кг/т стекла ⁽¹⁾
Хлористый водород, обозначаемый HCl	<10	<0.05
Фтористый водород, обозначаемый HF	<5	<0.03
⁽¹⁾ Использован коэффициент пересчета 5×10^{-3} с аппроксимацией некоторых значений. Иногда коэффициент пересчета может применяться к типу горения (см. Таблицу 5.2).		

5.8.5 Металлы из стекловаренных печей

НДТ должна сократить выбросы металла из стекловаренной печи путем использования одной или сочетания технологий, приведенных в таблице 5.111, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.112.

Таблица 5.111. Методы сокращения выбросов металлов

Технология (1)	Условия применения
1. Выбор сырьевых материалов с низким содержанием металлов	Эта технология обычно применима с учетом ограничений по типу производимых фритт и наличия сырьевых материалов
2. Минимизация использования металлических соединений в составе материалов при необходимости окрашивания, либо придания особых характеристик	
3. Сухая и полусухая очистка в сочетании с системой фильтрации	
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.5.	

Таблица 5.112. НДТ-AELs для выбросов металла из стекловаренной печи в секторе по производству фритт

Параметр	НДТ-AEL ⁽¹⁾
----------	------------------------

	мг/м ³	кг/т стекла ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI)	<1	$<7.5 \times 10^{-3}$
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI, Sb, Pb, CrIII, Cu, Mn, V, Sn)	<5	$<37 \times 10^{-3}$
(1) Уровни относятся к сумме металлов, присутствующих в дымовых газах в твердой и газообразной фазах. (2) Использован коэффициент пересчета 7.5×10^{-3}. Иногда коэффициент пересчета может применяться с учетом типа горения (см. Таблицу 5.2).		

5.8.6 Выбросы от последующих процессов

Для последующих процессов удаления пыли НДТ должна сократить выбросы путем использования одной, либо сочетания технологий, приведенных в таблице 5.113, и обеспечивать уровни выбросов ниже приведенных в таблице 5.114.

Таблица 5.113. Методы сокращения выбросов от последующих процессов

Технология (1)	Условия применения
1. Применение технологии влажного измельчения. Технология предусматривает дробление фритт до частиц нужного размера в достаточном количестве жидкости, с образованием кашицы. Процесс выполняется в алюминиевых грануляторах.	Обычно эта технология применима
2. Сухое измельчение и упаковка сухого продукта под действием эффективной вытяжной системы с тканевым фильтром. В измельчающем оборудовании или на рабочей станции используется негативное давление, чтобы направить выбросы пыли в тканевой фильтр.	
3. Применение системы фильтрации	
(1) Описание технологии приводится в Разделе 5.9.1.	

Таблица 5.114. НДТ-AELs для выбросов воздуха при последующих процессах в секторе фритт в случае раздельной обработки

Параметр	НДТ-AEL, мг/м ³
Пыль	5 – 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI)	<1 (¹)
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, CrVI, Sb, Pb, CrIII, Cu, Mn, V, Sn)	<5 (¹)
(¹) Уровни относятся к сумме металлов присутствующих в отработанном газе.	

5.9 Описание технологических методов

5.9.1 Выбросы пыли

Описание технологических методов сокращения выбросов пыли приведено в таблице 5.115.

Таблица 5.115. Методы сокращения выбросов пыли

Технологические методы (¹)	Возможность использования
Электростатический пылеуловитель	Электростатические пылеуловители работают таким образом, что частицы заряжаются и отделяются под влиянием электрического поля. Электростатические пылеуловители способны работать в широком диапазоне условий.
Мешочный фильтр	Мешочные фильтры изготовлены из пористого тканого материала или войлока, через которые проходят газы для удаления частиц. Использование мешочного фильтра требует выбора материала ткани, соответствующего характеристикам отработавших газов и максимальной рабочей температуре.
Уменьшение летучих компонентов путем изменений сырьевого материала	Химический состав шихты может содержать очень летучие компоненты (например, соединения бора), количество которых может быть минимизировано или заменено для того, чтобы уменьшить выбросы пыли, главным образом вызванные явлениями испарительного переноса

Технологические методы (¹)	Возможность использования
Стекловарение в электропечи	Технологический метод основывается на применении стекловаренной печи, в которой энергия обеспечивается с помощью резистивного нагрева. В стекловаренных печах с холодным сводом (в которых электроды обычно вставлены в нижнюю часть печи) слой шихты закрывает поверхность стекломассы с последующим значительным сокращением испарительного переноса компонентов шихты (то есть, соединений свинца).

5.9.2 Выбросы оксидов азота

Технологические методы сокращения выбросов оксидов азота приведены в таблице 5.116.

Таблица 5.116. Методы сокращения выбросов оксидов азота.

Технологический метод	Описание
Изменения процесса горения	
1. Уменьшение соотношения воздух-топливо	Технологический метод главным образом базируется на следующих конструктивных особенностях: • минимизация просачивания воздуха в печь • для процесса горения используется тщательный контроль воздуха • измененная конструкция камеры сгорания печи
2. Пониженная температура воздуха, поступающего в зону горения	Использование рекуперативных печей вместо регенеративных печей повлекло за собой снижение температуры подогрева воздуха и, следовательно, меньшую температуру пламени. Однако это связано с меньшей эффективностью печи (ниже производительность стекловаренной печи), ниже к.п.д. по топливу и более высокое требование к топливу, что приводит к потенциально более высоким выбросам загрязняющего ве-

Технологический метод	Описание
	щества (кг/т стекла)
3. Ступенчатое сжигание	• Ступенчатая подача воздуха предусматривает субстехиометрический разогрев и добавление оставшегося воздуха или кислорода в печь для обеспечения полного сгорания. • Ступенчатое сжигание топлива – низкоимпульсный основной факел пламени создается в горловине пламенного окна регенеративной печи (10 % полной энергии); вспомогательный факел пламени охватывает основание основного факела пламени, уменьшая температуру его внутренней части
4. Рециркуляция топочного газа	Подразумевает обратное закачивание отработавшего газа из печи в пламя, чтобы уменьшить содержание кислорода и, следовательно, температуру пламени. Использование специальных горелок базируется на внутренней рециркуляции газообразных продуктов сгорания, которые охлаждают основание факела пламени и уменьшают содержание кислорода в самой горячей части пламени.
5. Горелки с низким выходом оксидов азота	Технологический метод основывается на принципах уменьшения максимальных температур пламени, задерживая, но завершая процесс горения и увеличивая теплопередачу (увеличенная излучательная способность пламени). Это может быть связано с модифицированной конструкцией камеры сгорания печи.
6. Выбор топлива	Как правило, печи, работающие на мазуте, демонстрируют более низкие выбросы окислов азота, чем газовые печи вследствие лучшей тепловой излучательной способности и более низкой температуры пламени.
7. Специальная конструкция печи	Печь рекуперативного типа, которая объединяет в себе различные конструктивные особенности, обеспечивающие более низкие температуры пламени. Основными признаками являются:

Технологический метод	Описание
	• определенный тип горелок (количество и расположение) • измененная геометрия печи (высота и размер) • двухступенчатый предварительный нагрев сырья отработавшими газами, проходящими через сырье, поступающее в печь, и предварительного обогревателя привозного стекольного боя, расположенного ниже рекуператора, используемого для предварительного подогрева воздуха, поступающего в зону горения.
8.Стекловарение в электропечи	Технологический метод основывается на использовании стекловаренной печи, в которой энергия обеспечивается с помощью резистивного нагревания. Главными особенностями являются: • электроды обычно вставлены в нижней части печи (с холодным сводом) • в составе шихты электрических печей с холодным сводом часто требуется использование нитратов для обеспечения необходимых окислительных условий для создания устойчивого, безопасного и эффективного производственного процесса
9.Стекловарение с использованием горения топлива в кислороде	Технологический метод предусматривает замену воздуха для системы сгорания с кислородом (> 90 % чистоты) с последовательным устранением/уменьшением выхода термических оксидов азота из азота, попадающего в печь. Остаточное содержание азота в печи зависит от чистоты поставляемого кислорода, от качества топлива (% N₂ в природном газе) и от потенциальной возможности всасывания воздуха.
10.Химическое восстановление топливом	Технологический метод основывается на впрыске органического топлива в отработавший газ с химическим восстановлением оксида азота в N₂ с помощью серии реакций. В процессе 3R топливо (природный газ или мазут) вводится на входе в

Технологический метод	Описание
	регенератор. Технология предназначена для использования в регенеративных печах.
11.Избирательное каталитическое восстановление (SCR)	Технологический метод базируется на уменьшении соотношения оксида азота и азота в слое катализатора посредством реакции с аммиаком (в обычном водном растворе) при оптимальной рабочей температуре, равной приблизительно 300 - 450°C. Могут быть применены один или два слоя катализатора. Более значительное уменьшение оксида азота достигается благодаря использованию большего количества катализатора (два слоя).
12.Избирательное некаталитическое восстановление (SNCR)	Технологический метод базируется на уменьшении соотношения оксида азота и азота в слое катализатора посредством реакции с аммиаком или мочевиной при повышенной температуре. Диапазон рабочих температур необходимо поддерживать между 900 и 1050 °C.
13.Уменьшение использования нитратов в составе шихты	Уменьшение нитратов используется для снижения выбросов окислов азота, происходящих при разложении этого сырья, когда оно применяется в качестве окисляющего вещества для очень высококачественных продуктов, когда требуется получить очень прозрачное стекло или для получения необходимых характеристик у прочих стекол. Могут быть применены следующие средства: • Уменьшение наличия нитратов в составе шихты до минимума, в соответствии с требованиями к изделию и процессу стекловарения. • Замена нитратов альтернативными материалами. Эффективными альтернативами являются сульфаты, оксиды мышьяка, оксид церия. • Применение изменений процесса (например, специальные окислительные условия сгорания)

5.9.668 Выбросы оксидов серы

Технологические методы сокращения выбросов оксидов серы приведены в таблице 5.117.

Таблица 5.117. Методы сокращения выбросов оксидов серы

Технологический метод	Описание
Сухая или полусухая очистка газа, в сочетании с использованием системы фильтрации	Сухой порошок или суспензия/раствор щелочного реагента вводятся в поток отработавшего газа и диспергируются. Материал реагирует с газовыми примесями серы, образуя твердое соединение, которое должно удаляться посредством фильтрации (мешочный фильтр или электростатический пылеуловитель). Как правило, использование реакционной колонны улучшает эффективность работы системы очистки газа
Минимизация содержания серы в составе шихты и оптимизация баланса серы	Минимизация содержания серы в составе шихты применяется для уменьшения выбросов оксида серы, возникающих при разложении содержащего серу сырья (как правило, сульфатов), используемого в качестве осветляющего вещества. Эффективное уменьшение выбросов оксида серы зависит от фиксации сернистых соединений в стекле, которое может значительно изменяться в зависимости от типа стекла и от оптимизации баланса серы.
Использование топлива с низким содержанием серы	Использование природного газа или топочного мазута с низким содержанием серы используется для уменьшения количества выбросов оксида серы, возникающих при окислении серы, содержавшейся в топливе во время процесса горения.

5.9.4 Выбросы HCl, HF

Технологические методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов приведены в таблице 5.118.

Таблица 5.118. Методы сокращения выбросов хлоридов и фторидов

Технологический метод	Описание
Выбор сырья для состава шихты с низким содержанием хлора и фтора	Технологический метод основывается на тщательном отборе сырья, которое может содержать хлориды и фториды в качестве примесей (например, синтетическая кальцинированная сода, доломит, привозной стекольный бой, повторно используемая пыль из фильтров) для того, чтобы уменьшить первичные выбросы HCl и HF, которые возникают в результате разложения этих материалов во время процесса стекловарения.
Минимизация количества соединений фтора и/или хлора в составе шихты и оптимизация баланса масс хлора и/или фтора	Минимизация выбросов фтора и/или хлора в процессе стекловарения может быть достигнута путем ограничения/уменьшения до минимума количества этих веществ, используемых в составе шихты, в соответствии с качеством конечного продукта. Соединения фтора (например, флюорит, криолит, фторсиликат) используются для придания конкретных особенностей специальным стеклам (например, непрозрачное стекло, оптическое стекло). Соединения хлора могут использоваться в качестве осветляющих веществ.
Сухая или полусухая очистка газа, в сочетании с использованием системы фильтрации	Сухой порошок или суспензия/раствор щелочного реагента вводятся в поток отработавшего газа и диспергируются. Материал реагирует с газообразными хлоридами и фторидами, образуя твердое соединение, которое должно удаляться посредством фильтрации (мешочный фильтр или электростатический пылеуловитель).

5.9.5 Выбросы металлов

Технологические методы сокращения выбросов металлов приведены в таблице 5.119.

Таблица 5.119. Методы сокращения выбросов металлов

Технологический метод	Описание
Выбор сырья для состава шихты с низким содержанием металлов	Технологический метод основывается на тщательном отборе компонентов шихты, которые могут содержать металлы в качестве примесей (например, привозной стекольный бой), для того, чтобы уменьшить первичные выбросы металлов, которые возникают в результате разложения этих материалов во время процесса стекловарения.
Уменьшение использования соединений металлов в составе шихты в случаях, когда согласно требованиям потребителя к качеству стекла необходимо выполнять окраску и обесцвечивание стекла	Минимизация выбросов металлов во время процесса стекловарения может быть достигнута следующим образом: • путем ограничения количества соединений металлов в составе шихты (например, железа, хрома, кобальта, меди, соединений марганца) при производстве цветных стекол • путем уменьшения количества соединений селена и оксида церия, используемых в качестве обесцвечивающего средства при производстве прозрачного стекла
Уменьшение использования соединений селена в составе шихты путем надлежащего выбора сырья	Минимизация выбросов селена во время процесса стекловарения может быть достигнута: • путем ограничения/уменьшения до минимума количества селена в составе шихты, в соответствии с требованиями к изделию • путем выбора сырья с селеном с меньшей испаряемостью, для того чтобы уменьшить явления испарительного переноса во время процесса стекловарения
Применение системы фильтрации	Системы снижения запыленности (мешочный фильтр и электростатический пылеуловитель) могут уменьшить и количество выбросов и пыли, и металлов, так как выброс металлов во

Технологический метод	Описание
	время процесса варки стекла в значительной степени происходит в форме твердых частиц. Однако, для некоторых металлов, представляющих собой чрезвычайно летучие соединения (например, селен), эффективность очистки может значительно отличаться в зависимости от температуры фильтрования.
Сухая или полусухая очистка газа, в сочетании с использованием системы фильтрации	Количество металлов в газообразном состоянии может быть значительно снижено путем применения технологического метода сухой или полусухой очистки газа с помощью щелочного реагента. Щелочной реагент реагирует с газовыми примесями, образуя твердое соединение, которое должно удаляться посредством фильтрации (мешочный фильтр или электростатический пылеуловитель).

5.9.6 Комбинированные выбросы газообразных отходов (например, оксид серы, HCl, HF, соединения бора)

Технологические методы сокращения выбросов газообразных отходов приведены в таблице 5.120.

Таблица 5.120. Методы сокращения выбросов газообразных отходов

Технологический метод	Описание
Мокрая очистка газа	В процессе мокрой очистки газа газообразные соединения растворяются в специальной жидкости (водный или щелочной раствор). Ниже скруббера с водяным орошением топочные газы насыщаются водой, и перед выходом топочных газов требуется выполнять туманоулавливание. Получающаяся в результате жидкость должна быть обработана с помощью процесса обработки отработавшей воды, и нерастворимое вещество должно быть собрано посредством осаждения отстаиванием или фильтрации

5.9.7 Комбинированные выбросы загрязняющего вещества (твердые + газообразные)

Технологические методы сокращения комбинированных выбросов загрязняющих веществ приведены в таблице 5.121.

Таблица 5.121. Методы сокращения смешанных выбросов твердых и газообразных веществ

Технологический метод	Описание
Мокрая очистка газа	В процессе мокрой очистки газа (посредством специальной жидкости: водный или щелочной раствор) может быть достигнуто одновременное удаление твердых и газообразных соединений. Критерии проектирования для удаления твердых частиц или газа отличаются; поэтому, конструкция часто является компромиссом между этими двумя вариантами. Получающаяся в результате жидкость должна быть обработана с помощью процесса обработки использованной воды, и нерастворимое вещество (выбросы твердых загрязняющих веществ и продуктов от химических реакций) должно быть собрано посредством осаждения отстаиванием или фильтрации. В секторе производства минерального волокна и стекловолокна из непрерывной нити, наиболее распространенными системами являются: • скрубберы с насадкой с напорными соплами, расположенными по ходу спереди • скрубберы с трубами Вентури
Влажный электростатический пылеуловитель	Технологический метод основывается на электростатическом пылеуловителе, в котором собранный материал удаляют с пластин коллекторов, смывая его специальной жидкостью, обычно водой. Обычно устанавливается некий механизм для удале-

Технологический метод	Описание
	ния капле воды перед выбросом отработавшего газа (влагоуловитель или последнее сухое поле)

5.9.8 Выбросы загрязняющих веществ в процессе операций по резанию, шлифовке, полировке

Технологические методы сокращения выбросов загрязняющих веществ при механической обработке стекла (резке, фрезировании, шлифовке, полировке) приведены в таблице 5.122.

Таблица 5.122. Методы сокращения выбросов при механической обработке стекла

Технологический метод	Описание
Выполнение пыльных работ (например, резание, шлифование, полирование) с использованием жидкости	Вода обычно используется в качестве охлаждающей жидкости при выполнении операций по резанию, шлифовке, полировке и для предотвращения выбросов пыли. Может понадобиться вытяжная система, снабженная брызгоуловителем.
Применение системы мешочных пылеуловителей	Использование мешочных фильтров применяется для уменьшения выбросов, как пыли, так и металлов, так как металлы от последующих технологических процессов в значительной степени содержатся в виде твердых частиц.
Уменьшение потерь полировального материала, обеспечивая хорошее уплотнение прикладной системы	Полирование с использованием кислоты выполняется путем погружения изделий из стекла в полировальную ванну с гидрофтористой и серной кислотой. Выброс паров может быть ограничен благодаря использованию хорошей конструкции и техническому обслуживанию прикладной системы для ограничения потерь.
Применение вспомогательного технологического метода, например,	Мокрая очистка газа с помощью воды используется для обработки отработавших газов, из-за кислотного характера выбросов загрязняющих веществ и высокой растворимости га-

Технологический метод	Описание
мокрой очистки газа	зоообразных загрязнителей, которые необходимо удалять.

5.9.9 Выбросы H_2S , летучих органических соединений

Технологические методы сокращения выбросов летучих органических соединений приведены в таблице 5.123.

Таблица 5.123. Методы сокращения выбросов летучих соединений

Технологический метод	Описание
Сжигание отработавшего газа	Технологический метод основывается на системе термического сжигания газообразных выбросов, которая окисляет сероводород (образуемый вследствие сильных восстановительных условий в стекловаренной печи) до сернистого ангидрида и оксида углерода до диоксида углерода. Летучие органические соединения термически сжигаются с последующим окислением до диоксида углерода, воды и прочих продуктов горения (например, NO_x , SO_x).

6 Экономические аспекты внедрения наилучших доступных технологий на стекольных заводах

Приведенная в данной главе методология оценки расходов использована для обоснования большинства заключений о стоимости работ и таблиц, представленных в главе 4 в разделах «Экономика», и предназначена для секторов стекольной промышленности, рассматриваемых в этом справочнике. Данные, представленные в главе 4 и в этом разделе, относятся к величинам стоимости и межсредовым последствиям, применяемым к разным отраслям производства стекла и размерам печей, для контроля загрязнения воздуха.

Этот раздел описывает методологию, которая применяется для оценки дополнительных производственных расходов, связанных с монтажом и эксплуатацией кон-

трольного оборудования на стекольном заводе. В этом разделе также описывается расчет дополнительных расходов, связанных с применением модернизации стекловаренных печей (изменения конструкции печи, перевод печи с горения с помощью воздуха на горение с кислородом или электрическое стекловарение), выполняемых с основной задачей снижения уровней выбросов (в концентрациях или в абсолютных величинах) для определенных загрязняющих веществ.

Методология для таких расчетов была разработана в Нидерландах с целью стандартизации расчета расходов и последствий для защиты окружающей среды независимо от внутренних величин стоимости, применяемых компанией, которая использует эту исследуемую технологию. В настоящее время эта методология широко используется в европейских странах для анализа экономической эффективности экологических мероприятий, поэтому с целью гармонизации отечественных исследований с зарубежными аналогами предлагается использовать её в России.

Учитывая, что основные выбросы в стекольной промышленности обычно происходят от процесса стекловарения, здесь рассматриваются только расходы на снижение твердых и газообразных выбросов от стекловаренных печей.

6.1. Включенные издержки и экономическая оценка

Дополнительные расходы на системы контроля загрязнения воздуха (АРС) должны включать в себя капиталовложения/инвестиции в дополнительное оборудование или на модернизацию действующего оборудования. Эти расходы распространяются на экономический срок службы, и рассчитываются в виде капиталовложений в год. Эти расходы включают в себя ежегодные суммы амортизационных отчислений плюс ежегодные расходы на выплату процентов.

Типичные капиталовложения представляют собой следующее (например):

- Фильтры, скрубберы, оборудование избирательного каталитического восстановления (SCR), новые горелки, изменения конструкции печи;
- Трубопроводы, арматура для действующих систем отходящих газов, дополнительные вентиляторы или повышение производительности вентиляторов, чтобы ком-

пенсировать перепад давления отходящих газов по всему оборудованию (фильтр, избирательное каталитическое восстановление (SCR), скруббер);

- Хранение (силос) и транспортировка отходов, например, уловленная пыль от фильтров;

- В случае мокрых систем газоочистки: системы водной очистки отходов и обработка шлама;

- Инженерные, строительные и монтажные работы на площадке;

- Транспортировка нового оборудования;

- Подготовка площадки основания здания;

- Электропитание, трансформаторы;

- Реконструкция дымовых труб и строительство новых дымовых труб;

- Расходы на лицензию (их часто включают в стоимость основного оборудования);

- Система непрерывного мониторинга состава отходящих газов (NO_x , SO_x , O_2 , пыль), необходимая для проверки рабочих характеристик системы контроля загрязнения воздуха (APC), и систем обнаружения неполадок (таких как выход из строя катализатора или его загрязнение, дефективных модулей рукавных фильтров) в работе системы контроля загрязнения воздуха (APC).

В этом исследовании процентная ставка, которая применяется к этим инвестициям, составляет 6 % ежегодно, срок полной амортизации оборудования взят 10 лет, принимая во внимание средний срок службы оборудования системы контроля загрязнения воздуха (APC) и экономический срок списания этих типов оборудования. Что касается зданий, фундамента и других инфраструктурных работ, техническое устаревание равномерно распределяется на 25 и более лет.

Формула, использованная для расчета возмещения учетной ставки и времени списания относительно средних ежегодных расходов на системы контроля загрязнения воздуха (APC), выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} & \text{Капиталовложения в руб./год} = \text{Стоимость оборудования} \times \\ & \left[\frac{\{(1+I/100)^{\text{ELE}}\}}{\{(1+I/100)^{\text{ELE}}-1\}} \times I/100 + \text{стоимость инфраструктуры} \times \right. \\ & \left. \frac{\{(1+I/100)^{\text{ELI}}\}}{\{(1+I/100)^{\text{ELI}}-1\}} \times I/100 \right] \end{aligned}$$

Где:

ELE = время списания этого оборудования в годах (величина по умолчанию: 10 лет)

ELI = время списания инфраструктурных инвестиций в годах (величина по умолчанию: 25 лет)

I = годовая учетная ставка на капитал, в % (величина по умолчанию: 6 %/год)

Расходы на оборудование = текущая величина всего закупленного оборудования и монтаж этого оборудования, плюс списание в текущих ценах

Инфраструктурные расходы = текущая величина стоимости фундаментов, электропитания, зданий и некоторые расходы на модернизацию дымовой трубы.

Эксплуатационные расходы оборудования контроля загрязнения воздуха представлены ниже:

- Дополнительное энергопотребление: Важным фактором является электроэнергия, используемая для производства кислорода, работы электродвигателя вентилятора и для потребления сжатого воздуха (очистка фильтров, впрыск абсорбционной среды в поток газа, аспирация раствора аммиака).

- Химические реагенты: Раствор аммиака (или мочевины), известняк или гашеная известь (для скрубберов), карбонат натрия или двууглекислая сода.

- Дополнительное топливо: Например, для компенсации потерь энергоэффективности в некоторых случаях или для впрыска углеводорода в отходящие газы, если применяется 3R.

- Кислород: Кислород поставляется баллонами, если существует небольшой спрос (малые печи). В этом случае кислород будет более дорогим по сравнению со случаями производства больших количеств кислорода на месте с помощью криогенной дистилляции или процессов с молекулярным ситом (методы PSA или VSA/VPSA). Некоторые стекольные компании могут прямо получать поставки по трубопроводам для жидкого кислорода из окрестностей. Цены на кислород могут быть в диапазоне от 3 до 9 руб. на м³ (чистый), в зависимости от уровня потребления (потребность в кислороде), условий контракта, расстояния до места производства кислорода и местных цен на электричество.

- CO₂ дает возможность: Дополнительное энергопотребление ископаемого топлива, связанное с работой систем контроля загрязнения воздуха (APC) (т.е., процесса 3R)

или варианты потребностей в ископаемом топливе для разных типов печей (горение на основе кислорода против горения на основе воздуха), меняет объем выбросов CO_2 и требует наличия разрешения на CO_2 (в данном исследовании предполагается, что разрешение 1 тонну выбросов CO_2 будет стоить 1200 руб.).

- Утилизация пыли фильтров: Стекольные компании хотят повторно использовать пыль фильтров в качестве сырьевого материала в шихте. Однако в случае неприемлемой серы или накопления хлорида в системе или проблем с переносом тонкой пыли в печи, часть (или иногда вся) пыль из фильтра должна быть утилизирована на свалках. Утилизация плюс транспортировка может составить до 24 тыс. руб. на тонну пыли.

- Техобслуживание и эксплуатация оборудования персоналом.

- Регулярная настройка и калибровка оборудования мониторинга отходящих газов.

- Вода, используемая для очистки, полусухой или мокрой газоочистки или для подготовки растворов аммиака.

- Ремонтные работы.

- Замена модулей катализатора или модулей рукавных фильтров с типовым сроком службы 5 лет.

Чтобы рассчитать расходы на расходные материалы и энергию, были взяты следующие специальные уровни цен по умолчанию:

- Электричество: 5 руб. за кВт (включая налоги), оценка цен на электроэнергию для крупных промышленных потребителей;

- Природный газ/ мазут: 626 руб./Дж (на основе нетто теплотворной величины способности, включая налоги) или 580 руб./брутто Дж;

- Цена на кислород: 3,6 руб. за м^3 для крупных потребителей и 6 руб. за м^3 для малых потребителей;

- Модули катализаторы для систем избирательного каталитического восстановления (SCR) 720 тыс. руб. за м^3 ;

- Вода: 120 руб. за м^3 ;

- Аммиак (NH_3): 24 тыс. руб. за тонну

- Гашеная известь: 10500 руб. за тонну (высокого качества);

- Кальцинированная сода: 9600 руб. за тонну;

- Двууглекислая сода: 12600 руб. за тонну;
- CO_2 дает возможность: 1200 руб. за тонну CO_2 ;
- Оплата труда: 360 тыс. руб. на одного человека в год (1680 часов)
- Утилизация отходов (если требуется): 24 тыс. руб. на тонну отходов (химические отходы).

6.2. Сравнение стоимостей для разных технологий

В нескольких случаях расходы, связанные со снижением выбросов загрязняющих веществ, нельзя напрямую вывести из капиталовложений на природоохранное оборудование в конце производственного цикла (такое как скрубберы, фильтры или избирательное каталитическое восстановление (SCR)) и связанные с ним эксплуатационные расходы. Особенно в случае применения первичных мер/работ разница в производственных затратах между обычным процессом и новым процессом с меньшим уровнем выбросов должна быть определена, и разница между объемом выбросов в обоих случаях (до и после внедрения НТД) должна быть оценена, чтобы вывести специальные расходы на газоочистку (расходы на кг удаленного вещества).

Пример дается для случая применения стекольных печей с горением на основе кислорода. Общие расходы на стекловарение, рассчитанные за период типового срока службы печи, включают в себя расходы на печь и связанное оборудование, затраты на энергию и кислород, а также производственные потери во время ремонта или капитального ремонта. Общие расходы, деленные на общее производство за этот период, равны расходам на стекловарение.

Горение на основе кислорода рассматривается в качестве первичной меры/работы (чтобы не допустить образования NO_x), и применяется в Европе и США, в основном, чтобы снизить выбросы NO_x . Модернизация стекольной печи горения на основе воздуха (конвекционное) на горение на основе кислорода приводит в результате к разнице стоимости стекловарения на тонну стекла, что далее вносит свой вклад в снижение выбросов NO_x , выраженное в руб. на тонну сниженного NO_x .

Также при электрическом плавлении, в качестве альтернативы снижению выбросов с помощью основных мер по борьбе с выбросами, разница в затратах на стекловаре-

ние в электропечи, рассчитанная в течение достаточно длительного времени (например, 10 или 15 лет), и затратах на выплавку в печах, работающих на смеси воздушного и газового топлива, объясняется сокращением выбросов. Только в тех случаях, в которых основная цель применения технологии заключается не в сокращении выбросов, разница в расходах не относится на счет устраняемых загрязняющих веществ.

6.3. Данные о расходах на контроль загрязнения воздуха

В настоящем исследовании капитальные и операционные затраты рассчитаны или оценены на основе данных существующих установок или недавних оценках от поставщиков систем АРС для стекольной промышленности.

В нескольких соответствующих случаях: печи для стекловарения тарного стекла, флоат-стекла, столовой посуды и непрерывного стекловолокна, затраты на различные типы оборудования АРС объясняются емкостью печи (приспособленной, чтобы обрабатывать объемы вырабатываемых отходящих газов) и типами загрязняющих веществ, которые необходимо убрать.

Например, для печи тарного стекла, производящей 300 тонн в сутки расплавленного стекла (в среднем), оборудованной сухим скруббером и пылеуловителем с рукавными фильтрами, общие годовые расходы определяются с учетом процента обесценивания инвестиций и эксплуатационных расходов. Эти расходы могут быть разделены на объем суммарного годового производства расплавленного стекла для оценки затрат АРС на тонну расплава стекла. Затраты также могут быть разделены на совокупное количество сокращения выбросов того или иного загрязнителя, которое снизилось за один год благодаря применению этого оборудования АРС.

Таким образом, затраты на контроль загрязнения воздуха могут быть выражены в форме:

- Затраты на тонну расплава стекла (средние);
- Затраты на килограмм снижения выбросов определенного загрязняющего вещества, которое снижается с помощью применения НДТ. Иногда комплексная АРС система позволяет сократить выбросы от нескольких видов загрязнений. Например, скруббер плюс фильтр сократят выбросы SO_x и пыли. В этом случае распределение затрат на со-

кращение выбросов различных загрязнителей четко определяется, поскольку 1 кг сокращения выбросов SO_x не может рассматриваться как эквивалент сокращения выбросов 1 кг пыли (твердых частиц).

- Суммарные годовые расходы на капитал и эксплуатацию.
- Годовые затраты на контроль загрязнений воздуха в отношении оборота производства стекла.
- Годовые затраты на контроль загрязнений воздуха по сравнению с рыночной стоимостью произведенного стекла.
- Годовые затраты на контроль загрязнений воздуха против суммарных производственных затрат (стекловарение, формование, энергия, сырье, затраты на персонал для полной производственной установки, налоги).

В настоящем исследовании суммарные годовые затраты APC, затраты на тонну расплавленного стекла (издержки производства конкретных изделий) и на килограмм сокращения выбросов определяются для существующих установок и установок, недавно введенных в действие или запланированных.

6.4. Распределение затрат APC в комбинированных системах, рассчитанных на удаление более, чем одного вида загрязнителя

Данный метод содержит критерии расчета удельных затрат на применение контроля атмосферных выбросов, когда происходит сокращение выбросов нескольких загрязнителей, присутствующих в отходящих газах. Затраты на единицу (тонну) сокращенных выбросов рассчитаны для каждого компонента с использованием весовых коэффициентов. Весовые коэффициенты основаны на предельных значениях выбросов. Это означает, что сокращение выбросов компонента с предельным показателем выброса $X \text{ мг/нм}^3$ в Y/X раз важнее, чем для другого загрязняющего вещества с пределом выбросов $Y \text{ мг/нм}^3$.

Весовой коэффициент для пыли составляет 10, по сравнению с SO_x – 0.5, поскольку предел выбросов для пыли, выраженный в мг/нм^3 в 20 раз ниже, чем предел для SO_x .

Пример:

В настоящем исследовании использован метод на основе весового коэффициента для пыли (W_d) 10 и для SO_x (W_s) - 0.5. Удельные расходы на борьбу с выбросами SO_x рассчитаны на основе общих годовых расходов (Q) в руб. (капитальные затраты и эксплуатационные затраты) для системы, состоящей из фазы скрубберов плюс фильтра, примененного для сокращения уровня выбросов из стекловаренной печи, количества килограммов выбросов твердых частиц, сокращенных за год (R_d) и сокращения выбросов SO_x в килограммах за год (R_s).

Удельные затраты на снижение выбросов SO_x в руб. на килограмм сокращения выбросов $SO_x = Q \times W_s / (W_s \times R_s + W_d \times R_d)$

Удельные затраты на снижение выбросов пыли в руб. на килограмм сокращения выбросов пыли $= Q \times W_d / (W_s \times R_s + W_d \times R_d)$

Весовые коэффициенты указаны следующим образом:

SO_x (выражено в SO_2): 0.5

Твердые частицы 10

NO_x (выражены в NO_2): 0.5.

6.5. Межсредовое загрязнение

Потребление электроэнергии, связанное с выработкой кислорода, или химических агентов, таких как карбонат натрия, гашеной извести, бикарбоната натрия и прочих реагентов, таких как аммиак, связано с косвенными выбросами. Кроме того, в случае избыточного потребления ископаемого топлива вследствие применения систем контроля загрязнений воздуха (например, 3R), производятся дополнительные выбросы (главным образом, CO_2).

В таблице 6.1 показаны косвенные выбросы, связанные с производством электроэнергии, реагенты и химические вещества, использованные для эксплуатации систем контроля загрязнения воздуха.

Таблица 6.1. Косвенные выбросы, связанные с потреблением химических веществ и электричества

Химическое вещество/ энергоноси-		NO_x	SO_x	CO_2	NH_3
----------------------------------	--	--------	--------	--------	--------

тель	Единица	Граммы	Граммы	Кг	Граммы
Аммиак	Тонна	1000	NA	1150	1000
Гидроксид кальция (гашеная известь)	Тонна	150	NA	800	NA
Карбонат натрия	Тонна	529	NA	661	551
Бикарбонат натрия	Тонна	330	NA	438	350
Электричество	кВтч	1.715	6.24	0.683	NA
Кислород	Тонна	453	1650	180	NA

NA = не применимо;

- Выбросы – приведены в пересчете на 1 тонну или на 1 кВтч

- только выбросы на протяжении производства, за исключением выбросов в ходе транспортировки

- Данные по аммиаку: Справочный документ по наилучшим применимым технологиям производства большого объема неорганических химических веществ – аммиака, кислот и удобрений,

- Данные по карбонату натрия и бикарбонату натрия: Справочный документ по наилучшим применимым технологиям производства большого объема неорганических химических веществ – твердые вещества и прочие отрасли

- Данные по гашеной извести: оценки кальцинации известняка: CO₂ от известняка плюс затраты энергии в обжиговой печи (информация от одного из производителей гашеной извести в Европе).

6.6. Пример расчета затрат

В таблице 6.2 показан пример расчета затрат с использованием ранее описанной методологии, для системы APC, состоящей из электростатического осадителя со скруббером Ca(OH)₂, примененного к печи по выплавки флоат-стекла на газовом топливе с производительностью 700 тонн в сутки.

Таблица 6.2. Пример расчета затрат (Электростатический осадитель плюс скруббер $\text{Ca}(\text{OH})_2$) для регенеративной печи с поперечным направлением пламени на газовом топливе, выплавляющей флоат-стекло с объемом выхода 700 тонн в сутки.

Расплавленное стекло	700	Т/сутки	
Поточная сушка топочного газа	88 000	нм ³ /ч сухой процесс	8 % O ₂
Поток топочного газа	98 000	нм ³ /ч мокрый процесс	8 % O ₂
Система снижения температуры	350-400	°C	
Капитальные затраты			
Затраты на инженерное проектирование	10 800 000	Руб.	
Затраты на ввод в эксплуатацию и обучение	1 860 000	Руб.	2 человека/ месяц
Система водоохлаждения	4 500 000	Руб.	
Инвестиции в трубные фильтры (ESP) и изоляцию	130 800 000	Руб.	
Изоляция вентилятора	26 400 000	Руб.	
Инвестиции в скруббер	15 000 000	Руб.	
Инвестиции в инжектор известняка ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) гидроксида натрия			Включены в скруббер
Инвестиции в оборудование по удалению пыли из фильтра	7 200 000	Руб.	
Инвестиции в мониторинг количества фильтрованной пыли и SO _x	3 900 000	Руб.	
Инвестиции в изменения	30 912 000	Руб.	

Расплавленное стекло	700	Т/сутки		
дымовых труб и подключений				
Транспортные расходы на элементы оборудования	7 500 000	Руб.		
Расходы на вывод из эксплуатации	8 748 000	Руб		6 % инвестиций в фильтр+скруббер
Совокупные капитальные расходы	247 620 000	Руб.		
Инвестиции в электро-снабжение	20 400 000	Руб.		
Фундамент и здания, подготовка площадки	16 350 000	Руб.		
Контрольно-измерительное оборудование				Включено в другие статьи расходов
Общие затраты на фундамент / общегражданские работы	36 750 000	Руб.		
Совокупные инвестиции	284 370 000	Руб.		
Процентная ставка	6	%		
Продолжительность эксплуатации установки	10	лет		
Капитальные затраты за год	38 636 771	Руб.		
Эксплуатационные затраты				
Абсорбент (гашеная известь)	7 068 900	Руб./год	3.31	Т/т удаленного SO ₂ (эффективность 35 %)
Электричество	14 348 880	Руб./год	12,48	КВт/ ч /т стекла (вентиляторы, электростатический осадитель)

Расплавленное стекло	700	Т/сутки		
				тель, контрольно-измерительное оборудование)
Сжатый воздух (6 атм.)	3326880	Руб./год	400	нм ³ /ч сжатый воздух
Расходы на рабочую силу	360 000	Руб./год	0.75	человек/год
Калибровка и техобслуживания системы мониторинга	600 000	Руб./год		
Замена фильтрующей ткани	0			
Удаление отходов	2338670	Руб./год	974.45	т/год
Вода	4 047 120	Руб./год	7.7	м ³ /ч
Совокупные эксплуатационные расходы за год	32 090 450	Руб.		
Совокупные затраты за год	70 727 221	Руб.		
Затраты на конкретные изделия				
Итого тонн расплава стекла	255 500	Т расплава стекла / год	355	Руб./т расплава стекла
Итого нетто тонн стекла	229 950	Нетто тонн стекла/ год	395	Руб./т стекольного продукта
Весовой коэффициент SO ₂	0.5			
Весовой коэффициент пыли	10			
Изначальное содержание SO _x	800	мг/нм ³		
Содержание SO _x после APC	536	мг/нм ³		
Изначальное содержание пыли	140	мг/нм ³		
Содержание пыли после APC	5	мг/нм ³		
Объемный поток отходящих	88 000	нм ³ /ч, сухой		

Расплавленное стекло	700	Т/сутки		
газов через фильтр		процесс, 8 % O ₂		
Количество сокращения SO _x (в виде SO ₂)	203.5	т/год	31	Руб./кг SO ₂
Показатель снижения запы- ленности	104.1	т/год	619	Руб./кг пыли
Выбросы, связанные с потреблением электроэнергии (косвенные выбросы электростан- ции)				
NO _x			4,9	Т/год
SO _x			17,9	Т/год
CO ₂			1960	Т/год
Выбросы, связанные с использованием Ca(OH) ₂				
NO _x			0.1	Т/год
CO ₂			539	Т/год

*6.7. Данные о себестоимости систем контроля загрязнения воздуха (APC), при-
мененных к стекловаренным печам*

В настоящем разделе представлено резюме оценки расходов, связанных с реализацией различных систем контроля загрязнения воздуха (APC) для стекловаренных печей.

В таблице 6.3 содержится отчет об оценке расходов касательно применения электростатического осадителя в сочетании со стадией сухой очистки скрубберами, примененной к различным стекловаренным печам. В таблице показаны суммарные инвестиционные расходы (вторая колонка), расходы на инвестиции (амортизация и проценты) за год, эксплуатационные расходы и удельные расходы на различные печи по трем секторам стекольной промышленности, как с применением системы рециркуляции фильтрованной пыли, так и без применения данной системы. Также представлены расходы на кг SO₂ или на килограмм удаленной пыли из топочного газа. Эти расходы зависят от множества факторов, поскольку для одного и того же типа стекла и объема производ-

ства, затраты на обработку скрубберами и фильтрацию могут различаться из-за различных объемов топочного газа, добавления гашеной извести и слишком большого размера оборудования (с тем, чтобы оно было способно обслуживать APC даже при максимальном уровне производства).

Часть совокупных издержек, как предполагается, связана с удалением пыли, а другая часть – с сокращением выбросов SO_x .

В таблице 6.4 представлены сводные данные по оценке расходов, связанных с применением системы контроля загрязнения воздуха при использовании пылеуловителя с рукавными фильтрами плюс стадии очистки скрубберами (сухая и полусухая очистка) для различных секторов стекольной промышленности и различных емкостей печей.

В таблице 6.5 представлен обзор различных методов, применимых к удалению SO_x , HF, HCl или соединений бора, а также соединений селена из отходящих газов стеклоплавильных печей. В ней обобщены данные об эффективности, преимуществах, недостатках, пограничных состояниях и затратах, связанных с различными технологиями удаления SO_x (десульфуризации). Данные о затратах приведены в пересчете на тонну расплава стекла и относятся к применениям в печах по плавлению флоат-стекла или тарного стекла. Два различных варианта - с полной переработкой фильтрованной пыли в рецепте шихты или внешней утилизации в места захоронения отходов представлены в таблице. Разница между двумя значениями основана на характерных расходах по утилизации фильтрованной пыли. Утилизация плюс транспорт могут составлять до 24000 руб. на тонну пыли. В статье расходов, указанных в таблице 6.5, учитывается средняя ситуация по России. Следует принять во внимание, что эти расходы могут существенно различаться по различным регионам и меняться во времени (например, расходы на энергоресурсы сильно варьируются).

Сводная информация по затратам производства конкретных изделий в связи с различными системами контроля загрязненности воздуха (APC), примененными к комбинированному снижению уровня запыленности и SO_x , представлена в таблице 6.6.

Таблица 6.3: Оценка затрат для систем контроля загрязненности воздуха с помощью электростатических осадителей плюс очистки сухими скрубберами, примененными к топочным газам из стеклоплавильных печей

Методы APC и применения (¹) (²)	Совокупные инвестиции в руб.	Инвестиции в год руб.	Эксплуатация в руб./ год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V т пыли/ год	V т SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./ кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий: руб./ кг пыли
Электростатический осадитель плюс сухой скруббер с Ca(OH) ₂								
Печи для стекловарения фло- ат-стекла 600 т/с с переработ- кой фильтрованной пыли	234254400	30000000	22560000	288	-78	- 153	30	600
Печи для стекловарения фло- ат-стекла 700 т/с с переработ- кой фильтрованной пыли	282000000	36192000	29280000	256	-104	- 203	29	573
Печи для стекловарения фло- ат-стекла 800 т/с с переработ- кой фильтрованной пыли	327600000	42042000	34500000	233	-130	- 254	27	536
Печи для стекловарения фло-	234254400	30000000	41280000	396	-78	-	41	832

Методы APC и применения (¹) (²)	Совокупные инвестиции в руб.	Инвестиции в год руб.	Эксплуатация в руб./ год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V т пыли/ год	V т SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./ кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий: руб./ кг пыли
ат-стекла 600 т/с с утилиза- цией всей фильтрованной пыли						153		
Печи для стекловарения фло- ат-стекла 700 т/с с утилиза- цией всей фильтрованной пыли	282000000	36192000	53760000	352	-104	- 203	40	787
Печи для стекловарения фло- ат-стекла 800 т/с с утилиза- цией всей фильтрованной пыли	325600000	42042000	64800000	326	-130	- 254	38	750
Печи для стекловарения фло- ат-стекла 700 т/с с утилиза- цией всей фильтрованной пыли и в 1.5 раза больше абсорбен- та	282000000	36192000	68760000	409	-104	- 308	44	874
Тарное стекло 300 т/с с пере-	142800000	18600000	11100000	271	-25.6	-	50	990

Методы АРС и применения (¹) (²)	Совокупные инвестиции в руб.	Инвестиции в год руб.	Эксплуатация в руб./ год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V т пыли/ год	V т SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./ кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий: руб./ кг пыли
работкой фильтрованной пыли						86.7		
Тарное стекло 200 т/с с утилизацией всей фильтрованной пыли	132000000	17280000	12060000	402	-18.7	-40	71	1428
ESP плюс сухой скруббер с Ca(OH) ₂								
Печь для стекловарения столовой посуды 35 т/с с утилизацией всей фильтрованной пыли	714000000	93900000	34200000	1002	-4.63	-4.8	132	2634
Печь для стекловарения столовой посуды 35 т/с с рециркуляцией всей фильтрованной пыли	701400000	93600000	26100000	939	-4.63	-4.8	123	2466

Методы APC и применения (¹) (²)	Совокупные инвестиции в руб.	Инвестиции в год руб.	Эксплуатация в руб./ год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V т пыли/ год	V т SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./ кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий: руб./ кг пыли
- пыль: типичные значения между 10 и 20 мг/нм³, с оптимизированными значениями между 5 и 10 мг/нм³ - SO₂: характерная эффективность удаления с Ca(OH)₂ составляет между 25 и 33 %.								

Таблица 6.4: Оценка расходов к системам контроля загрязнения воздуха с пылеуловителями с рукавными фильтрами плюс скрубберами, примененными к топочным газам из стекловаренных печей

Методы и применения APC (¹) (²) (³)	Инвестиции в руб.	Инвестиции в год в руб.	Эксплуатация в руб./год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V тонн пыли/ год	V тонн SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий, руб./ кг пыли
Пылеуловитель с рукавными фильтрами плюс сухой скруббер								
Флоат-стекло производи-	160200000	20658000	55800000	419	-80	-159	43	865

Методы и применения APC (¹) (²) (³)	Инвестиции в руб.	Инвестиции в год в руб.	Эксплуатация в руб./год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V тонн пыли/ год	V тонн SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий, руб./ кг пыли
тельность 600 т/с с утилиза- цией всей фильтрованной пыли								
Тарное стекло 200 т/с с пере- работкой фильтрованной пы- ли	72660000	9516000	10080000	277	-17.2	-19.9	54	1076
Тарное стекло 300 т/с с пере- работкой фильтрованной пы- ли	86130000	11304000	14040000	231	-20.3	-26.5	59	1174
Тарное стекло 210 т/с с пере- работкой фильтрованной пыли (на газовом топливе)	117600000	15618000	11460000	353	-25	-29	51	1020
Тарное стекло 290 т/с с пере- работкой фильтрованной	111600000	14820000	14100000	273	-28.5	-33	48	960

Методы и применения АРС (¹) (²) (³)	Инвестиции в руб.	Инвестиции в год в руб.	Эксплуатация в руб./год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V тонн пыли/ год	V тонн SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий, руб./ кг пыли
пыли (на газовом топливе)								
Тарное стекло 200 т/с с утили- зацией всей фильтрован- ной пыли	72660000	9516000	13200000	312	-16	-19.1	60	1202
Тарное стекло 300 т/с с утили- зацией всей фильтрован- ной пыли	86130000	11304000	17880000	266	-20.5	-23.6	62	1247
Тарное стекло 210 т/с с утили- зацией всей фильтрован- ной пыли	117600000	15618000	16260000	416	-25	-29	60	1206
Тарное стекло 290 т/с с утили- зацией всей фильтрован- ной пыли	111600000	14280000	19560000	325	-28.5	-33	57	1140
Печь для стекловарения сто-	46260000	5976000	3870000	771	-5.32	-3.25	89	1800

Методы и применения АРС (¹) (²) (³)	Инвестиции в руб.	Инвестиции в год в руб.	Эксплуатация в руб./год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V тонн пыли/ год	V тонн SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий, руб./ кг пыли
ловой посуды 30 т/с с пере- работкой фильтрованной пыли								
Печь для стекловарения сто- ловой посуды 30 т/с с утили- зацией всей фильтрованной пыли	46260000	5976000	4632000	830	-5.32	-3.25	97	1932
Печь для стекловарения сто- ловой посуды 180 т/с с пере- работкой фильтрованной пы- ли	54000000	6900000	10440000	262	-8	-4.3	106	2130
Печь для стекловарения сто- ловой посуды 200 т/с с пере- работкой фильтрованной пы-	54312000	7200000	9300000	235	-11.4	-6.1	70	1410

Методы и применения APC (¹) (²) (³)	Инвестиции в руб.	Инвестиции в год в руб.	Эксплуатация в руб./год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V тонн пыли/ год	V тонн SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий, руб./ кг пыли
ли								
Печь для стекловарения столовой посуды с электроподогревом боросиликатного стекла 150 т/с	69000000	9240000	8460000	324	-68	нд	нд	нд
Печи для стекловарения боросиликатного стекла, кислородно-топливные 100 т/с с утилизацией всей фильтрованной пыли	63440000	9600000	16860000	660	-34	-39	37	738
Пылеуловитель с рукавными фильтрами + полусухой скруббер								
Флоат-стекло 600 т/с без утилизации фильтрованной пыли, выбросы из выпускно-	270000000	35160000	42025200	423	-68.3	-285	47	935

Методы и применения APC (¹) (²) (³)	Инвестиции в руб.	Инвестиции в год в руб.	Эксплуатация в руб./год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V тонн пыли/ год	V тонн SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий, руб./ кг пыли
го клапана: 400 мг SO _x /нм ³								
Флоат-стекло 800 т/с без утилизации фильтрованной пыли	440700000	57796200	56820000	349	-122	-508	39	778
Флоат-стекло 600 т/с с ути- лизацией всей фильтрован- ной пыли	270000000	35160000	69900000	575	-69.4	-290	62	1252
Флоат-стекло 800 т/с с ути- лизацией всей фильтрован- ной пыли	440700000	57796200	106440000	500	-121	-508	56	1115
Печи для стекловарения тар- ного стекла 350 т/с без ути- лизации фильтрованной пы- ли	138270000	18024000	22620000	318	-23.2	- 100.7	720	1441

Методы и применения APC (¹) (²) (³)	Инвестиции в руб.	Инвестиции в год в руб.	Эксплуатация в руб./год	Издержки производства конкретных изделий: руб./т рас- плавленное стекло	V тонн пыли/ год	V тонн SO _x / год	Издержки производства конкретных изделий: руб./кг SO ₂	Издержки производства конкретных изделий, руб./ кг пыли
Печи для стекловарения тар- ного стекла 350 т/с утилиза- цией всей фильтрованной пыли	138270000	18024000	32100000	392	-23.2	- 100.7	89	1777
(1) Затраты на утилизацию фильтрованной пыли, согласно оценке, составляют 24 000 руб./т (²) т/с = тонн в сутки (³) Данные о выбросах, использованные для расчета: - пыль: стандартные значения – между 10 и 20 мг/нм³ для электростатического осадителя, при оптимизированных значениях между 5 и 10 мг/нм³ - Типичная эффективность удаления SO₂ с помощью Ca(OH)₂ составляет между 25 и 33 %.								

Таблица 6.5: Сравнение методов удаления SO_x, HCl, HF и других газовых загрязнителей из отходящих газов стекловаренных печей

Система очистки скрубберами

Тип скруб- бера	сухой					Полусухой			Мокрый
Абсорби- рующий агент	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	NaHCO_3	Некальци- нированная сода $\text{Na}_2\text{H}(\text{CO}_3)_2$ $2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	NaHCO_3	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ суспензия	Na_2CO_3 раствор	Na_2CO_3 рас- твор	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ суспензия
Тип филь- тра	Пылеуловит- ель с рукавными фильтрами	Пылеулови- тель с рукавными фильтрами	Электроста- тический осадитель (ESP ⁽⁺⁾)	ESP ⁽⁺⁾	ESP ⁽⁺⁾	Пылеуло- витель с рукавны- ми филь- трами	Пылеуло- витель с рукавны- ми филь- трами	ESP ⁽⁺⁾	
Примене- ние в сте- кольной промыш- ленности	Высокое	Очень низ- кое	Очень низ- кое	Очень вы- сокое	Среднее	Низкое	Низкое	Низкое	низкое
Характер- ная темпе- ратура °C	140 – 180	140 – 180	300 – 350	300 – 400	250 – 350	160 – 180	180 – 200	250 – 400	60
Эффектив-	10 - 25	75	75 – 90	30 – 40	>60	Не приме-	70 – 90		>90

Система очистки скрубберами									
Тип скруббера	сухой					Полусухой			Мокрый
ность удаления SO_2 в % при стехиометрическом соотношении =1						нимо			
Состав фильтрованной пыли (²)	CaSO_3 , CaSO_4 , CaF_2 , CaCl_2 , CaCO_3 , Ca(OH)_2 , Na_2SO_4	Na_2SO_4 , NaCl	Na_2SO_4 , NaCl	CaSO_4 , CaSO_3 , CaF_2 , Ca(OH)_2	Na_2SO_4 , NaCl	CaSO_4 , CaSO_3 , CaF_2 , Ca(OH)_2	Na_2SO_4 , Na_2SO_3 , Na_2CO_3 , NaCl	Na_2SO_4 , Na_2SO_3 , Na_2CO_3 , NaCl	CaSO_4 , CaSO_3 , CaF_2
Преимущества	Простой процесс, только охлаждение топочного	Простой процесс, только охлаждение топочного	Простой процесс, только охлаждение топочного		Высокая абсорбция HCl и SO_x	Низкое потребление абсорбционного агента		Низкая абсорбционная способность, с сухим,	Низкое потребление абсорбционного агента

Система очистки скрубберами									
Тип скруб- бера	сухой					Полусухой			Мокрый
	газа Обеспечи- вает пыле- удаление и реакцию	газа Обеспечи- вает пыле- удаление и реакцию	газа Обеспечи- вает пыле- удаление и реакцию			та, низкие расходы на хими- ческие вещества и более низкие инвести- ционные затраты по сравнению с мокрыми скруббе- рами		мелкодис- персным) измель- ченным в порошок карбона- том натрия Хорошая эффектив- ность так- же может быть до- стигнута	та, низкие расходы на хими- ческие вещества
Недостатки	Высокое по- требление реагентов в случае, если требуется	Дорогосто- ящий реа- гент	Реагент трудно при- обрести	Высокое потребление реагентов в случае, если требуется	Дорогосто- ящий реа- гент	Дорого- стоящая распыли- тельная сушилка,	Дорого- стоящая распыли- тельная сушилка,	Система требует большого техобслу- живания по	Повтор- ный нагрев от- ходящих газов до

Система очистки скрубберами									
Тип скруб- бера	сухой					Полусухой			Мокрый
	высокая эф- фективность удаления, генерирует большое ко- личество фильтро- ванной пы- ли			высокая эффектив- ность уда- ления, гене- рирует большое ко- личество фильтро- ванной пы- ли		дорого- стоящие материалы для пыле- уловите- лей с ру- кавными фильтра- ми Более высокие инвести- ции по сравнению с сухими скруббе- рами	дорого- стоящие материалы для пыле- уловите- лей с ру- кавными фильтра- ми Более высокие инвести- ции по сравнению с сухими скруббе- рами	сравнению с сухими фильтрами	дымовых труб, вы- пускается комплекс отрабо- танной воды и сернокис- лого каль- ция (гип- са) а так- же проис- ходит за- грязнение оборудо- вания, вы- сокие ин- вестиции
Важные	Производи-	Дозировка и	Дозировка и	Предпочти-	Дозировка и	Дозирова-	Дозирова-	Дозирова-	Сопри-

Система очистки скрубберами									
Тип скруб- бера	сухой					Полусухой			Мокрый
параметры	тельность улучшает температу- ру, близкую к точке ро- сы; Дозировка, Грануло- метриче- ский анализ Ca(OH)_2	грануло- метриче- ский анализ натрия бикарбоната	грануломет- рический анализ тро- ны <30 мик- рон; пред- почтитель- ным являет- ся смешива- ние в то- почный газ	тельны бо- лее высокие температу- ры (>350 °C) Грануло- метриче- ский анализ поверхност- ной зоны Ca(OH)_2	грануло- метриче- ский анализ карбоната натрия, до- бавление в топочный газ	ние из- вестняка	ние кар- боната натрия	ние карбо- ната натрия	коснове- ние тем- пературы жидкости и газа, ос- новность суспензии
Стоимость тонны рас- плава стек- ла с пере- работкой фильтро- ванной пы- ли (руб./т)	150-180	210	210	180	240	Не из- вестно	300-360	360-480	600-960

Система очистки скрубберами									
Тип скруббера	сухой					Полусухой			Мокрый
Стоимость тонны расплава стекла без переработки фильтрованной пыли (руб./т)	180-240	270	270	270	300	Не известно	420-600	480-660	720-1200
Возможное сочетание с удалением оксидов азота (NO _x)	Отсутствие возможности применения селективного восстановительного (SCR) без предварительного	Отсутствие возможности применения селективного восстановительного (SCR) без предварительного	Температура далее по технологической цепи почке ESP должна составлять >330 °C	Температура далее по технологической цепи почке ESP должна составлять >330 °C	Температура далее по технологической цепи почке ESP должна составлять >330 °C	Отсутствие возможности применения селективного каталитического восстановления (SCR) без	Отсутствие возможности применения селективного каталитического восстановления (SCR) без	Сочетание с SCR только если ESP эксплуатируется при температуре выше 350 – 360 °C	Отсутствие возможности применения селективного каталитического восстановления (SCR) без

Система очистки скрубберами									
Тип скруб- бера	сухой					Полусухой			Мокрый
	подогрева газа	подогрева газа				предвари- тельного подогрева газа	предвари- тельного подогрева газа		предвари- тельного подогрева газа, при темпера- туре от 60 до 350 °C
⁽¹⁾ Электростатический осадитель ⁽²⁾ Зависит от типа стекла, при производстве флинт-гласс CaSeO_3 , CaSeO_4 , Na_2SeO_3 и Na_2SeO_4 , могут образовываться.									

Таблица 6.6: Обзор удельных затрат на различные технологии контроля загрязнений воздуха (APC), примененных к стеклоплавильным печам для снижения уровня запыленности и борьбы с выбросами SO_x

Снижение уровня запыленности + и выбросов SO_x										
Тип стекла	Производ- ство	ESP + су- хой скруббер (CaOH) ₂ переработка	ESP + сухой скруб- бер (CaOH)	ESP + су- хой скруб- бер (NaHCO_3) пе- реработка	ESP + су- хой фильтр (NaHCO_3) пе- утилизация фильтро-	Пылеуло- витель с рукавными фильтрами +сухой	Пылеуло- витель с рукавными фильтрами + сухой	Пылеуло- витель с рукавными фильтрами + полу-	Пылеуло- витель с рукавными фильтрами + полусу-	Мокр ый скруб бер

		филтрово- ванной пы- ли	2 утилиза- ция филь- трованной пыли	филтрово- ванной пы- ли	ванной пли	скруббер переработ- ка филь- трованной пыли	скруббер, утилизация филтрово- ванной пы- ли	сухой скруббер переработ- ка филь- трованной пыли	хой скруб- бер, утили- зация филтрово- ванной пы- ли	
	Тонн рас- плава стекла в сутки	Руб./т стекла	Руб./т стекла	Руб./т стекла	Руб./т стекла	Руб./т стек- ла	Руб./т стек- ла	Руб./т стек- ла	Руб./т стек- ла	Руб./т стекла
Флоат- стекло	600	288	391			360		420-441	576	
Флоат	700	256	352	263	465		419			
Флоат	800	252	326					349	500	
Тарное стекло	100 – 150	660	840							
Тарное стекло	200					278 – 354	288 – 420			
Столовая посуда	30 – 35	939	1002			771	810			
Столовая	180 – 200		459			225 – 261				

[illegible]

Сопоставление данных по затратам, относящимся к применимым технологиям сокращения выбросов NO_x , представлено в следующих таблицах, при этом приведено несколько примеров для установок листового, тарного и сортового стекла, все из которых производят натрий-кальций-силикатное стекло. Расчетные данные также предложены для печей по производству непрерывного стекловолокна и установки по плавлению специального стекла.

В таблице 6.7 представлены примеры затрат (инвестиционные и эксплуатационные) наряду с расчетными количествами прямых (внутренних) и косвенных (внешних) выбросов, связанных с применением различных первичных мер по снижению выбросов NO_x . В частности, произведена оценка следующих примеров:

- Применение базовых мер по снижению уровня NO_x , состоящих из использования регулируемых горелок с низкой скоростью впрыска или разделением топливной струи на отдельные струи, оснащенные переменными углами горелки, герметичной изоляцией между горелкой и кирпичом в зоне расположения горелок и контролем содержания кислорода в выхлопных газах для предотвращения ненужного избыточного воздуха. Данные затрат относятся к применению мер по снижению выбросов NO_x без какой-либо модификации проекта печи.

- Применение расширенных мер по снижению NO_x , состоящих из регулируемых горелок плюс адаптации проекта печи, в частности повышения уровня камеры сгорания, расширения размера выходных отверстий горелки, изменения наклонов выходных отверстий горелки и положений горелок.

- Использование технологии стекловарения с использованием кислородно-топливного горения. Расчетные данные затрат приведены по сравнению с обычными регенеративными печами (для флоат-стекла и тарного стекла) или рекуперативными печами (для столовой посуды, непрерывного стекловолокна и специального стекла). Сравнение затрат на стекловарение находится в очень сильной зависимости от цен на кислород, которые могут испытывать воздействие различных факторов, таких как доступ к трубопроводу подачи кислорода, потребностей в емкости кислорода (цены на кислород повышаются по мере снижения спроса), местных цен на электроэнергию и договором между поставщиком кислорода и компанией по производству стекла. Данные затрат являются ориентировочными и многие (местные) условия могут влиять на разницу в за-

тратах на стекловарение при сопоставлении кислородно-топливных и воздушно-топливных печей.

Резюме предполагаемых затрат (инвестиционных и эксплуатационных), связанных с применением вторичных мер снижения выбросов NO_x представлены в таблице 6.8. Данные о затратах на применение технологий SCR, SNCR и 3R приведены для различных секторов стекольной промышленности и различных емкостей печей.

Таблица 6.7: Предполагаемые примерные затраты и прямые и косвенные выбросы, связанные с применением первичных мер по сокращению выбросов NO_x

Первичные меры по сокращению выбросов NO _x	Затраты (¹)						Внутренние выбросы	Внешние выбросы (косвенные)	
	Инвестиции	Инвестиции	Эксплуатационные	Удельные затраты	W NO _x	Удельные затраты	W CO ₂	W NO _x	W CO ₂
Технологии/ применения APC	Руб.	Руб./год	Руб./год	Руб./т расплава	Т/год	Руб./кг NO _x	Т/год	Т/год	Т/год
Базовые меры по снижению выбросов NO _x									
Флоат-стекло – печь производительностью 600 т/с, до 1050 мг/нм ³ NO _x	39600000	5376000	3840000	50	-337	27			
Флоат-стекло – печь производительностью 900 т/с, до 1050 мг/нм ³ NO _x	48600000	6606000	4860000	35	-555	21			
Тарное стекло – печь производительностью 200 т/с, ванная печь с подковообразным пламенем	13800000	1875000	1440000	35	-60.3	64			
Тарное стекло – печь производи-	17100000	2322000	1560000	35	-60.3	64			

Первичные меры по сокращению выбросов NO _x	Затраты (¹)						Внутренние выбросы	Внешние выбросы (косвенные)	
	Инвестиции	Инвестиции	Эксплуатационные	Удельные затраты	W NO _x	Удельные затраты	W CO ₂	W NO _x	W CO ₂
Технологии/ применения APC	Руб.	Руб./год	Руб./год	Руб./т расплава	Т/год	Руб./кг NO _x	Т/год	Т/год	Т/год
тельностью 300 т/с, ванная печь с подковообразным пламенем									
Столовая посуда – производительность 186 т/с, базовые плюс первичные меры по борьбе с выбросами	7380000	1002720	1842660	42	-82.3	35			
Расширенные меры по снижению выбросов NO _x									
Флоат-стекло – производительность 700 т/с	159600000	21660000	3840000	140	-551	46			
Флоат-стекло – производительность 900 т/с, снижение до 900 мг/нм ³ NO _x	228600000	31059600	4860000	109	-906	40			
Тарное стекло – производительность 200 т/с, снижение выбросов до 750	42000000	5706480	1440000	98	-82	87			

Первичные меры по сокращению выбросов NO _x	Затраты (¹)						Внутренние выбросы	Внешние выбросы (косвенные)	
	Инвестиции	Инвестиции	Эксплуатационные	Удельные затраты	W NO _x	Удельные затраты	W CO ₂	W NO _x	W CO ₂
Технологии/ применения APC	Руб.	Руб./год	Руб./год	Руб./т расплава	Т/год	Руб./кг NO _x	Т/год	Т/год	Т/год
мг/ нм ³ NO _x									
Тарное стекло – производительность 300 т/с	53100000	7214400	1560000	80	-112	79			
Столовая посуда – 150 т/с, включая дополнительное электричество для подогрева	60000000	8154000	1181000	480	-711	25			
Дополнительные расходы/ экономия на кислородно-топливное горение по сравнению с регенеративными печами(²)									
Флоат-стекло, производительность 600 т/с, диносовый свод печи	-450000000	-77400000	15240000	410	-410	182	-6683	48	16900
Флоат-стекло – производительность 600 т/с, цельно-литой огнеупорный свод печи	-195000000	-42840000	16710000	681	-410	302	-6683	48	16900

Первичные меры по сокращению выбросов NO _x	Затраты (¹)						Внутренние выбросы	Внешние выбросы (косвенные)	
	Инвестиции	Инвестиции	Эксплуатационные	Удельные затраты	W NO _x	Удельные затраты	W CO ₂	W NO _x	W CO ₂
Технологии/ применения APC	Руб.	Руб./год	Руб./год	Руб./т расплава	Т/год	Руб./кг NO _x	Т/год	Т/год	Т/год
Тарное стекло – производительность 150 т/с 4 руб./нм ³ O ₂ , дианасовый свод	-123066000	-16597980	26682000	184	-49.3	205	-1227	7.6	3027
Тарное стекло – производительность 225 т/с 4 руб./нм ³ O ₂ , дианасовый свод	-164400000	-22140000	38279400	196	-73.9	218	-1942	11.1	4444
Дополнительные расходы/ экономия на кислородно-топливные печи по сравнению с рекуперативными печами (²)									
Столовая посуда – 30 т/с, 4 руб./нм ³ O ₂	30000000	3384360	-14724000	-1036	-19.2	-592	-2600	1.8	716
Столовая посуда – 30 т/с, 5 руб./нм ³ O ₂	30000000	3384360	-10500000	-647	-19.2	-370	-2600	1.8	716
Столовая посуда – 30 т/с, 6 руб./нм ³ O ₂	30000000	3384360	-6219600	-259	-19.2	-148	-2600	1.8	716
Столовая посуда – 30 т/с, 7 руб./нм ³	30000000	3384360	-1965240	130	-19.2	74	-2600	1.8	716

Первичные меры по сокращению выбросов NO _x	Затраты (¹)						Внутренние выбросы	Внешние выбросы (косвенные)	
	Инвестиции	Инвестиции	Эксплуатационные	Удельные затраты	W NO _x	Удельные затраты	W CO ₂	W NO _x	W CO ₂
Технологии/ применения APC	Руб.	Руб./год	Руб./год	Руб./т расплава	Т/год	Руб./кг NO _x	Т/год	Т/год	Т/год
- 0.5 - 0.9 кг NO_x/т стекла для кислородного топлива в печах по плавлению тарного стекла, 1.5 – 2 кг NO_x/т стекла для кислородно-топливных печей по плавлению флоат-стекла; 1-1.5 кг NO_x/т стекла для специального стекла, без использования нитратов. (²) Разница в затратах между кислородно-топливными печами и обычными печами с горением на смеси воздуха и топлива включает разницу в экономических аспектах вследствие окончания производства на протяжении капитального ремонта или строительства печи.									

Таблица 6.8. Расчетные примеры затрат для применения вторичных мер с целью снижения выбросов NO_x

Вторичные меры по сокращению выбросов NO _x	Инвестиции	Инвестиции	Эксплуатационные издержки	Удельные затраты	WNO _x	Удельные затраты

Сводная информация о дополнительных затратах, выраженных в евро на тонну расплавленного стекла, связанных с применением каждой технологии DeNO_x, оцененных в компаративном исследовании, приведена в Таблице 6.9.

Оценка удельных косвенных выбросов, рассчитанных для различных технологий контроля загрязненности воздуха (удаление пыли, технологии DeSO_x и DeNO_x), с учетом различной производственной емкости и типов стекла, представлена в таблице Б.10. Косвенные выбросы главным образом связаны с использованием электроэнергии, агентов для очистки, реагентов (аммиак) и производства твердых отходов. Значения, представленные в отчете, приведены в граммах или килограммах на тонну расплавленного стекла.

Таблица 6.9. Дополнительные расходы, связанные с применением технологий DeNO_x (в руб./т расплавленного стекла)

Тип печи	Произ- водство	SCR	3R	SNCR (¹)	Базовые ме- ры по со- кращению NO _x (²)	Расширенные меры по со- кращению NO _x (³)	Кислородное горение с кремнеземным сводом (⁴)	Кислород- ное горение с литым сводом (⁴)
	Тонн в сутки	Руб./т расплавленного стекла						
Флоат-стекло	500	198	360-375		51-66		510 (3,6)	681 (3,6)
Флоат-стекло	700	156– 174	315– 336			140		
Флоат-стекло	900	156			35	109		
Тарное стекло	150						184 (3,6)	317 (3,6)
Тарное стекло	200 – 225	154	270	137	46	98	196 (3,6)	323 (3,6)
Тарное стекло	300	128	240	113	35	80		
Тарное стекло	450	110			28	65	311 (3,6)	430 (3,6)
Тарное стекло (печь с по- перечным направлением пламени)	450		224		61	90		
Столовая посуда (рекупе- ративная печь)	30 – 35	480					-259 (6)	
Столовая посуда (регенеративная)	70						766 (6)	

Тип печи	Произ- водство	SCR	3R	SNCR (¹)	Базовые ме- ры по со- кращению NO _x (²)	Расширенные меры по со- кращению NO _x (³)	Кислородное горение с кремнеземным сводом (⁴)	Кислород- ное горение с литым сводом (⁴)
	Тонн в сутки	Руб./т расплавленного стекла						
Столовая посуда (регенеративная печь)	100	294						
Столовая посуда (регене- ративная печь)	150					480 (электро- подогрев)		
Столовая посуда (регене- ративная печь)	190				42			
Специальное стекло (кис- лородно-топливная печь)	250			200				
Е-стекло	100			246			372 (4,8)	

(¹) SNCR только для рекуперативных и кислородно-топливных печей и особого случая регенеративных печей.

(²) Базовые меры по снижению уровня NO_x: регулируемые горелки, датчики кислорода, контроль воздушного топлива.

(³) Расширенные меры по снижению выбросов NO_x: базовые меры плюс модификация выходных отверстий горелки и камеры сжигания.

(⁴) Стоимость кислорода указана в скобках (руб./м³).

Таблица 6.10: Оценка удельных косвенных выбросов на тонну расплава стекла для различных стеклоплавильных печей и различных систем контроля загрязнения воздуха (APC)

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд але ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH 3	Ca(O H) ₂	Na- HCO 3	Na ₂ C O ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
255500	ESP + сухой скруббер с Ca(OH) ₂	Печь для вар- ки флоат- стекла 700 т/с	0	21	-21	407	795	74	10	3.8 2		2.64			11.94
109500	ESP + сухой скруббер с Ca(OH) ₂	Печь для вар- ки тарного стекла 300 т/с	0	18	-18	237	795	64	8	3.7 9		2.75			9.95
10950	ESP + сухой скруббер с Ca(OH) ₂	Печь для вар- ки столовой посуды 30 т/с	0	38	-38	423	440	137	17	2.8 9		2.04			22.28

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд- але- ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH 3	Ca(O H) ₂	Na- HCO 3	Na ₂ C O ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
255500	ESP +сухой скруббер NaHCO ₃	Печь для вар- ки флоат- стекла 700 т/с	0	27	-27	407	1620	90	16	6.0 9			6.33		14.40
182500	Пылеулови- тель с рукав- ными филь- трами + су- хой скруббер Ca(OH) ₂	Печь для вар- ки флоат- стекла 500 т/с	0	35	-35	438	871	125	16	4.0 0		3.05			20.02
109500	Пылеулови- тель с рукав- ными филь-	Печь для вар- ки тарного стекла 300 т/с	0	24	-24	192	216	89	10	1.4 0		1.00			13.68

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд але- ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH 3	Ca(O H) ₂	Na- HCO 3	Na ₂ C O ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
	трами + су- хой скруббер Ca(OH) ₂														
182500	Пылеулови- тель с рукав- ными филь- трами + по- лусухой скруббер	Печь для вар- ки флоат- стекла 500 т/с	0	45	-45	380	1584	165	22	4.9 7				3.29	26.52
40150	Мокрый скруббер	Печь для вар- ки боросили- катного стек-	0	42	-42	927	548	152	20	20. 55		5–6			24.21

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд але ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH 3	Ca(O H) ₂	Na- HCO 3	Na ₂ C O ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
		ла 100-120 т/с													
40150	Мокрый скруббер	Печь для вар- ки боросили- катного стек- ла 100-120 т/с, кисло- родно- топливная	0	36	-36	655	448	127	17	20. 55		4-5			20.42
328500	SCR	Печь для вар- ки флоат- стекла 900 т/с	3820	8	3814			25	4		1.4 1				3.99

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд але- ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH 3	Ca(O H) ₂	Na- HCO 3	Na ₂ C O ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
109500	SCR	Печь для вар- ки тарного стекла произ- водительно- стью 300 т/с	1461	7	1452			23	3		0.5 7				3.20
10950	SCR	Печь для вар- ки столовой посуды, 30 т/с	2160	18	2146			62	8		0.8 4				8.04
36500	SCR	Печь для вар- ки столовой посуды, 100	3562	20	3534				9		1.4 0				10.68

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд але ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH 3	Ca(O H) ₂	Na- HCO 3	Na ₂ C O ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
		т/с													
237250	3R	Печь для вар- ки флоат- стекла 650 т/с,	3987	0	3987				28						
109500	3R	Печь для вар- ки тарного стекла, 300 т/с	1534	0	1534				18						
116800	ИНКВ	Печь для вар- ки тарного	868	3	865			9	2		0,4 8				

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд- але- ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
	расширенный	ки флотат- стекла 700 т/с													
109500	Низкий NO _x расширенный	Печь для вар- ки тарного стекла 300 т/с	1023		1023				0						
65700	Низкий NO _x расширенный, плюс элек- тричество	Боросиликат- ное стекло для столовых приборов 180 т/с	10822		1082 2				171						25,01
182500	Кислородо-	Печь для вар-	2247	232	2016			844	56						135,56

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд але ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH 3	Ca(O H) ₂	Na- HCO 3	Na ₂ C O ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
	топливный	ки флотат- стекла 500 т/с													
82125	Кислородо- топливный	Печь для вар- ки тарного стекла 225 т/с	901	21	879				30						79,22
10950	Кислородно- топливный	Столовые приборы 30 т/с	1735	164	1553				-172						95,71
36500	Кислородно- топливный	Е-стекло 100 т/с	2200	244	1956			885	-51						110,41
14600	Электриче-	Свинцовый	2438	1295	1144				-15						747,95

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x , окра- щенные путем удале- ния ок- сидов азота, г/т	NO _x , кос- вен- ные вы- бро- сы (¹),г/ т	Чи- стый эф- фект уда- ле- ния NO _x ,г/т	Сни- же- ние уров- ня запы- лен- ности APC, г/т	Сниже- ние уровня SO _x ме- тодами десуль- фуриза- ции (deSO _x), г/т	Кос- вен- ные вы- бросы SO _x (¹), г/т	Допол- нитель- ный вы- брос CO ₂ (косвен- ные + прямые выбро- сы) (²)(³), кг/т	Уд але ние от- хо- дов , кг/т	Связанное потребление реа- гентов и электричества				
											NH 3	Ca(O H) ₂	Na- HCO 3	Na ₂ C O ₃	Элек- тро- энер- гия
											Кг/ т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	кВтч/т
	ская печь	хрусталь 40 т/с													
10950	Электриче- ская печь	Свинцовый хрусталь 30 т/с	2466	1032	1425				-59						600,00
7300	Электриче- ская печь	Свинцовый хрусталь 20 т/с	1918	1918	0				168						1056,1 6
127750	Подогрева- тель шихты	Печь для вар- ки тарного стекла 350 т/с	225	12	214		407	43	-35+5 ⁽³⁾						6,86

Произ- вод- ство тонн рас- плава стекла/ год	Система APC	Технологиче- ская линия и тип топлива	NO _x ,	NO _x ,	Чи-	Сни-	Сниже-	Кос-	Допол-	Уд	Связанное потребление реа-				
			сокращенные	сокращенные	стый	жение	нение	вен-	нитель-	але	гентов и электричества				
			путем	вые	эф-	уров-	уровня	вые	ный вы-	ние					
			удале-	вы-	уда-	ня	тодами	бросы	брос CO ₂	от-	NH ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃	Элек-
			ния ок-	бро-	ле-	запы-	десуль-	SO _x	(косвен-	хот-					тро-
			сидов	сы	ния	лен-	фуриза-	(¹), г/т	ные +	дов	Кг/т	Кг/т	Кг/т	Кг/т	энер-
			азота,	(¹), г/т	NO _x	ности	ции		выбро-	, кг/т					гия
			г/т	т	, г/т	APC,	(deSO _x),		сы) (²)(³),						
						г/т	г/т		кг/т						

(¹) Внешние выбросы возникают от производства электроэнергии, аммиака, соды, бикарбоната натрия, извести гидратной, кислорода.

(²) Дополнительное выделение CO₂ не включает количество от процесса производства Ca (OH)₂.

(³) Дополнительное выделение CO₂ эквивалентно 30 кг/т расплавленного стекла. Это значение является производным от 5 кг/т использования дополнительной электроэнергии для вентилятора дымовых газов и 35 кг/т сокращения выбросов CO₂ за счет экономии топлива в процессе стекловарения из-за партия подогрева.

7 Новые технологии

В общем, новые технологии в стекольной промышленности фокусируют свое внимание на снижении высоких капиталовложений в стекловаренные печи (т.е., новые технологии стекловарения), на энергосбережении (т.е., устройства предварительного нагрева шихты и стеклянного боя, новые конструкции печей, инновационные горелки) и на улучшении рабочих характеристик защиты окружающей среды для производства (т.е., новые формулы продукта, восстановление отходов, снижение выбросов и повышение величин эффективности удаления основных загрязняющих веществ).

Улучшенные технологии горения находятся среди основных задач с целью снижения потребления энергии и, одновременно, минимизации выбросов NO_x с помощью первичных мер. Системы управления горением, разные типы горелок и новые конструкции печей всегда разрабатываются, и приводят к появлению значительных инноваций и разработок, даже если о них не сообщается в этом разделе в качестве новых технологий.

Например, горелки с низким NO_x , в комбинации с системами управления горением все еще остаются в стадии постоянного развития, чтобы оптимизировать рабочие характеристики в отношении энергосбережения и снижения загрязнений.

7.1. Система высокотемпературного горения Glas Flox®

Описание

Горелки системы Glas Flox® представляют собой продвинутую технологию стекловарения стекла. Функциональный принцип на основе внутренней рециркуляции газов горения, которые всасываются в пламя с помощью низкого давления на выпускном отверстии горелки (из-за высоких скоростей впрыска газа при прохождении горелок). Рециркуляция газа охлаждает путь пламени, и снижает содержание кислорода в самой горячей части пламени. По сравнению со стандартными газовыми горелками горелки системы Glas Flox® работают на более высокой скорости горения, что приводит к улучшенному покрытию (распространению) пламенем по ванне расплавленного стекла, благодаря интенсивности реакции, а также расширенной зоне обжига. Эти характеристики приводит к лучшей передаче энергии в ванну стекла. Полное горение работает в инфра-

красном диапазоне, и работает равномерно без значительной температуры и отклонений при передаче тепла.

Горелки системы Glas Flox® работают с пониженными температурами пламени около сопла горелки, что приводит в результате к уменьшению выбросов термальных оксидов NO_x .

Характеристики общей теплопередачи горелок системы Glas Flox® и технологии горения Флокс в стекольных печах по сравнению с обычными печами (особенно с рекуперационными печами) требуют дополнительных исследований с помощью измерений и математического моделирования.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Как сообщается, преимущества представляют собой снижение примерно на 50 % выбросов NO_x и более низкое удельное энергопотребление с последующим уменьшением выбросов CO_2 .

Как сообщается, наилучшие полученные рабочие характеристики показали величину концентрации 484 мг/м^3 выбросов NO_x , по отношению к начальному уровню 1183 мг/м^3 , если применялась обычная система горения.

Применимость

Горелки применимы только для стекольных рекуператорных печей.

Ведущая сила для внедрения

Снижение выбросов NO_x вместе с более низким энергопотреблением по сравнению со стандартными горелками являются основными ведущими силами для применения горелок системы Glas Flox®.

Заводы - примеры

Применение высокотемпературной системы горения Glas Flox® в настоящее время ведется в Германии для производства стекла электрических лампочек.

7.2. Радиационные горелки

Известное и хорошо зарекомендовавшее себя, применяемое в разных отраслях промышленности конструктивное решение высокоэффективных и экологически чистых горелок – беспламенные инфракрасные горелки с объёмной матрицей, так же называемые керамическими, пористыми, радиационными, беспламенными. Принципиальной особенностью является сжигание газозвушной смеси в пористой матрице (или в тонком слое вблизи керамической пористой матрицы) и излучением тепла в виде инфракрасного излучения. Недавно стали разрабатываться такие горелки и для стекольной промышленности.

Преимущества радиационной горелки (см. рис. 7.1) в том, что она эффективнее нагревает не только внешние, но и внутренние слои стекла, обеспечивает лучшую однородность сложных типов стекла и тёмного стекла, более высокий КПД теплопередачи (экономия топлива), более точным пространственным позиционированием зоны нагрева, что служит стремлением применять такие горелки прежде всего для кондиционирования стекла. Кроме того, резко уменьшается концентрация токсичных газов при сгорании.



Рисунок 7.1. Сравнение обычной и ИК-горелки

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Как сообщается, преимущества горелок типа «Promeos» представляют собой снижение примерно на 50 % выбросов NO_x и более низкое удельное энергопотребление с последующим уменьшением выбросов CO_2 . По данным фирмы Promeos (Германия) радиационные горелки обеспечивают 70% снижение эксплуатационных затрат, снижение на 45% выбросов. И увеличивают на 50% производительность.

Применимость

Горелки применимы пока для каналов питателей, кондиционирования стекломассы, для ванн стекольных печей пока не разработаны.

Ведущая сила для внедрения

Цель применения данных горелок увеличение эффективности теплопередачи и уменьшение выброса вредных веществ в атмосферу.

7.3. Продвинутое устройство предварительного нагрева стеклянного боя и шихты

Основные примеры устройств предварительного нагрева шихты и стеклянного боя для использования в рамках стекольной промышленности описаны в разделе 4.8.5 и, таким образом, не рассматриваются в качестве новых технологий. Однако, ведутся значительные разработки особенно для случаев применения предварительного нагрева стеклянного боя и шихты для печей кислородно-топливного сжигания. В общем, конверсия традиционных печей в сторону кислородно-топливного горения приводит в результате к более высокой производительности в изготовлении стекла и более высокому качеству стекла, к более низким выбросам NO_x и твердых частиц, к более низкому энергопотреблению и снижению стоимости переоборудования. Однако, дополнительные расходы на кислород все еще представляют собой значительный экономический барьер для применения кислородно-топливного горения для многих стекольных печей. Экономика кислородно-топливной конверсии была бы более привлекательной, если содержание энергии отходящих газов (которые выпускаются при очень высоких температурах до $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$) можно было бы восстановить. Действующие устройства предварительного нагрева стеклянного боя и шихты работают при температурах в диапазоне $500\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$; и, следовательно, топочные газы охлаждаются с помощью разбавляющего/свежего воздуха с последующим ростом объема.

Продвинутое устройство предварительного нагрева стеклянного боя и шихты были спроектированы, чтобы работать с топочными газами, которые не охлаждаются или

только слегка охлаждаются. Особенно в продвинутой системе предварительного нагрева стеклянного боя и шихты, разработанной Праксэйр (Praxair) (система BCP), топочные газы поступают в устройство предварительного нагрева при температурах в диапазоне 1200–1400 °С.

В настоящее время существуют два проекта, которые разрабатываются разными командами:

- .- Проект «ПРЕШИОС» (PRECIOUS-project) в разработке компании Zippe Industrieanlagen GmbH при сотрудничестве с университетом RWTH Aachen University, в рамках программы поддержки Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU);

- .- Система «ПРОКСЭЙР-БСП» (PRAXAIR-BCP system) в разработке центра Praxair Technology Center.

7.3.1. Проект ПРЕШИОС (PRECIOUS)

Задача Проекта ПРЕШИОС (PRECIOUS) заключается в снижении выбросов CO₂ и NO_x с помощью предварительного нагрева стеклянного боя и/или шихты с помощью тепла, отводимого от печи кислородно-топливной массы. Технология предварительного нагрева может быть теоретически смонтирована на любой печи, имеющей соотношение стеклянного боя более 50 %. Тесты этого устройства предварительного нагрева стеклянного боя и шихты выполняются на печи кислородно-топливной массы, изготавливающей стекло для лампочек освещения. Ожидается увеличение энергосбережения на примерно 20 %. Завершение пилотного проекта и передача технологии на крупномасштабный проект все еще ведется.

7.3.2. Проект ПРАКСЭЙР-БСП (PRAXAIR-BCP)

Описание

Система Проекта ПРАКСЭЙР-БСП (PRAXAIR-BCP) подходит для предварительного нагрева стеклянного боя и шихты, и предназначена для использования отходящих газов от всех печей кислородно-топливной массы. Основные характеристики продвинутого устройства предварительного нагрева:

- Непрямая теплопередача от отходящих газов на шихту и стеклянный бой в устройстве предварительного нагрева;
- Шихта плюс стеклянный бой (внутренние и получаемые извне) должны предварительно нагреваться примерно до 480-600 °С;
- Отходящие газы от кислородно-топливного горения или кислородного горения в мазутной печи не разбавляются или с трудом разбавляются холодным воздухом;
- На первой стадии (секция не прямой радиационной теплопередачи) отходящие газы подаются в эту секцию без разбавления обычно при 1200-1400 °С;
- Органические смеси, присутствующие в стеклянном бое, получаемом извне, полностью удаляются (запахи выгорают);
- Это устройство представляет собой модульную систему, и ее можно адаптировать под нужный размер;
- Шихта и отходящие газы могут проходить по байпасу в случае работ по техобслуживанию;
- Следует обратить особое внимание на то, чтобы избежать наличия остатков шихты в печи с помощью применения устройств загрузки шихты;
- Отсутствуют потери механического тепла от недожога для шихты во время производства янтарного стекла, благодаря специальной конструкции устройства предварительного нагрева;

Принципиальная схема продвинутого устройства предварительного нагрева стеклянного боя и шихты дана на Рисунке 7.2, причем на ней указано положение секции радиационной теплопередачи (RHRS) и опциональной конвекционной секции рекуперации тепла (CHRS).

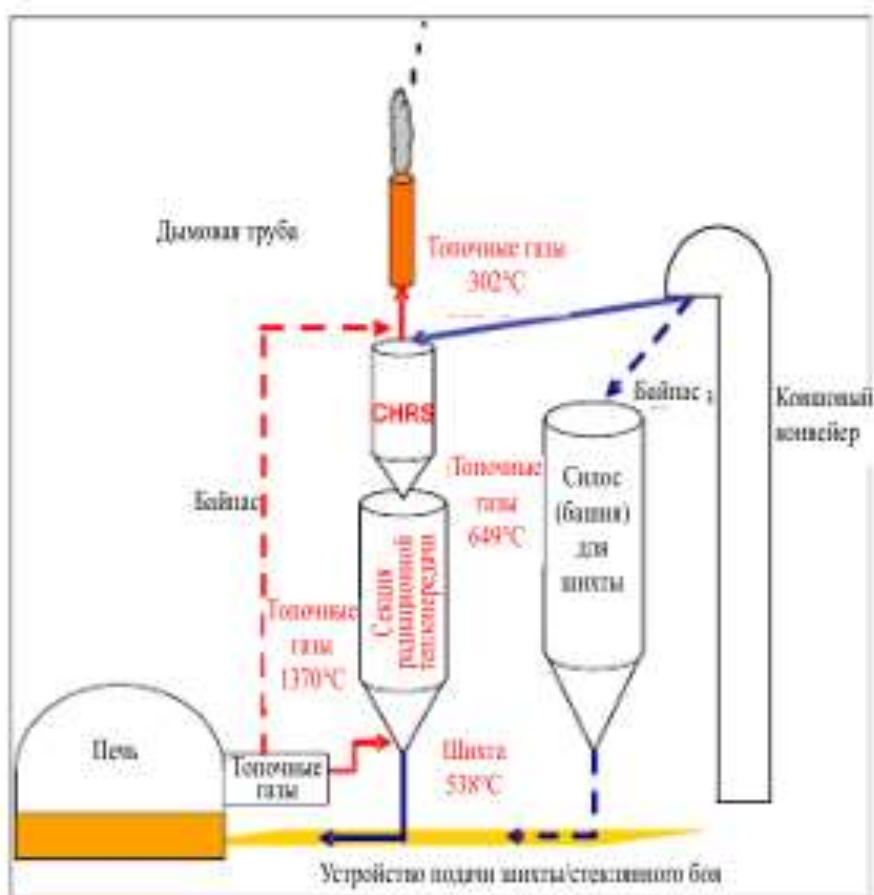


Рисунок 7.2. Принципиальная схема продвинутого устройства предварительного нагрева стеклянного боя и шихты

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Сообщаемые (ожидаемые) преимущества представляют собой снижение выбросов на примерно 15–30 % (CO_2 , NO_x и пылевидные вещества) по сравнению с печью кислородно-топливного сжигания без устройства предварительного нагрева. Снижение энергопотребления оценивается примерно ± 1 ГДж на тонну расплавленного стекла по сравнению с печью кислородно-топливного сжигания без устройства предварительного нагрева.

Применимость

В принципе продвинутая технология «ВСП» применима почти ко всем нормальным пропорциям стеклянного боя /шихты.

Экономика

Как ожидается, применение технологии ВСП приводит в результате потенциальному энергосбережению (15–25 %), сниженному потреблению кислорода для горения и потенциал увеличению производительности (10–20 %). Период окупаемости оборудования оценивается как период между 1 и 3 годами.

Ведущая сила для внедрения

Рекуперация энергии отходящих газов и последующее снижение энергопотребления, используемые в производстве представляют собой основные движущие силы для внедрения устройства предварительного нагрева шихты и стеклянного боя. Значительное снижение прямых и косвенных выбросов будет дополнительной движущей силой для внедрения.

Заводы - примеры

Пилотная масштабная система (15 т шихты в сутки) была испытана компанией ПРАКСЭЙР (PRAHAIR) в 2007 году в Тонаванда, штат Нью-Йорк, США с температурами предварительного нагрева 480–535 °С. Конструкция более крупной системы должна быть применена в коммерческой стекольной печи в качестве следующего шага этого проекта.

7.3.3. Проект «Зорг»

Описание

Фирма «Sorg» («ЕМЕ») запустила систему подогрева шихты и стеклобоя. Это не просто перечень оборудования, это система, затрагивающая всю технологическую цепочку, включая составной, загрузку, печь и процесс стекловарения (см. рис. 7.3).

Концепция включает:

- новый подогреватель шихты;
- новый загрузчик шихты;
- новую конструкцию загрузочного кармана.



Рисунок 7.3. Внешний вид системы подогрева шихты и стеклобоя

Через 24 часа после начала подогрева шихты ввод в эксплуатацию был завершен, постоянная температура подогретой шихты составила 270°C , что было достигнуто без каких-либо проблем на производстве. Площадь поверхности загрузочного кармана увеличена, в результате этого обеспечивается более продолжительное время нахождения куч шихты в этой области. Открытое пространство загрузочного кармана в верхнем строении сделано больше (для обеспечения лучшего прогрева излучением, поступающим в относительно прохладный загрузочный карман из гораздо более горячей печи).

Герметизированный карман обеспечивал отсутствие пыли снаружи и, что, возможно, еще важнее, предотвращал неконтролируемый поток воздуха в печь через карман. Опробование системы проходило при соотношении стеклобой/шихта 85/15, однако последующие эксперименты показали, что новая система может успешно работать на шихте без добавления стеклобоя при уровне влагосодержания 3% без образования комков.

Подобная система, установленная на предприятии [Wiegand Glas Steinbach](#) в конце 2013 года показала даже лучшие результаты. В дополнение к 14 % экономии энергии,

печь теперь производит 270 тонн в сутки по сравнению с 250 тонн перед установкой системы подогрева шихты.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Получено снижение выбросов NOx на 10 %.

Применимость

Технология применима практически на любом стекольном заводе даже без полной реконструкции предприятия. Однако её реализация не так проста, как кажется. Недооценка сырьевых и технологических особенностей, а они есть почти везде, может помешать достижению заявленных результатов.

Экономика

Достигается снижение удельного расхода энергии на печи 10-14 %, кроме того значительно увеличивается качество (гомогенность) стекломассы. Следовательно, снижается количество брака.

Ведущая сила для внедрения

Достигается экономия энергии, улучшение провара, увеличение съема и уменьшение выбросов NOx.

Заводы – примеры

Стеклотарные заводы мощностью 300т/сутки - EME Maschinenfabrik Clasen GmbH, Wockerather Weg 45, 41812 Erkelenz, и 270т/сутки - Wiegand Glas Steinbach(Otto-Wiegand-Straße 9 96361 Steinbach am Wald),

7.3.4. Проект «GT10» Glass Trend (Нидерланды)

В Европе наблюдается возвращение к теме подогрева и гранулирования шихты на новом уровне. Подогрев шихты применяется давно (более 40 лет), но, несмотря на сообщения об экономии энергии в пределах 10-20 %, в реальной эксплуатации находится относительно мало таких систем. Основная проблема, сдерживающая успешное внед-

рение процесса подогрева шихты, связана с выраженной тенденцией подогретой шихты к комкованию, что приводит к образованию пробок и блокированию работы подогревателя.

Причина кроется в свойствах кальцинированной соды, которая может иметь различное содержание кристаллогидратной воды. В зависимости от температуры и влажности безгидратная форма переходит в моногидратную форму ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и, далее, в декагидратную ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Если воды достаточно, то превращение моногидрата в декагидрат может происходить при комнатной температуре и при этом поглощается количество воды, которое незначительно превышает двойную массу самой соды.

Реальная проблема начинается при обратном превращении декагидрата в моногидрат, которое происходит при повышении температуры выше 34°C и приводит к высвобождению большого количества воды. Вода начинает вступать в реакцию с другими материалами, например, с песком и известняком, образуя цементоподобные соединения, которые крайне устойчивы и очень тверды. Это ведет к агломерированию материалов в низкотемпературных зонах установки подогрева шихты, и вызывает блокирование ее работы. У существующих систем подогрева шихты есть значительные ограничения в работе, например, минимальное содержание стеклобоя должно составлять около 50 % (лучше, если оно будет больше 60 %), ограничивается также содержание воды в песке и стеклобое.

Для решения этой проблемы принципиально важно совместное использование этих двух процессов: гранулирование и подогрев шихты. Сочетание «гранулирования-компактирования-брикетирования» с последующим подогревом минимизирует эту проблему.

Организация Glass Trend (Нидерланды) в сентябре 2008 года начала реализацию проекта разработки технологии предварительного подогрева и сушки гранулированной шихты для производства натрий-кальций-силикатного стекла (тарное стекло, флоат-стекло, стекло для столовой посуды, трубки для осветительных ламп) и боросиликатного стекла с использованием тепла дымовых газов в качестве источника энергии для сушки и предварительного нагрева гранул. Подогрев шихты или стеклобоя при этом рассматривается, как уже вполне зрелая технология и применяется в промышленности более чем на 10 стекловаренных печах (в основном в производстве стеклянной тары).

Гранулирование шихты в сочетании с ее сушкой и предварительным нагревом дымовыми газами обеспечивает получение сразу нескольких преимуществ, а именно:

- экономии энергии в процессе варки стекла в пределах от 15 до 20 %;
- почти полное отсутствие теплопереноса благодаря стабильности гранул;
- в гранулах можно использовать мелкий бой стекла (до 50 %);
- гомогенность получаемого из гранулированной шихты стекла выше, чем у стекла из обычной шихты;
- некоторые загрязнители дымовых газов (HCl, HF, SO₂) частично удаляются при прямом контакте с гранулами шихты во время нагревания.

Правда, прямой нагрев шихты газами вызывает обоснованные возражения многих специалистов. Многое зависит от состава шихты. Тем не менее, с 2014 года по сегодня уже год успешно работает установка подогрева шихты в псевдокипящем слое на заводе Vetropack Nemšová (Словакия), смонтированная по совместному проекту с фирмой «Binder+Co», начатому в 2013 году.

Несколько лет назад Нидерландская организация прикладных научных исследований изучала экономическую целесообразность гранулирования шихты с её последующей сушкой и подогревом для использования в стекловаренных печах различного типа. В отдельных случаях период окупаемости приближался к двум годам. Рост цен на энергию делает технологию подогрева шихты или её гранул все более привлекательным решением.

Недавние разработки в области технологии гранулирования (в частности, новые виды связующего) позволили снизить количество необходимой для гранулирования воды, делая тем самым возможным полное высушивание и достаточный подогрев шихты за счет тепла отходящих газов в зависимости от их общего расхода и температуры; эта технология может быть применена к шихте без добавок стеклобоя.

В состав установки входят:

- накопительный бункер для шихты;
- участок подготовки специальных добавок (связующего);
- дозатор для загрузки шихты и добавок в гранулятор;
- гранулятор;
- сушилка (особое внимание обращено на предотвращение потерь материала или

пыления при сушке, загрязнения или разрыва гранул во время сушки из-за образования внутри них водяного пара, прочности гранул после сушки и предотвращению коррозии под воздействием конденсата дымовых газов);

-установка предварительного нагрева шихты (особое внимание уделено изоляции, предотвращению образования пыли, загрязнению и коррозии под влиянием дымовых газов, простоте доступа и легкости обслуживания);

-устройство загрузки подогретой гранулированной шихты в печь.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Получено снижение выбросов NO_x на 10 %.

Применимость

Технология применима практически на любом стекольном заводе даже без полной реконструкции предприятия. Однако её реализация не так проста, как кажется. Недооценка сырьевых и технологических особенностей, а они есть почти везде, может помешать достижению заявленных результатов.

Экономика

Достигается снижение удельного расхода энергии в печи на 10-14 %, кроме того значительно увеличивается качество (гомогенность) стекломассы. Следовательно, снижается количество брака.

Ведущая сила для внедрения

Достигается экономия энергии, улучшение провара, увеличение съема и уменьшение выбросов NO_x .

Заводы – примеры

Vetropack Nemšová (Slovakia)

7.4. Новые составы стекол

Существует ряд интересных разработок, касающихся составов стекол и шихты, которые будут суммированы ниже.

Новый состав стекла для непрерывной нити для стекловолокна

Новый состав стекла для непрерывной стеклонити был разработан одним производителем. Этот состав стекла ориентирован на два основных компонента выбросов в воздух, типичных для плавки Е-стекла, т.е., твердых частиц и фторидов. Формула шихты не включает в себя бор или добавленный фтор. Удаление бора и добавленного фтора обеспечивает этому составу возможность быть более трудным для стекловарения (более высокая температура стекловарения) и образования волокна, что приводит к некоторому росту потребности в энергии. Новая формула применена в промышленном оборудовании, и описательные данные выбросов доступны в разделе 3.5 выше и разделе 4.4.1.1. Эта формула была разработана одной компанией, и закрыта патентами, поэтому она, таким образом, в общем, недоступна в отрасли.

В настоящее время этот тип непрерывной стеклонити стекольного волокна производился двумя компаниями в Европе и, возможно, охватывал примерно одну четверть или одну треть Европейского производства; таким образом, его можно рассматривать как новую технологию. Однако эта технология не может рассматриваться как «доступная» из-за патентов, охватывающих процесс производства, и из-за факта, что мало информации доступно.

Новая формула связующего вещества для продуктов минерального волокна

Производители минерального (стеклянного) волокна непрерывно улучшают свойства своих продуктов, чтобы снизить влияние на окружающую среду и повысить рабочие характеристики продукта.

Некоторые производители выполняют значительные исследования и разработки, чтобы внедрить новые связующие вещества, которые частично или полностью будут заменять фенол - формальдегидные связующие вещества, которые обычно применяются этой промышленностью уже много лет. Было опубликовано и/или передано несколько патентов.

Новые формулы основаны на одном из следующих факторов:

- Фенол – формальдегидные смолы со значительно более низким содержанием формальдегида, или

- Другие типы смол на основе источников от производства или акриловых смол, которые не содержат фенол – формальдегида в качестве ингредиентов.

Некоторые из этих связующих вещества были внедрены, и доступны на рынке. В других случаях влияние новых растворов пришлось сделать доступным, чтобы подтвердить их пригодность с точки зрения изготовления, характеристик продукта и со стороны воздействия на окружающую среду.

7.5. Включение отходов в процесс производства каменного волокна

Описание

Количество отходов, производимых оборудованием по производству каменного волокна в России, оценивается в величину между 16 000 и 48 000 т в год. Отходы исходят в основном от процесса волокнообразования, где примерно 10–20 % расплава полностью не переходит в волокно и идет в брак. Линия каменного волокна с ежегодным производством 20 000 т/год создает между 2 000 и 4 000 т в год отходов процесса волокнообразования.

В настоящее время брикетирование – это единственная применимая система, чтобы повторно использовать отходы в процессе стекловарения. Эта система требует размельчения отходов и их смешивания с цементом. Использование брикетов связано с ростом атмосферных выбросов, состоящих в основном из оксида серы из-за содержания серы в цементе (см. раздел 3.8.2.1).

Технология включения отходов состоит из линии подачи тонких фракций материала прямо в зону стекловарения во вращающуюся печь каменного волокна. Впрыснутый материал представляет собой отходы производства.

Отходы (впрыснутые порции) от процесса волокнообразования, с размером 0–6 мм, подаются в бункер и герметичный резервуар устройства подачи. В нижней части резервуара есть вращающееся устройство для подачи, которое подает небольшие дозы материала в три питающие трубы с действием от пневматики. Фурмы, подключенные к вращающейся печи, близко к дутьевой фурме, расположены на конце этих труб. Мате-

риал движется по фурме, где подается кислород в зону стекловарения во вращающейся печи. Этот механизм подвергается чрезвычайно тяжелым рабочим условиям. Температура в зоне стекловарения составляет выше 1700 °С; одновременно подаваемые материалы являются твердыми и абразивными, что оказывает значительное напряжение на материалы механической конструкции.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

С этой технологией можно выполнять переработку/возвращение в цикл до 80-100 % отходов от процесса волокнообразования; это соответствует снижению на 7 % минеральных сырьевых материалов в составе шихты. Система также спроектирована так, чтобы работать с другими типами тонких фракций сырьевых материалов и твердыми видами топлива, такие как минеральные сырьевые материалы и кокс.

Применение впрыска отходов приводит в результате к снижению количества отходов, идущих на помойку, снижению потребления кокса для процесса стекловарения и соответственно меньшему количеству выбросов. Выбросы оксидов серы снижаются по сравнению с процессом переработки отходов с помощью цементных брикетов, т.к., здесь нет добавления серы в формулу шихты.

Применимость

Технология впрыска отходов применима в промышленности по производству каменного волокна, где используются вращающейся печи. В настоящее время применяются две производственные линии для дальнейших разработок.

Экономика

Капиталовложения для впрыска отходов составляют только примерно 20 % от стоимости оборудования по изготовлению брикетов, включая необходимые здания.

Ведущая сила для внедрения

Минимизация потока отходов вместе со снижением выбросов SO_x , связанные с этой технологией вторичного использования отходов (брикетирование с помощью це-

мента) представляют собой основную побудительную причину для внедрения впрыска отходов в производство каменного волокна.

Заводы - примеры

Завод – прототип работает в Оулу, в Финляндии с 2001 года. Полномасштабный пилотный завод работает в Хасслехом в Швеции с 2004. Оба завода принадлежат Группе Парок; проект развития технологии впрыска отходов был профинансирован в рамках Шестой Программы Действий по защите окружающей среды 2001 – 2010.

7.6. Технология стекловарения с погруженным горением

Описание

Стекловарение с погруженным горением (SCM) основано на подходе с сегментированным стекловарением, при котором используется несколько стадий, чтобы оптимизировать стекловарение, гомогенизацию, осветление (рафинирование) и рекуперацию тепла.

Как ожидается, этот подход должен снизить среднюю продолжительность времени стекловарения стекла $>80\%$ по сравнению с одним большим резервуаром стекловарения с последующим уменьшением стоимости энергии и падением выбросов. Стекловарение с погруженным горением (SCM) состоит из небольшого резервуара, в котором топливо и оксиданты горят прямо в ванной для стекловарения. Газы горения пузырятся, и протекают сквозь стекольную ванну, создавая высокую скорость теплопередачи и турбулентное смешивание (и перенос). Большой сдвиг от вынужденной конвекции обеспечивает быстрое распределение частиц (песка, сырьевых материалов, содержащих глинозем) и температурную однородность. Расплавленный материал с однородным составом, но с комочками и пузырьками, сливается из крана около нижней части ванны.

На Рисунке 7.4 представлена принципиальная схема стекловаренной печи с погруженным горением.



Рисунок 7.4: Принципиальная схема стекловаренной печи с погруженным горением

Обработка и загрузка шихты является более гибким процессом для стекловаренной печи с погруженным горением, чем для обычных печей. Система подачи может быть очень простой и недорогой, потому что плавильная печь может принимать более широкий диапазон размеров фракций размером до 1 см и крупнее без необходимости полного смешивания сырьевых материалов. Эта характеристика дает возможность более широкого выбора сырьевых материалов и снижение работ по работе с печью, а также капиталовложений.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Общее энергосбережение примерно на 5 % лучше, чем для самых лучших кислородно-газовых печей, так как меньше потери тепла через стенки печи. Рекуперация тепла в 20 % от потерь тепла через стенки дает возможность общего энергосбережения примерно на 7.5 %.

Ожидается, снижение выбросов NO_x , из-за охлаждения языков пламени в расплаве.

Эксплуатационные данные

Коммерческие плавильные печи с погруженным горением 75 т/сутки находятся в эксплуатации на Украине и в Беларуси, и служат для производства минерального (стеклянного) волокна. Они работают с менее чем 10 % избыточного воздуха, и производят менее 350 мг/м³ выбросов NO_x, и соответственно 8 % O₂.

Для расширения применения технологии стекловарения с погруженным горением (SCM), надо преодолеть некоторые ограничения, которые потребуют несколько улучшений для действующих плавильных печей. Первый шаг заключается в том, чтобы переключить горение с воздуха на кислород, чтобы снизить образование пузырей в расплаве, во время улучшения теплопередачи и снижения выбросов; это может привести в результате к 80 % снижению объема газа проходящего сквозь расплав.

Применимость

В настоящее время применимость стекловарения в плавильных печах с погруженным горением (SCM) ограничена производством минерального (стеклянного) волокна. Работы по разработке и испытаниям продолжаются, и должны дать возможность применения этой технологии для широкого диапазона стекольных составов и цветов. Большинство работ по разработке выполняется в основном в США компанией Глас Мануфактуринг Индастри Каунсил (GMIC) и Институтом газовых технологий, Дес Плейнз, Иллинойс, США.

Экономика

Технология стекловарения с погруженным горением (SCM) должна обеспечить минимум 5 % энергосбережения по сравнению с обычным стекловарением. Ожидается экономия на капиталовложениях и в объеме работ по работе с шихтой.

Ведущая сила для внедрения

Более низкие капиталовложения, увеличившаяся гибкость выбора сырьевых материалов, энергосбережение и более низкие выбросы, особенно выбросы NO_x, представляют собой побудительную силу для полной разработки и применения технологии стекловарения с погруженным горением (SCM).

Заводы - примеры

В настоящее время пять стекловаренных печей работают на производстве минерального (стеклянного) волокна на Украине и в Беларуси.

Была оформлена заявка на патент. Команда проекта из Института Газовых технологий (GTI, Чикаго, США), включая шесть газовых компаний, работает над системами стекловарения «следующих поколений», которые включают в себя стекловарение с погруженным горением. Для этой цели пилотная плавильная печь стекловарения с погруженным горением (SCM), выпускающая 1 тонну в час была построена, и используется, чтобы плавить диапазон промышленных стекол в разных рабочих условиях.

7.7. Обработка отходящих газов с помощью сухой двууглекислой соды и химическая валоризация отходов обработки газа.

Описание

Технология применяется для десульфуризации отходящих газов от стекловаренной печи. Двууглекислая сода показывает высокую эффективность удаления выбросов SO_x (см., раздел 4.4.3.3); с последующим производством твердых отходов, приводящим в результате к химической реакции между кислотными газами и двууглекислой содой. Твердый остаток, в основном, выделяется из отходящих газов с помощью систем фильтрации (электростатический осадитель (ESP) или рукавные фильтры). Основными компонентами отходов являются сульфат натрия и кальцинированная сода (непрошедшие реакцию со щелочным реагентом). Во многих случаях твердые отходы можно переработать, и вернуть в работу в стекловаренную печь, частично замещая осветлительный реагент (в основном, сульфат натрия), используемый для рецепта шихты; однако, в некоторых случаях отходы нельзя обработать повторно путем подачи прямо в печь.

Основными ограничениями для повторного использования пыли фильтров являются следующие:

1. Твердые отходы очень тонкие и имеют тенденцию легко выполнять перенос или становиться летучими (например, $NaCl$) из печи с последующей модификацией

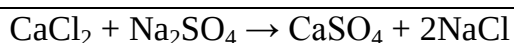
химического состава расплавленного стекла и высокой концентрацией NaCl, попадающей в регенерационную печь;

2. Химический состав твердых отходов может значительно варьироваться при разных рабочих условиях печи, приводя в результате к затруднениям с управлением химическим составом стекла, и негативно влияя на качество готовых продуктов.

Чтобы не допустить потока отходов от пыли, которую надо отправить в утилизацию, выполняется обработка (очистка) отходов на специальном оборудовании, в основном расположенном около оборудования по производству поташа.

Обработка состоит в растворении твердых отходов в растворе, который содержит хлорид кальция (CaCl_2) (этот раствор доступен на предприятиях по производству поташа).

Химическая реакция выглядит следующим образом:



Образующийся шлам фильтруется, чтобы отделить твердый сульфат кальция (CaSO_4). Раствор хлорида натрия (NaCl) обрабатывается, чтобы отделить оставшиеся кальций и ионы. Оба продукта реакции можно использовать повторно.

Сульфат кальция можно использовать в изготовлении цемента, замещая другие покупаемые материалы, которые нужны для шихты. Раствор хлорида натрия можно использовать в качестве сырьевого материала в производстве поташа.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Сухая газоочистка двууглекислой соды дает высокие величины эффективности удаления выбросов SO_x . Возможность обрабатывать и повторно использовать твердые отходы с помощью системы газоочистки представляют собой хорошую альтернативу прямому вторичному использованию отходов отфильтрованной пыли и подачи ее в плавильную печь для производства стекла, без ухудшения качества стекла или контроля процесса производства. Более того, можно не допустить значительного потока отходов из-за возможной валоризации и повторного использования получаемых продуктов.

Межсредовые последствия

Необходимо транспортировать твердые отходы от стекольного оборудования на производство, где выполняется обработка. Для процесса обработки нужны энергия и вода.

Применимость

Сухая газоочистка с двууглекислой содой для десульфуризации отходящих газов, и дальнейшая очистка, приводящая в результате к твердым отходам, применима к стекольному производству, где вторичное использование отходов от отфильтрованной пыли невозможно, из-за требований по качеству к готовым продуктам из стекла или трудностей в управлении производственным процессом.

Экономика

Эта технология проходит испытания на допромышленном уровне, и эти испытания указывают, что она экономически жизнеспособна.

Ведущая сила для внедрения

Невозможность вторичного использования твердых отходов от оборудования десульфуризации отходящих газов внутренним способом должно представлять собой основной побудительный мотив для внедрения.

Заводы - примеры

Эта технология испытана во Франции, и идут исследования/разработка специальных видов оборудования для очистки. Эта технология пригодна для промышленности, и применяется во Франции и Италии для твердых отходов, производимых муниципальными мусоросжигательными заводами, в которых обработка отходящих газов выполняется с помощью двууглекислой соды.

7.8. Применение керамических и каталитических керамических фильтров для удаления многочисленных загрязняющих веществ от обработки отходящих газов

Описание

Топочные газы от стекловаренных печей представляют собой повышенные температуры, зависящие от уровня рекуперации тепла, и выполняют смешивание твердых и газообразных загрязняющих веществ (в основном NO_x и SO_x). В настоящее время ряд опробованных технологий применяется для удаления этих загрязняющих веществ, либо по отдельности, либо в комбинации (см., относящиеся сюда разделы в главе 4).

Применение высокотемпературных систем фильтрации в стекольной промышленности случается редко (см. раздел 4.4.1.5). Новый тип керамического фильтра, который может работать при высокой температуре, был разработан с обнадеживающими результатами.

Использование элементов (с малой плотностью) керамического фильтра представляет собой новую технологию обработки отходящих газов от плавильных печей стекла. Керамические фильтры весьма эффективны для отделения пыли, и хорошо работают в комбинации со стадией сухой газоочистки, служащей для удаления кислотных газов. Более того, указанный огнеупорный характер фильтрующей среды и благоприятная температура фильтрования, каталитическое восстановление выбросов NO_x делают возможным применить вместе с этой технологией каталитические керамические фильтры, если катализатор встроен в элементы такого керамического фильтра. Таким образом, основные загрязняющие вещества, отходящие от стекольных печей можно обрабатывать на одном блоке оборудования.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Обзор рабочих характеристик для защиты окружающей среды с точки зрения каталитического керамического фильтра, которые были замечены в разных типах, представлен в Таблице 7.1.

Таблица 7.1: Обзор рабочих характеристик для защиты окружающей среды с точки зрения оборудования с каталитическим керамическим фильтром

Применение	Масштаб	Площадь фильтра (м^2)	Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Вещество	На впуск- ном па- ке трубке	На выпус- ке
Сжигание (мусо-	Полностью	112	180	NO_x	1 – 2 нг/м^3	<0.01 нг/м^3

Применение	Масштаб	Площадь фильтра (м ²)	Температура (°C)	Вещество	На впуск- ном па- трубке	На выпус- ке
росжигание)						
Сжигание (мусо- росжигание)	Пилотный проект	56	280	Диоксин	450 мг/м ³	48 мг/м ³
Сжигание (мусо- росжигание)	Пилотный проект	51	280	NO _x	75 нг/м ³	0.55 нг/м ³
Стекло	Пилотный проект	56	220 – 260	Диоксин	1200 мг/м ³	250мг/м ³

Керамические фильтры гарантировано снижают выбросы твердых частиц до <10 мг/м³. На практике керамические фильтры для утилизации обеспечивают концентрации <2 мг/м³, если правильно работают.

Были сообщения о величинах эффективности удаления >90 % для HCl, >80 % для SO_x и примерно 80 % для NO_x.

Межсредовые последствия

По сравнению с матерчатыми рукавными фильтрами керамические фильтры дают дополнительный вес, который необходимо учитывать во время инженерной подготовки оборудования. Материалы, используемые для создания структуры фильтра, должны быть подходящими для работы при повышенной температуре. Как и в случае с другими системами каталитического восстановления для выбросов NO_x (SCR, SNCR), эти каталитические керамические фильтры потребуют впрыска аммиака, или если температура достаточно высока, то мочевины. Хранение и погрузка аммиака или мочевины могут представлять собой источник непредусмотренных выбросов газа в атмосферу, и к ним надо применять специальное законодательство.

Применимость

Элементы керамического фильтра представлены на рынке с середины 1980-х годов, и доступны в своем монолитном исполнении с 1991 года. В течение указанного пе-

риода времени они были применены для ряда работ, где было необходимо эффективная фильтрация при высоких температурах.

Еще один случай применения керамических фильтров имел место быть несколько лет назад на конвекционной боросиликатной стекольной печи в Соединенном Королевстве; оборудование уже выведено из эксплуатации.

Элементы керамического фильтра должны работать при температуре до 900 °C, в то время как каталитические керамические фильтры имеют характеристики для работы при температуре до 400 °C, выше которой эффективность катализатор может снижаться. На практике большинство систем на основе элементов керамического фильтра работают при температурах до примерно 450 °C, что составляет максимальную температуру для оборудования из углеродистой стали.

Существует ряд соображений относительно эффективной газоочистки кислотных газов (SO_2 , HCl , HF), включая выбор абсорбирующего реагента, стехиометрическое соотношение, температуру и имеющееся время для реакции.

Двууглекислая сода представляет собой предпочтительный сорбент для использования с элементами керамического фильтра. Абсорбенты на основе извести могут быть применены, в случаях, если условия рассматриваются как более хорошие, чем для двууглекислой соды, например для газоочистки типа HF (высокочастотная газоочистка).

Для снижения NO_x катализатор, встроенный в элементы каталитического керамического фильтра формулируется так, чтобы работать с реагентами в виде, либо с аммиаком, либо с мочевиной.

Экономика

Элементы керамического фильтра предлагают потенциал для поэтапного внедрения оборудования очистки загрязнений. На первом этапе можно смонтировать фильтр на основе стандартных элементов фильтрования для очистки от твердых частиц и удаления кислотных газов (с абсорбентом), с поддержанием достаточной температуры для будущей работы с NO_x .

На втором этапе элементы фильтра могут быть заменены на каталитические элементы керамического фильтра для снижения NO_x , или можно смонтировать систему избирательного каталитического восстановления (SCR). Наиболее подходящий выбор

можно сделать на основе экономических и технических соображений. Это поэтапное внедрение не допустит ненужные и необоснованные затраты.

Первоначальные капиталовложения на систему на основе каталитического керамического фильтра могут быть значительно более низкими по сравнению с традиционными альтернативами. Во время пересчета ежегодных эксплуатационных расходов, следует рассмотреть затраты на энергию, абсорбент, замену среды фильтрования, оплату рабочих и другие факторы. Расчет затрат предполагает, что стоимость владения во время срока службы системы каталитического керамического фильтра будет благоприятной по сравнению с другими технологиями.

Ведущая сила для внедрения

Возможность удалять смесь загрязняющих веществ с помощью одной системы может быть особенно привлекательной, если ограничена площадь для оборудования.

Заводы - примеры

Каталитические керамические фильтры были внедрены в небольшом масштабе, как на полномасштабных, так и на пилотных производствах. Пилотные случаи применения были запущены, чтобы близко отражать фактические эксплуатационные условия. Одно пилотное испытание небольшого масштаба было выполнено в Европе на линии производства листового стекла для полиграфии. Завод, на котором были испытания, вмещал 40 Cerafil TK-3000 XS-1 элементов фильтра (3 м в длину на 150 мм O/D и рабочую площадь 1.4 м²). Полученное снижение NO_x составило примерно 80 % при 280 °C, что является идеальной температурой для долговременных случаев использования. Испытание на искусственное старение показало стабильные длительные рабочие характеристики.

Было предпринято второе испытание в Европе на линии производства флоат-стекла. Результаты неизвестны в связи с конфиденциальностью.

Было объявлено о двух случаях промышленного применения, чтобы начать работы в 2010 году, включая, один случай в отрасли стекла для бытовых нужд для производства натрий-кальциевого стекла. Задачей было, получить доступ к этой технологии в

техническом и экономическом плане во время полномасштабной кампании.

7.9. Электростатический осадитель типа NASU для наночастиц

Описание

В стекольной промышленности технологии, применяемые для удаления пыли из отходящих газов от стекловаренной печи, в общем, представляют собой электростатический осадитель (ESP) и рукавный фильтр. Эти технологии показывают хорошие величины эффективности по удалению больших и тонких частиц даже с диаметрами <2 мкм. Однако, тонкие частицы (<2 мкм), ультратонкие частицы (<1 мкм) и наночастицы (<0.1 мкм) представляют собой более трудный фактор для удаления. Аэродинамическое и электростатическое поведение частиц с диаметром примерно 0.01 мкм является полностью отличным от частиц 2 мкм и более крупного диаметра. Частицы меньше, чем 0.1 мкм обладают высокой мобильностью и более низкими величинами заряда, и потребуют плотного матерчатого фильтра для удаления с последующим высоким перепадом давления в линии (в трубопроводе) отходящих газов. С традиционными электростатическими осадителями (ESPs) перепад давления не будет проблемой, но используемый блок будет крупнее и относительно дороже, из-за необходимости использовать несколько зон для зарядки (многопольная система), чтобы зарядить тонкие частицы для эффективного удаления (зарядка секции).

Электростатический осадитель для наночастиц основан на другой технологии для зарядки частиц (диффузионное зарядание), которое показывает улучшенную эффективность с тонкими частицами.

Система состоит из двухступенчатого устройства, которое использует «зарядку со звуковой струей» внутри, которой ионы производятся и выдуваются в пыль отходящих газов с помощью потока воздуха со скоростью звука. Схематическое представление о «звуковой струе» дается на рисунке 7.5.

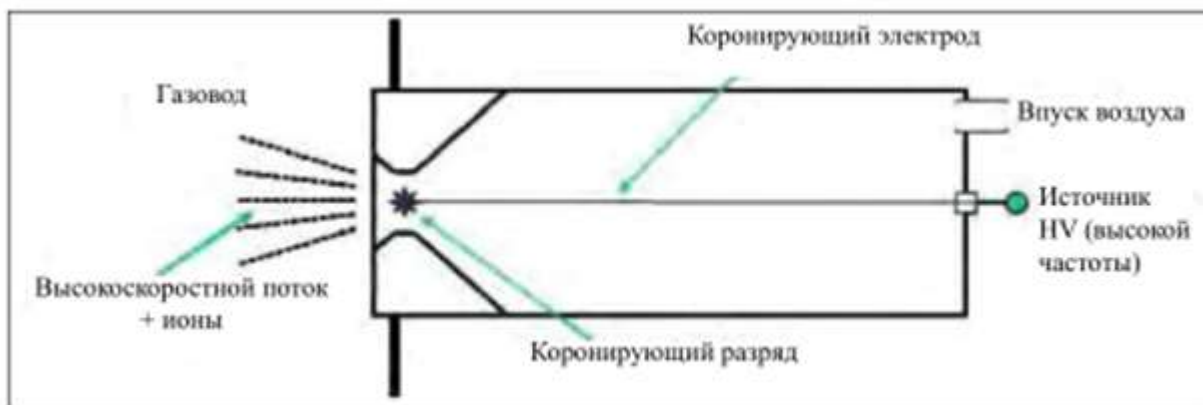


Рисунок 7.5: Схематическое представление о заряде с помощью «звуковой струи»

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Типовая эффективность удаления NASU ESP, состоящая из одного модульного фильтра, составляет величину между 80–90 % от общей нагрузки массы частиц. Если используются многократные поля (два или более блока модульных фильтров, подключенных последовательно), можно получить теоретическую эффективность удаления до 95 %. Указанные величины эффективности относятся к удалению твердых частиц со средним размером частицы меньше 2 мкм.

Эксплуатационные данные

Система электростатического осадителя (ESP) NASU, смонтированная на оборудовании для производства стекла для бытовых нужд работает при примерной средней скорости потока пыли 5.5 м/с. Для устройства зарядки звуковой струи не требуется очистки; она представляет собой постоянную величину напряжения короны, и свойства отходящих газов не влияют на ток. У устройства очень маленький размер и оно недорогое.

Применимость

Систему электростатического осадителя (ESP) NASU можно использовать для фильтрации тонких частиц в разных случаях применения, включая стекольные плавильные печи и системы нанесения покрытия на стекло.

Экономика

Модульность системы даёт возможность собрать вместе набор стандартных модулей, чтобы соответствовать скорости потока в осадителях разного размера. Эта характеристика делает систему электростатического осадителя (ESP) NSU весьма эффективной по стоимости. У этой системы низкие эксплуатационные расходы и затраты на монтаж, а также минимальное техобслуживание.

Ведущая сила для внедрения

Необходимость эффективно удалить ультратонкие частицы из выбросов является главной побудительной причиной для ее внедрения, вместе с возможностью монтировать несколько модульных блоков (10–12 или больше) в зависимости от потребностей и объема отходящих газов.

Заводы - примеры

Применение было испытано на заводе Бенекью (Хельсинки, Финляндия), чтобы обработать топочные газы от системы нанесения покрытия на стекло.

Эта система была испытана в январе 2009 года на стекольной фабрике Литтала Нуутаджарви на двух традиционных котловых печах для производства стекла для бытовых нужд с горелками, использующими сжиженные нефтяные газы. Фильтр был смонтирован на кровле здания.

Проект «NASU» пока не закончен. Исследования продолжаются, чтобы оценить, является ли эта система технически обоснованным решением для промышленных целей.

7.10. Скруббер с заряженным облаком

Описание

Технология скруббера с заряженным облаком (CCS) состоит из системы, где удаляются, как твердые частицы, так и газообразные загрязняющие вещества с помощью пропуска отходящих газов через камеру, содержащую тщательно созданное «заряженное, очищающее облако» высокой плотности, заряженное водяными каплями.

Внутри системы с камерой и облаком миллионы капель быстро взаимодействуют с частицами в ходе обработки отходящих газов. Если частица и капля проходят в пределах 20 мкм, электрические силы вызывают взаимное притяжение, и частица втягивается в каплю.

Захваченные частицы собираются в поддоне, и откладываются на дне камеры, откуда их удаляют в виде малообъемного шлама. Относительно чистая вода из верхней части поддона проходит обработку и используется снова на заряжающей сетке, где она получает повторный заряд и снова поступает в систему.

Система скруббера с заряженным облаком (CCS) может удалять растворимые газообразные загрязняющие вещества (т.е., SO_2 , HCl , HF , NH_3) в дополнение к тонким и ультратонким частицам.

На Рисунке 7.6 представлена принципиальная схема скруббера.



Рисунок 7.6. Принципиальная схема системы с заряженным облаком

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Указанные преимущества защиты окружающей среды, отмеченные на пилотных испытаниях для отходящих газов от стекольной печи с кислородно-топливным сжиганием, требуют высокой величины эффективности газоочистки, как для твердых частиц,

так и для SO_x (соответственно с 410 мг/м³ до 23 мг/м³ и от 770 мг/м³ до 1 мг/м³; данные указаны с пометкой - замеренные). Полномасштабная система скруббера с заряженным облаком (CCS), применявшаяся на печи с кислородно-топливным сжиганием, прошла испытания в США; результаты все еще не получены.

Эксплуатационные данные

Электропотребление для электростатического заряжения капель оценивается как значительно более низкое по сравнению с системами электростатических осадителей.

Перепад давления в системе скруббера с заряженным облаком (CCS) очень низкий, и создается в основном из-за туманоуловителя и подключенной сети трубопроводов. Как сообщается, технология относительно не поддается влиянию изменений в отношении заряда частиц и других связанных нагрузок.

Применимость

Система потенциально применима для отходящих газов от всех типов стекольных печей; однако, это необходимо подтвердить.

Ведущая сила для внедрения

Система скруббера с заряженным облаком (CCS) потенциально заметно снижает требования по площади, в которых необходима газоочистка тонкой пыли и кислотных газов.

Заводы - примеры

В настоящее время первая полномасштабная установка испытывается в США на печи с кислородно-топливным сжиганием.

7.11. Лазерная резка листового стекла

Описание

Лазерная резка, точнее термораскалывание листового стекла известна достаточно давно. В производстве стекол для дисплеев смартфонов эта технология уже давно базо-

вая. Однако, впервые опробованная на линии производства листового флоат-стекла, пока применяется только в Саратовском институте стекла на флоат-линии, причём только для продольной обрезки бортов. Недавно там начались работы по внедрению и поперечной резки ленты стекла, которые планируется закончить в этом году.

Эксплуатационные данные

Все известные виды термораскалывания основываются на углекислом лазере, который нагревает стекло, и струйкой охлаждающей жидкости раскалывает его. Конечно, это удорожает стандартный мост резки ленты стекла, Эксплуатационные расходы незначительно увеличиваются, по сравнению со стандартным методом резки. Добавляются расходы на периодическую покупку баллона с газом и охлаждающую жидкость. В общем, это навесное оборудование на штатный мост резки, который дублируется обычными режущими роликами.

Применимость

Это оборудование применимо не только на собственно производстве листового стекла, как флоат, так и прокатного и любого другого стекла, но, может быть, применимо гораздо шире - в промышленной переработке листового стекла.

Ведущая сила для внедрения

Причин для внедрения несколько, но все они являются следствием уменьшения трещин Гриффитса при резке стекла, В результате чего значительно возрастает прочность листа стекла. Соответственно снижается количество брака как на линии, так и при транспортировке стекла, а также при переработке стекла. Особенно эффективно применение этого принципа резки для конечного готового листа стекла по заданным покупателем размерам. Во многих случаях, тогда не требуется даже термоупрочнение стекла, а это значительная экономия в конечном изделии. В этом и состоит главная ценность метода. Кроме того, снижается количество стеклянных крошек, образующихся при резке.

Заводы - примеры

Саратовский институт стекла, Россия.

7.12. Печи отжига на основе инфракрасного излучения

Описание

В подавляющем большинстве современные печи отжига как для стеклотарных заводов, заводов листового стекла сочетают конвективный и радиационный, то есть инфракрасный нагрев стекла, в результате сжигания углеводородного топлива, газа, например. При этом уже много лет как были разработаны печи отжига, действующие без применения газовых или иных горелок. Такие печи прошли промышленное испытание в Рославле ещё в советское время, причём для толстостенной сортовой посуды, с резко неравномерной толщиной стенок, что, как известно, довольно сложно отжигать. Излучательным элементом в инфракрасных печах являются мощные лампы, испускающие инфракрасное излучение определённой длины.

Полученные преимущества для защиты окружающей среды

Любое применение электронагрева по сравнению с сжигающими углеводородное топливо устройствами, всегда экологичнее, так как при этом не происходит образование вредной смеси дымовых газов. Естественно, это же относится и к замене газовых печей отжига на инфракрасные.

Эксплуатационные данные

Потребление энергии в ценовом отношении примерно соответствует обычным газовым печам отжига даже при существующем соотношении стоимости газа и электроэнергии. Но конструктивно инфракрасные печи короче, проще, в них можно гораздо более точно регулировать мощность, время, локализацию нагрева, стекло практически одновременно прогревается на всю глубину, в результате повышается качество отжига.

Применимость

Для бесцветных стекол ограничений по применению, как в производстве листового, так тарного стекла, нет. Для тёмных стекол вопрос сложнее, в зависимости от применяемых красителей применимость может меняться.

Ведущая сила для внедрения

Основным стимулом внедрения служит высокое качество и скорость отжига, что предполагает перспективность для производств с повышенными требованиями к качеству стекольной продукции.

8 Заключение и рекомендации для будущей работы

Отсчет времени процесса рассмотрения

Справочник разработан Технической рабочей группой № 5 «Производство стекла» (далее – ТРГ-5), созданной приказом Росстандарта от 04.03.2015 г. № 246.

Первое совещание по организации процесса разработки справочного документа по наилучшим доступным технологиям при производстве стекла (далее – НДТ) было проведено в марте 2015 г. ТРГ-5 согласилась поддерживать структуру Справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям *«Наилучшие доступные технические методы, относящиеся к производству стекла»* («Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass») с учетом особенностей производства стекла в Российской Федерации.

Во время первого совещания была высказана озабоченность конфиденциальностью данных, которые следует собрать со стекольных заводов для обзора справочного документа НДТ. Было принято решение, что данные будут распространяться только в усредненном, обезличенном виде.

Этот период сбора данных и информации завершился в июле 2015 г. Эта информация была проверена с помощью экспертов, консультаций с членами ТРГ-5 и с помощью тщательных проверок.

Первый проект справочного документа НДТ относится к августу 2015 года, с консультационным периодом с ТРГ-5, который закончился в сентябре 2015 года. Промежуточное совещание ТРГ-5 было проведено в июле 2015 года с целью обсудить ряд специфических тем, что потребовало дополнительную информацию для завершения процесса обзора.

Второй отредактированный проект справочного документа НДТ был выпущен в октябре 2015 года (полный документ) с пожеланием для членов ТРГ-5 обеспечить комментарии об отредактированном проекте документа в октябре 2015 г.

Окончательно совещание ТРГ-5 состоялось в октябре 2015 г. ТРГ-5 включала в себя 18 членов, представляющих 2 ассоциации, объединяющие стекольные предприятия; 4 научно-исследовательских института, 2 высших учебных заведения, 5 промышленных предприятий.

Источники информации и информационные пробелы

Обмен информацией для составления справочного документа НДТ был осложнен очень коротким временем его разработки, недостаточностью информации о принципах НДТ на промышленных предприятиях и в ассоциациях, нежеланием многих предприятий участвовать в его разработке.

Основные поставщики информации – это Росстат и научно-исследовательские институты, которые предоставили накопленные у них усредненные данные по технологическим показателям отрасли. Дополнительную информацию предоставили промышленные предприятия.

Несмотря на полезность полученной информации, следует отметить, что информация носила отрывочный, плохо систематизированный характер; в её предоставлении приняли участие мало предприятий, поэтому она недостаточно статистически обоснована; информация плохо отражает быстрые изменения, которые происходят в стекольной промышленности России.

Степень удовлетворения, полученная во время обмена информацией

Во время и после заключительного заседания технической рабочей группы был достигнут консенсус для всего документа. Было принято решение о передаче его для согласования и утверждения в Федеральные органы власти РФ.

Рекомендации для будущей работы

Опыт разработки данного справочника, в том числе обмена информацией в процессе разработки и качество результатов показывает ряд областей, в которых следует

вести сбор дополнительной информации в будущем, чтобы содействовать в определении применимости определенных технологий, чтобы рассмотреть в определении НТД, и уточнить НТД-AELs, а также другие связанные уровни. Также будет полезна, и другая работа с целью обеспечить глубокое понимание вопросов межсредовых последствий, и потенциальные улучшения рабочих характеристик для некоторых идентифицированных НТД. Рекомендации в эти областях для дальнейшей работы и в областях, которые следует рассмотреть, во время редактирования настоящего документа, изложены для обсуждения ниже. Учитывая, что не более, чем через 10 лет, справочник должен быть пересмотрен необходимо поручить с обеспечением соответствующего финансирования одному из научно-исследовательских институтов стекольного профиля систематически вести работу по собиранию и анализу данных о влиянии стекольных производств на окружающую среду; о новых стекольных технологиях и природоохранных мероприятиях, которые могут быть использованы в стекольной промышленности. В том числе:

- Следует собрать больше данных для оценки рабочих характеристик идентифицированных технологий. Следует собирать и анализировать данные о выбросах, относящиеся ко всем уже примененным соответствующим технологиям.

- Вместе с данными выбросов следует предоставлять дополнительную информацию о методах измерения (непрерывный и периодический способы измерений), особенно о величине предела чувствительности и неопределенности; характеристиках применяемых средств измерений, стандартизировать и унифицировать методы измерений.

- Следует собирать и анализировать данные об удельном энергопотреблении в разделенной на части форме для лучшей оценки; следует собирать больше детальной информации на уровне технологии производства (т.е., процент стеклянного боя, возраст печи и т.д.).

- Следует собирать и анализировать данные об инвестициях и эксплуатационных расходах для стекольных заводов, и их следует согласовывать (коррелировать) с другой соответствующей информацией (год инвестиции, изделия, включенные в данные о стоимости и т.д.).

- Следует собирать дополнительные данные о выбросах CO.

- Следует собирать дополнительные данные о выбросах NH₃, если уже применены технологии избирательного каталитического восстановления (SCR) или выборочной не-

каталитической редукции (SNCR) особенно, чтобы согласовать достижимые уровни выбросов NO_x с потенциальным межсредовым влиянием замещения аммиака.

- Следует собирать данные о выбросах смесей бора на уровне технологии производства, имея в виду определение специальной ПДК (или допустимые уровни выделения) (НДТ-AELs) для этих смесей. Эта рекомендация является особенно уместной из-за включения двух смесей бора (борной кислоты, безводного динатрийтетрабората) в список опасных веществ.

- Следует собирать дополнительную, относящуюся именно к этому оборудованию информацию и данные выбросов для отраслей листового стекла и тарного стекла, чтобы получить доступ к соответствующим последствиям, связанным с высокими величинами эффективности удаления выбросов SO_x и вторичного использования отходов пыли фильтров в составе шихты. Следует дополнительно исследовать варианты утилизации в мусорных отсыпках грунта для пыли фильтров по сравнению с более высокими выбросами SO_x .

- Для производства каменного волокна следует собирать дополнительные данные о величинах эффективности удаления SO_x и межсредовых последствиях, связанных с производством потока твердых отходов на уровне технологии. Особенно желательно предоставлять информацию о вторичном использовании твердых отходов с помощью цементных брикетов и альтернативных путях для пыли из фильтров. Для производства каменного волокна следует рассмотреть данные выбросов летучих органических веществ от работ дальше по технологической цепочке и информацию, относящуюся к источникам, и технологиям газоочистки с дополнительными деталями.

- Следует собирать данные выбросов NO_x , связанные с использованием нитратов в рецепте шихты для всех заинтересованных отраслей (тарное, листовое, специальное стекло и стекло для домашних нужд; минерального (стеклянного) волокна, фритты). Необходимы данные и величины выбросов, связанные с конкретной отраслью на уровне технологии.

- Для производства фритты следует собирать дополнительные специальные данные об оборудовании, касающиеся выбросов NO_x и информацию о возможных технических вариантах для их снижения, чтобы обеспечить улучшенный доступ в эту отрасль.

Предлагаемые темы для будущих опытно – конструкторских работ

Следует провести комплексные исследования по возможности и эффективности использования на стекольных заводах альтернативных источников электрической энергии (фотоэлектрических, ветровых и т.д.) с целью снижения их влияния на окружающую среду.

Следует провести разработки конструкций электрических стекловаренных печей различной производительности и для различных видов стекол с учетом новых материалов и оборудования, провести анализ возможности и эффективности их использования, в том числе с применением альтернативных источников электрической энергии.

Следует провести разработки конструкций стекловаренных печей и горелок для них с кислородно-топливным обогревом с учетом новых технологий получения кислорода; использования кислорода, получаемого при производстве азотно-водородной смеси для флоат-ванн, провести анализ возможности и эффективности их использования.

Следует поставить цикл работ по освоению и внедрению международного опыта по математическому моделированию и проектированию печей, питателей разного типа, без этого невозможно развитие собственной научно-инженерной базы проектирования стекольных производств. В ближайшем будущем, прежде чем выбрать тот или иной тип, конфигурацию, мощность, производительность печи и каналов питателя (по международной терминологии «дизайн»), заказчик будет моделировать это в цифровом варианте, причём с учётом возможной замены компонентов шихты оставляя прежний состав стекла и , наоборот, модифицируя состав шихты и «дизайн» печи.

Связанный с предыдущим, необходим и цикл работ по развитию имеющегося отечественного и освоения международного опыта по математическому моделированию разных составов шихты для получения стекла заданного состава с выработкой пригодного для практического применения соответствующего программного обеспечения.

Следует повторно исследовать потенциальную применимость некоторых имеющихся технологий для отрасли фритты с конкретными указаниями вторичных мер (природоохранное оборудование в конце производственного цикла) для снижения выбросов NO_x (т.е., технологии избирательного каталитического восстановления (SCR), или выборочной некаталитической редукции (SNCR), чтобы определить технические и экономические ограничения для таких технологий.

Была бы весьма полезна работа по сравнению измерений твердых и газообразных выбросов от смесей бора от плавильных печей по производству стекла, содержащего бор, чтобы определить стандартный метод забора образцов и оценки подходящих ПДК (НДТ-AELs).

В отношении применения технологии избирательного каталитического восстановления (SCR) в стекольной промышленности, были сообщения о более низких уровнях выбросов NO_x , как о теоретически достижимых на основе рабочих характеристик, наблюдаемых в промышленных отраслях. Следует исследовать возможность получить более низкие уровни выбросов NO_x , особенно в отрасли листового стекла.

Целесообразно провести работы по анализу и выработке рекомендаций по подготовке сырья, в том числе подогрева, компактирования, диспергированная шихты, введения новых компонентов или модифицирования старых компонентов, применения сырья новых типов, использования отходов промышленности, выработке рекомендаций по качеству и на перспективу отечественным производителям различного сырья для стекольной промышленности, выработке рекомендаций для стеклозаводов по системному выбору тех или иных компонентов шихты в зависимости от производственных задач с учётом международного рынка стекольного сырья.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 2014 г. N 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации»;
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 23.12.2014 № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям»;
3. Приказ министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31.03.2015 № 665 «Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии»;

4. ГОСТ 4.350–93 Система показателей качества продукции. Машины и оборудование для стекольной промышленности. Номенклатура показателей;
5. ГОСТ 12.2.015–93 Машины и оборудование для стекольной промышленности. Общие требования безопасности;
6. ГОСТ 111–2014 Стекло листовое бесцветное. Технические условия;
7. ГОСТ 1224–71 Стекло термометрическое. Марки;
8. ГОСТ 1232–93 Изоляторы линейные штыревые фарфоровые и стеклянные на напряжение 1–35 кВ. Общие технические условия;
9. ГОСТ 1663–81 Стекла для указателей уровня жидкости. Технические условия;
10. ГОСТ 3514–94 Стекло оптическое бесцветное. Технические условия;
11. ГОСТ 3910–75 Изделия огнеупорные динасовые для кладки стекловаренных печей. Технические условия;
12. ГОСТ 5635–80 Рассеиватели стеклянные для автотракторных, мотоциклетных и велосипедных осветительных и светосигнальных приборов. Технические условия;
13. ГОСТ 5717.1–2014 Тара стеклянная для консервированной пищевой продукции. Общие технические условия;
14. ГОСТ 7151–74 Изделия огнеупорные алюмосиликатные блочные для стекловаренных печей. Технические условия;
15. ГОСТ 8325–93 Стекловолокно. Нити крученые комплексные. Технические условия;
16. ГОСТ 8778–81 Заготовки очковых линз. Технические условия;
17. ГОСТ 9411–91 Стекло оптическое цветное. Технические условия;
18. ГОСТ 9541–75 Пластины стеклянные для защиты от рентгеновского излучения. Технические условия;
19. ГОСТ 10036–75 Рассеиватели, защитные и декоративные стекла из силикатного стекла для светильников. Общие технические условия;
20. ГОСТ 10499–95 Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна. Технические условия;
21. ГОСТ 10727–91 Нити стеклянные однонаправленные. Технические условия;

22. ГОСТ 10782–85 Бутылки стеклянные для крови, трансфузионных и инфузионных препаратов. Технические условия;
23. ГОСТ 13078–81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия;
24. ГОСТ 13079–93 Силикат натрия растворимый. Технические условия;
25. ГОСТ 13240–78 Заготовки из оптического стекла. Технические условия;
26. ГОСТ 13451–77 Материалы полевошпатовые и кварц-полевошпатовые для стекольной промышленности. Технические условия;
27. ГОСТ 13659–78 Стекло оптическое бесцветное. Физико-химические характеристики. Основные параметры;
28. ГОСТ 15130–86 Стекло кварцевое оптическое. Общие технические условия;
29. ГОСТ 15177–70 Трубы из прозрачного кварцевого стекла для источников света и электровакуумных приборов;
30. ГОСТ 15844–2014 Упаковка стеклянная для молока и молочных продуктов. Общие технические условия;
31. ГОСТ 16287–77 Электроды стеклянные промышленные для определения активности ионов водорода ГСП. Технические условия;
32. ГОСТ 16548–80 Стекло кварцевое и изделия из него. Термины и определения;
33. ГОСТ 17139–2000 Стекловолокно. Ровинги. Технические условия;
34. ГОСТ 18328–73 Изоляторы стеклянные линейные подвесные и штыревые. Требования к качеству стекла и поверхности изоляционных деталей;
35. ГОСТ 19808–86 Стекло медицинское. Марки;
36. ГОСТ 19908–90 Тигли, чаши, стаканы, колбы, воронки, пробирки и накопники из прозрачного кварцевого стекла. Общие технические условия;
37. ГОСТ 21400–75 Стекло химико-лабораторное. Технические требования. Методы испытаний;
38. ГОСТ 22551–77 Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. Технические условия;
39. ГОСТ 23671–79 Известняк кусковой для стекольной промышленности. Технические условия;

40. ГОСТ 23672–79 Доломит для стекольной промышленности. Технические условия;
41. ГОСТ 23932–90 Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Общие технические условия;
42. ГОСТ 24315–80 Посуда и декоративные изделия из стекла. Термины и определения видов стекол, способов выработки и декорирования;
43. ГОСТ 27706–88 Печи ванны для изготовления тянутого листового стекла. Расчет показателей энергопотребления;
44. ГОСТ 28316–89 Печи ванны регенеративные для варки тарного стекла. Показатели энергопотребления
45. ГОСТ 30005–93 Тара стеклянная. Термины и определения дефектов;
46. ГОСТ 30407–96 Посуда и декоративные изделия из стекла. Общие технические условия;
47. ГОСТ 30808–2002 Линзы очковые. Общие технические условия;
48. ГОСТ 30288–95 Тара стеклянная. Общие положения по безопасности, маркировке и ресурсосбережению;
49. ГОСТ 32130–2013 Банки стеклянные для пищевых продуктов рыбной промышленности. Технические условия;
50. ГОСТ 32131–2013 Бутылки стеклянные для алкогольной и безалкогольной пищевой продукции. Общие технические условия;
51. ГОСТ 32361–2013 Стекло и изделия из него. Пороки. Термины и определения;
52. ГОСТ 32539–2013 Стекло и изделия из него. Термины и определения;
53. ГОСТ 32650–2014 (ISO 2078:1993) Стекловолокно. Нити. Типы и марки;
54. ГОСТ 32671–2014 Тара стеклянная для продуктов детского питания. Общие технические условия;
55. ГОСТ 32997–2014 Стекло листовое, окрашенное в массу. Общие технические условия;
56. ГОСТ 33004–2014 Стекло и изделия из него. Характеристики. Термины и определения;

57. ГОСТ 33204-2014 Упаковка стеклянная. Дефекты стекла и изделий из него. Термины и определения. Дефекты стекла;
58. ГОСТ 33205-2014 Упаковка стеклянная. Бутылки декорированные для алкогольной и безалкогольной пищевой продукции. Общие технические условия;
59. Правила технической эксплуатации стеклотарных заводов. Минстрой материалов СССР, М., 1977 г.;
60. «Рекомендации по технологическому регламенту процесса производства листового стекла способом термического формования на расплаве металла» ГИС. ВНИИТЕХСТРОЙСТЕКЛО, М., 1986 г., 450 с.;
61. ТТР 21-23-03-88 «Типовой технологический регламент процесса изготовления силиката натрия растворимого», М., ГИС, 1988 г., 31 с.;
62. ТТР 21-23-11-87 «Типовой технологический регламент производства изделий из светотехнического стекла», М., ГИС, 1987 г., 72 с.;
63. ГОСТ Р 50049–92 (ИСО 6355-88) Стекловолокно. Термины и определения;
64. ГОСТ Р 51477–99 Тара стеклянная для химических реактивов и особо чистых веществ. Технические условия;
65. ГОСТ Р 51640–2000 Тара стеклянная для товаров бытовой химии. Технические условия;
66. ГОСТ Р 51781–2001 Тара стеклянная для парфюмерно-косметической продукции. Общие технические условия;
67. ГОСТ Р 51969–2002 Посуда хозяйственная из специального бытового стекла. Общие технические условия;
68. ГОСТ Р 52022–2003 Тара стеклянная для пищевой и парфюмерно-косметической продукции. Марки стекла;
69. ГОСТ Р 52233–2004 Тара стеклянная. Стеклобой. Общие технические условия;
70. ГОСТ Р 52581–2006 Ровинг из стеклянных нитей. Технические условия;
71. ГОСТ Р 52898–2007 Бутылки стеклянные для пищевой уксусной кислоты и пищевых уксусов. Технические условия;
72. ГОСТ Р 53172–2008 Дороги автомобильные общего пользования. Изделия для дорожной разметки. Микростеклошарики. Технические требования;

73. ГОСТ Р 53237–2008 Стекловолокно. Общие требования безопасности при производстве и переработке;
74. ГОСТ Р 53416–2009 Тара стеклянная для лекарственных средств. Общие технические условия;
75. ГОСТ Р 54201–2010 Ресурсосбережение. Производство сортового и тарного стекла. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности;
76. ГОСТ Р ИСО 14050–2009 Менеджмент окружающей среды. Словарь;
77. ГОСТ Р 54494-2011 (до 01.01.2016) Тара стеклянная. Дефекты стекла и изделий из него. Термины и определения;
78. Предварительный национальный стандарт ПНСТ 21-2014 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника. – М. :Стандартинформ, 2014 г. – 14 с.;
79. Предварительный национальный стандарт ПНСТ 22-2014 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения. – М. :Стандартинформ, 2014 г. – 14 с.;
80. Справочник Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Наилучшие доступные технические методы, относящиеся к производству стекла» («Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass»);
81. Иебсен-Марведель Г. «Производственно-технические пороки стекла», т. 1, 2, М. ГИЗЛегПром, 1941 г.;
82. «Технология стекла» под ред. И.И. Китайгородского, М., Стройиздат, 1961 г., 623 с.;
83. «Справочник по производству стекла» под ред. И.И. Китайгородского, С.И. Сильвестровича, т.1, 2, М., Стройиздат, 1963 г.;
84. Фандерлик М. «Пороки стекла», М., Стройиздат, 1964 г., 352 с.;
85. «Стекло. Справочник» под ред. Н.М. Павлушкина, М., Стройиздат, 1973 г., 487 с.;
86. «Физико-химические основы производства оптического стекла», Под редакцией Л.И. Демкиной, Л., изд. "Химия". 1976 г.;
87. Белова Н.А., Фигуровский И.А., Юдин Н.А. «Производство изделий из свинцового хрусталя. Обзор», ВНИИЭСМ, М., 1977 г.;

88. Щукин В.С. «Современные методы и пути совершенствования приготовления стекольной шихты. Обзор», ВНИИЭСМ, М., 1979 г.;
89. «Химическая технология стекла и ситаллов» под ред. Н.М. Павлушкина, М., Стройиздат, 1983 г., 432 с.;
90. Казеннова Е.П. «Общая технология стекла и стеклянных изделий», М., Стройиздат, 1983 г., 112 с.;
91. Федорова В.А., Гуляян Ю.А. «Производство сортовой посуды», "Легкая и пищевая промышленность", М., 1983 г.;
92. Солнцев С.С. «Защитные технологические покрытия и тугоплавкие эмали», М., "Машиностроение", 1984 г.;
93. Лаптев В.И., Сибиряков В.А. «Электро-термические агрегаты для варки стекла», М., "Легпромбытиздат", 1985 г.;
94. Гуляян Ю.А. «Технология стеклотары и сортовой посуды», М., Легпромбытиздат, 1986 г.;
95. Мазурин О.В. «Стекловарение», Л., "Наука", 1986 г.;
96. Бобкова Н.М., Дятлова Е.М., Куницкая Т.С. «Общая технология силикатов», Минск, "Высшая школа", 1987 г.;
97. «Рекомендации по определению удельных расходов топлива, тепловой электрической энергии в стекольной промышленности», М., ГИС, 1991 г., 217 с.;
98. Будов В.М., Саркисов П.Д. «Производство строительного и технического стекла», М., "Высшая школа", 1991 г.;
99. Парюшкина О.В., Мамина Н.А., Панкова Н.А. "Стекольное сырье России". М., 1995 г.;
100. Панкова Н.А., Михайленко Н.Ю. «Стекольная шихта и практика ее приготовления», М., 1997 г.;
101. Мелконян Р.Г. «Аморфные горные породы и стекловарение», М., НИА-Природа, 2002 г., 266 с.;
102. Гуляян Ю.А. «Технология стекла и стеклоизделий», Владимир, 2003 г.;
103. Макаров Р.И., Тарбеев В.В., Хорошева Е.Р., Попов Ю.М., Чуплыгин В.Н. «Управление качеством листового стекла (флоат-способ)», М., Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004 г., 152 с.;

104. Маневич В.Е., Субботин К.Ю., Ефременков В.В. «Сырьевые материалы, шихта и стекловарение», М., РИФ «Стройматериалы», 2008 г., 224 с.;
105. Гуляян Ю.А. «Физико-химические основы технологии стекла», Владимир, 2008 г.;
106. Дзюзер В.Я., Швыдкий В.С. «Проектирование энергоэффективных стекловаренных печей», - М: Теплотехник, 2009.-340 с.;
107. Михайленко Н.Ю., Орлова Л.А. «Типы и виды стекла и стекломатериалов. Терминологический справочник», М., РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012 г., 92 с.;
108. «Технология стекла. Справочные материалы» под ред. П.Д. Саркисова, В.Е. Маневича, В.Ф. Солинова, К.Ю. Субботина, М., 2012 г., 647 с.;
109. Севастьянов Р.И. «Электрическая варка стекла», М., 2012 г.

Приложения

Приложение А. Виды продукции, включенные в данный справочник

Номенклатура продукции, включенной в область деятельности данного справочника, приведена в таблице А1.

Таблица А1. Номенклатура продукции

Код ОКПД2	Наименование продукции
23.11.12	Стекло листовое бесцветное Стекло листовое, окрашенное в массе
23.13.11	Тара стеклянная (бутылки, банки, флаконы)
23.13.12	Посуда стеклянная, предназначенная для питья (стаканы, бокалы, чашки и т.п.)
23.13.13	Посуда (кроме 23.13.12) и декоративные изделия из стекла
23.14.11	Стекловолокно (нити, ровинги)
23.99.19.110	Минеральная вата (стеклянная, каменная, шлаковая)

Код ОКПД2	Наименование продукции
23.19.21	Колбы и трубки для ламп Стекло для электронно-лучевых трубок
23.19.23	Посуда лабораторная стеклянная
23.19.24	Стекло для светотехнических изделий
23.19.26	Стекло кварцевое, оптическое, для электронной промышленности
20.13.62.130	Силикаты натрия и калия растворимые
20.30.21.150	Фритты

Приложение Б. Пример баланса серы для печей технического стекла

В главах 4 и 5 даются ссылки на использование балансов серы для определения условий, присущих системе, или в качестве основы сравнений различных вариантов процесса. Это приложение содержит два примера балансов серы для натрий-кальциевого стекла вместе с упрощенным примером для минеральной ваты и объясняет связанные с этим вопросы для этих примеров.

Производство силикатного стекла

Примеры, выбранные для силикатного стекла, имеют отношение к одной печи для листового стекла и одной печи для тарного стекла с полной и частичной внутренней переработкой собранной пыли из фильтрующего блока, содержащего очистку кислого газа. Цифры, используемые только для примера, и, в частности, для уровней выбросов, приведенные в примерах, не следует принимать как требуемый показатель.

Общая переработка пыли фильтров зависит от типа стекла, его степени окисления, его способности поглощать SO_3 и в более общем плане от условий эксплуатации печи (в частности, содержания серы в топливе). Лучший способ проиллюстрировать эти аспекты – это изучить полный баланс серы, как указано на рисунке ниже. Для конкретного случая, поток может быть приведен в кг/ч когерентной единицы (SO_2 , SO_3 , или S) или, альтернативно, в мг/нм^3 SO_2 , поскольку для определенной печи можно непосредственно рассчитать коэффициент преобразования между концентрацией и массовым расходом.

Для баланса серы в печи ниже приведены вводные параметры:

- ∞ Приход серы с шихтой посредством сырьевого материала;
- ∞ Приход серы с шихтой посредством стеклобой (внутренний + внешний);
- ∞ Приход серы с шихтой посредством топлива;
- ∞ Приход серы с шихтой посредством переработанной пыли фильтра.

Ниже приведены выходные параметры:

- ∞ Сера в готовом стекле;
- ∞ Сера в дымовых газах ($\text{SO}_2 + \text{SO}_3$);
- ∞ Сера, содержащаяся в пыли;
- ∞ Сера в пыли, оседающей в регенераторах и дымоходах (по оценкам, от 1 до 5 %).

Общий баланс серы должен включать баланс серы для блока контроля загрязнения, т.е. выходы на стеке и пыль фильтра. Если количество пыли фильтра не совместимо с типом стекла, внешний способ захоронения (как правило, захоронение отходов) должен быть использован, по крайней мере, для части пыли. В качестве альтернативы, чтобы минимизировать захоронение отходов, содержание серы в топливе может быть уменьшено. Этот последний вариант является, как правило, предпочтительным выбором как с точки зрения защиты окружающей среды в целом и согласно экономическим соображениям.

Переработка пыли фильтров предполагает замену сульфата натрия или сульфата кальция в сырьевом материале. Потенциальное количество пыли, которое может быть переработано, зависит от количества сульфата, необходимого для переработки и возможности замены этого сульфата пылью фильтра. Свойства пыли и потенциал для переработки будет зависеть от условий эксплуатации и используемого типа поглощающего материала (материала очистки).

Внешний стеклобой и его средний состав будет также влиять на исходные данные SO_3 . Количество серы, которое может абсорбироваться в стекле, варьирует почти от нуля для некоторого восстановленного стекла, вплоть до 700 мг/нм^3 для окисляющего флинта. Эти цифры являются лишь ориентировочными.

На рисунке Б.1 баланс серы представлен для печи для варки флоат-стекла, где пыль фильтра полностью рециркулируется в печь в составе шихты.

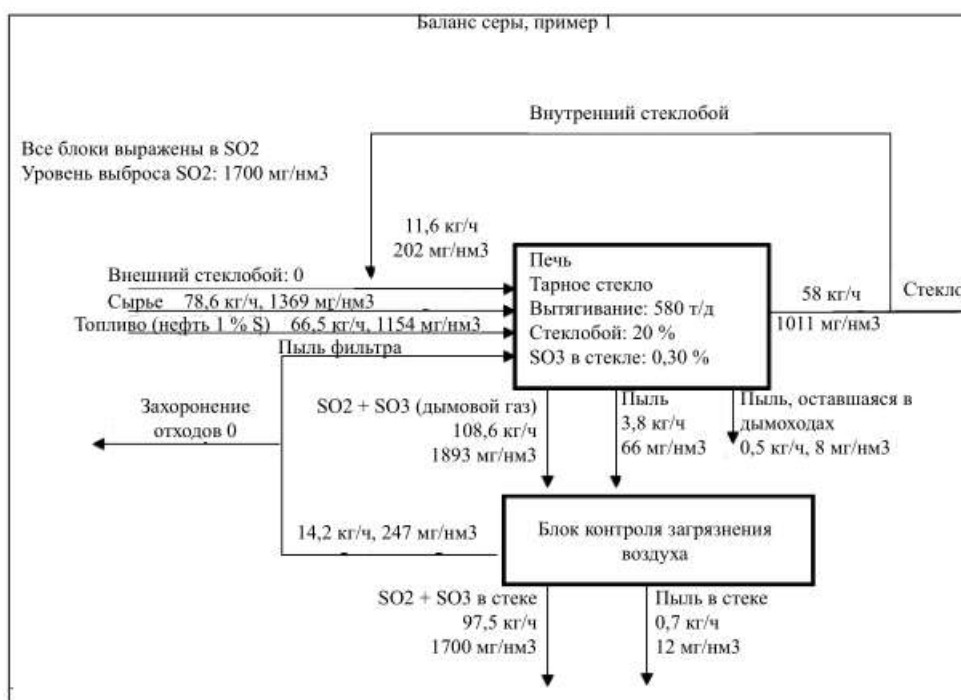


Рисунок Б.1. Баланс серы для печи для варки флоат-стекла с полной утилизацией пыли фильтра

На рисунке Б.2 баланс серы представлен для печи для варки тарного стекла, где только часть пыли фильтра рециркулируется в печь в составе шихты.

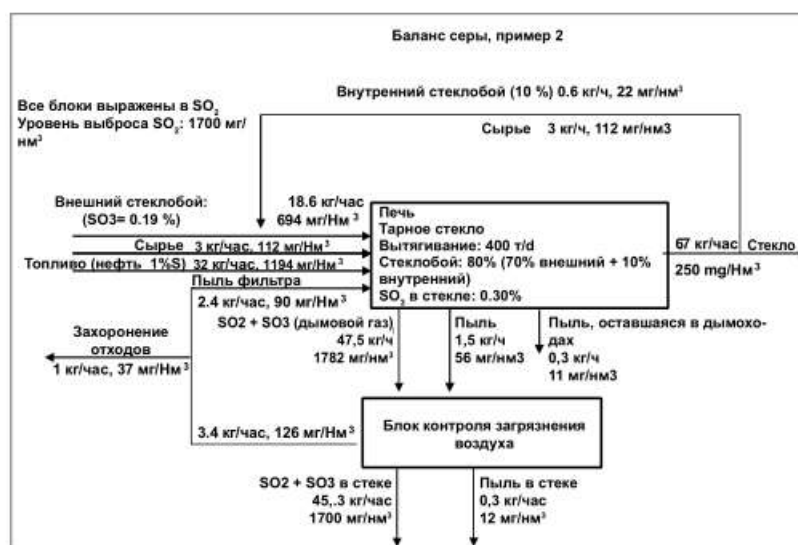


Рисунок Б.2: Баланс серы для печи для варки тарного стекла с частичной утилизацией пыли фильтра

Производство минеральной ваты

Производство минеральной ваты часто включает в себя переработку пыли фильтра и, в частности, для стекловаты, использование различного количества переработанного стеклобоя.

Сырье, используемое в процессе, по существу, является чистым, и оно не содержит значительного количества серы. Типичное содержание серы приведено в таблице Б.1.

Таблица Б.1: Сырье и типичное содержание серы в производстве минеральной ваты

Сырье	Состав	Типичное содержание серы (% в SO ₃)	Макс. значения
Песок	SiO ₂	<0,01	
Карбонат натрия	Na ₂ CO ₃	0,015	0,020
Известняк	CaCO ₃	<0,01	
Доломит	MgCO ₃ .CaCO ₃	0,04	0,05
Камень	Минерал на основе алюмосиликата	<0,01	
Борат	Гидратный	0,01	0,011

Технологическая линия, представленная в примере, используемом для исследования баланса серы для производства стекловаты, работает на газе.

Природный газ, подаваемый на объект, представленный в примере, имеет очень низкое содержание серы, которые можно было бы считать практически ничтожным.

Производственный процесс, как правило, генерирует 3 – 10 % внутреннего стеклобоя, который непосредственно возвращается в процесс. Внешний стеклобой, используемый на объекте, образовывается либо из тарного стекла (бутылки и банки) или листового стекла (окно). Типичное содержание серы широко используемых типов стеклобоя представлено в таблице Б.2.

Таблица Б.2. Типичное содержание SO_3 широко используемых типов стеклобоя

Тип стеклобоя		Типичное содержание SO_3 (%)
Тарные	Чистый	0,18
	Зеленый	0,14
	Янтарный	0,05
Листовой	Чистый	0,22
Внутренний		0,044

Содержание серы в продукте стекловаты на объекте в примере эквивалентно 0,044 % SO_3 (для внутреннего стеклобоя). Что касается производства стеклотары, количество серы, которое может быть абсорбировано в стекле, зависит от состояния окисления-восстановления стекломассы и, в частности, зависит от соотношения ионов $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ в стекле.

Пыль, которая удаляется из потока отходящего газа, представляет собой переменное содержание серы, но значение 7 % SO_3 считается типичным.

Баланс серы, рассчитанный на основе SO_3 , поступающей в печь с сырьем и стеклобоя, выход стекловаты, пыли фильтра и газообразных выбросов SO_x показывают, что стеклобой несет ответственность за подавляющее большинство входных параметров серы в процессе плавки. Относительные пропорции входных параметров и выходных параметров серы из процесса показаны на Рисунке Б.3.



Рисунок Б.3. Графический баланс сырья для кислородно-топливной печи для производства стекловаты с рециклингом пылевого фильтра

Характерные значения выбросов SO_x , измеренные на объекте, показывают концентрации, колеблющиеся от 69 до $143 \text{ мг/м}^3 SO_2$. Массовый баланс, подготовленный согласно данным завода производства, прогнозирует значение 77 мг/м^3 .

Приложение В. Мониторинг выбросов

Это приложение дает общие рекомендации для измерения выбросов от производства стекла, для того, чтобы получить репрезентативные и сопоставимые результаты. Ряд национальных и международных методов и процедур могут быть применены для измерения выбросов, но их использование может привести в значительной степени к разным результатам из-за ненадлежащего применения общих методов в отдельном случае, как, например, процесс стеклового производства.

В.1. Основные загрязнители

Основным источником загрязнения в стекольной промышленности являются атмосферные выбросы от процесса стекловарения. Тем не менее, в некоторых секторах

деятельность в конечных звеньях производственно-сбытовой цепи может также привести к значительным выбросам. Краткое изложение основных загрязняющих веществ, указанных в секторах, определенных в рамках стекольной промышленности, приведено в таблице В.1.

Таблица В.1. Основные загрязнители, скорее всего, будет рассматриваться для измерения в стекольной промышленности

Сектор/вид деятельности	Загрязнители
Тарное стекло	
Переработка материалов	Пыль, кристаллический кремнезем
Процесс стекловарения	Пыль, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, тяжелые металлы
Нанесение покрытия на входе в леер или обработка	Пыль, органическое и неорганическое олово, HCl, SO _x
Листовое стекло	
Переработка материалов	Пыль, кристаллический кремнезем
Процесс стекловарения	Пыль, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, тяжелые металлы (для свето-фильтров)
Поверхностное внесение	SO _x
Непрерывное стекловолокно	
Переработка материалов	Пыль, кристаллический кремнезем
Процесс стекловарения	Пыль, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, соединения бора
Деятельность в конечных звеньях производственно-сбытовой цепи	Пыль, VOC, формальдегид, аммиак, сточные воды
Сортовое стекло	
Переработка материалов	Пыль, кристаллический кремнезем, тяжелые металлы
Процесс стекловарения	Пыль, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, тяжелые металлы, соединения бора
Деятельность в конечных звеньях производственно-	HF, Pb, сточные воды (от полировки и шлифовки)

Сектор/вид деятельности	Загрязнители
сбытовой цепи	
Специальное стекло	
Переработка материалов	Пыль, кристаллический кремнезем, тяжелые металлы
Стекловарение	Пыль, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, тяжелые металлы, соединения бора
Деятельность в конечных звеньях производственно-сбытовой цепи	Пыль, Pb, сточные воды (от полировки и шлифовки)
Минеральная вата	
Переработка материалов	Пыль, кристаллический кремнезем
Процесс стекловарения	Пыль, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, соединения бора, H ₂ S
Деятельность в конечных звеньях производственно-сбытовой цепи	Пыль, VOC, фенолы, амины, аммиак, формальдегид, VOC, NO _x (тепловлажностная обработка), сточные воды
Фритта	
Переработка материалов	Пыль, кристаллический кремнезем, тяжелые металлы
Процесс стекловарения	Пыль, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, тяжелые металлы, соединения бора
Деятельность в конечных звеньях производственно-сбытовой цепи	Пыль, сточные воды

В.2. Мониторинг выбросов

Мониторинг выбросов повсеместно используется для обеспечения соблюдения допустимых норм выбросов. Режим и частота должны быть связаны в части выбросов, подлежащих проверке и используемой технологии управления. Ниже приведены наиболее часто применяемые методы:

- мониторинг работы очистной техники (например, мешочный фильтр, падение давления);

- непрерывный мониторинг загрязняющих веществ;
- прерывные измерения загрязняющих веществ;
- подсчёт запасов.

Мониторинг работы очистной техники

Как правило, это минимальное требование, предъявляемое для мониторинга выбросов. В некоторых случаях (например, для широко распространённой ситуации стабильных выбросов) оценка работы очистной техники может быть достаточной, чтобы определить соответствие требованиям разрешения. Во многих случаях применяются автоматические методы, способные обнаруживать неэффективную работу или неисправность очистного оборудования (например, измерение перепада давления, температуры, pH и т.д.).

Непрерывные и/или периодические измерения загрязняющих веществ

Мониторинг выбросов требует определения всех соответствующих параметров, способных повлиять на измерение различных загрязняющих веществ, или объяснение и отчетность о результатах. В дополнение к регулируемым веществам (пыль, NO_x, SO_x, CO, HCl, HF, и т.д.) необходимо определить характерные параметры источника выбросов, например:

- . скорость потока дымовых газов и массовый расход;
- . температура;
- . влажность;
- . концентрация кислорода;
- . концентрация диоксида углерода.

Измерение выбросов может зависеть от нескольких факторов, некоторые из которых особенно важно учитывать в случае процессов стекловарения стекла. В большинстве случаев основные параметры могут быть определены следующим образом:

- . температура отходящего газа;
- . распределение пыли;
- . скорость отходящего газа;
- . влажность отходящего газа;

- газообразное и пылевидное состояние загрязняющих веществ;
- время взятия замера;
- исходные условия.

Температура отходящего газа

Температура отходящего газа из печи может существенно изменяться (как правило, от 100 до 850 °С в стеке) в зависимости от системы рекуперации тепла (регенераторы, рекуператоры или газовые закалки) и применяемой очистной техники. Более высокие температуры, как правило, соответствуют печам рекуперативного типа и/или плавлению с использованием горения топлива в кислороде. Более низкие температуры характерны для сильно разбавленных отходящих газов (электропечи периодического действия, электростекловарение, некоторые печи с очистным оборудованием, и т.д.). Возможные ошибки измерения из-за температуры отходящих газов могут быть сведены к минимуму, как указано ниже.

Использование соответствующих фильтров и пробоотборников для измерения пыли (фильтры из кварца или стекловолокна без органических связующих, высокие температуры, прокладки и т.д.):

∞ Соответствующее кондиционирование фильтров перед использованием при высокой температуре. Предыдущая фаза кондиционирования при температурах до 400 – 600 °С рекомендуется для того, чтобы избежать дальнейших потерь в весе во время измерений.

∞ Использование нагретых пробоотборников и фильтров при низких температурах отходящих газов, особенно при высокой влажности, чтобы предотвратить конденсацию кислоты и воды.

Распределение пыли

Диаметр частиц пыли, образующейся в процессе стекловарения, как правило, очень мал (менее 1 мкм и, как правило, 0,02 - 0,5 мкм). При отборе проб частицы легко агломерируют и, когда используются щелочные фильтрующие материалы, обычно вступают в реакцию с кислотными газообразными веществами, присутствующими в дымовом газе. Для того чтобы не допустить такие явления, для отбора проб должны быть вы-

браны химически инертные фильтры. При непрерывном измерении твердых частиц, мелкие частицы могут трудно удаляться из оптических деталей измерительного оборудования, что приводит к ошибочным результатам концентрации пыли. Должна применяться соответствующая система очистки.

Скорость отходящего газа

Несмотря на то, что пыль, образуемая от процесса стекловарения стекла, состоит из чрезвычайно мелких частиц, измерения следует проводить с применением изокINETического метода. Для правильного измерения скорости отходящего газа необходимо выбрать геометрию канала и положение точки отбора проб.

Влажность отходящего газа

Присутствие высокого процента воды в отходящих газах происходит очень часто в случае стекловарения с использованием горения топлива в кислороде и отражательных/газовых печей, когда воду используют в качестве охлаждающей жидкости до очистного оборудования. Определение точки росы газа следует выполнять для того, чтобы избежать конденсации при отборе проб. Газообразные загрязнители следует измерять с помощью обогреваемых пробоотборников в любое время, когда есть риск конденсации, особенно для дымовых газов, богатых содержанием SO_3 . Это также относится к некоторым последующим процессам с применением мокрых скрубберов, например, для непрерывного стекловолокна, стеклянной фибры и др. При конденсации воды полученная жидкость подлежит проверке, чтобы определить возможное поглощение газообразных загрязняющих веществ, например, оксидов серы.

Газообразное и пылевидное состояние загрязняющих веществ

Некоторые загрязнители могут выделяться в атмосферу как в пылевидной, так и в газообразной форме. Это касается некоторых веществ, образующихся в процессе стекловарения, например, некоторые соединения бора (особенно, борная кислота), селен, мышьяк, ртуть (если используется стеклОбой от ламп освещения), а также и хлорид олова, образующийся от нанесения покрытия на входе в лер для тарного стекла. В этих случаях для того, чтобы избежать оцениваемых ошибок, тракт отбора проб должен быть

оснащен комбинированной системой для одновременного сбора как пылевидных, так и газообразных компонентов.

В случае производства боросиликатного стекла может возникнуть необходимость измерения выбросов бора в обеих формах, газообразной и пылевидной, чтобы определить эффективное удаление обоих видов с дымовых газов (см. раздел 4.4.1). В частности, в производстве боросиликатного стекла с низким содержанием щелочей, борная кислота, главным образом, выделяется в атмосферу в газообразной форме из-за своих паров высокого давления и низкой температуры конденсации (ниже 160 °C).

Особое измерений для общего объема выбросов бора позволяет различить бор, содержащийся в отходящих газах в пылевидном состоянии, и газообразные соединения бора, которые могут избежать техники очистки загрязнение воздуха (например, фильтр плюс система очистки газа), применяемой к стекловаренной печи.

Общее количество выбросов бора может измеряться путем отбора проб части дымовых газов через кварцевый пробоотборник, соединенный с системой поглощения, состоящей из импинжеров, наполненных водой. Затем пробоотборник, соединительные трубки и импинжеры тщательно промываются водой с целью извлечения возможного конденсированного вещества, содержащего бор. Абсорбирующий раствор от импинжеров и промывные воды тракта отбора проб могут быть затем проанализированы для определения бора.

Разница между общей концентрацией выбросов бора и бора, определенного в выбросах твердых частиц, измеренных с помощью стандартных методов (например, изокINETическая выборка на кварцевый мембранный фильтр) представляет газообразные соединения бора в точке измерения.

Измерение выбросов селена предполагает использование определенного метода отбора проб, который должен быть разработать, чтобы гарантировать, что поглощение пылевидных и газообразных форм присутствует в отходящих газах. Селен, используемый для окрашивания или обесцвечивания стекла, может привести к высокой норме выбросов газа в связи с образованием крайне летучих соединений при температуре конденсации не выше 60 – 100 °C.

Время взятия замера

В случае регенеративных печей, в дополнение к стандартным процедурам, которые требуют адекватного времени взятия замера для сбора репрезентативной выборки, рекомендуется принимать во внимание реверс цикла регенераторов. На самом деле, выбросы от процесса стекловарения могут существенно отличаться в зависимости от температурного цикла камер, который увеличивается во время цикла. Для того чтобы проводить измерения с сопоставимыми результатами, время взятия замера должно охватывать четное число циклов обжига. Это также может касаться циклов промывки на очистном оборудовании.

Исходные условия

Как правило, предельные значения выбросов приведены в концентрациях, относящихся к 0 °C, 101,3 кПа и другим конкретным условиям, например:

- непрерывные плавильные печи: 8 % кислорода по объему, сухой;
- электропечи периодического действия: 13 % кислорода по объему, сухой;
- другие источники выбросов: поправки для кислорода отсутствуют.

В целом, концентрация загрязняющих веществ используется для определения соответствия предельным значениям выбросов. Это обусловлено тем, что концентрация определяется непосредственным измерением и не требует дополнительной информации о производственном процессе, который, как правило, необходим для определения коэффициентов выбросов или удельных выбросов (например, кг выбросов на т расплавленного стекла). Тем не менее, предельные значения выбросов иногда предоставляются как в концентрации (мг/м^3), так и в коэффициенте выбросов (кг/т стекла , кг/ч , г/ч). Это особенно касается сильно разбавленных отходящих газов (например, электрические печи) и, в целом, при наличии высокого содержания кислорода (окисление с использованием горения топлива в кислороде, воздушно-топливное сгорание обогащенное кислородом). Поправка к 8 или 13 % кислорода даст результаты, которые не были бы сопоставимы с печами с использованием ископаемого топлива и воздуха вместо кислорода для процесса стекловарения. Это относится к стеклоцементной отрасли, где дымовые газы от окисления с использованием горения топлива в кислороде, воздушно-топливных печей, обогащенных кислородом, и избыточного воздуха объединяются в одиночный объект, что обуславливает высокие концентрации кислорода ($> 15 \%$). В этом случае использование

коэффициентов выбросов или ссылки на процент кислорода, что ближе к реальным условиям измерений (15 % O₂), будет более подходящим.

Непрерывный мониторинг

Применение практики непрерывного мониторинга как правила ограничено выбросами от плавильных печей, которые имеют наиболее значительный массовый расход топлива и относительно стабильный уровень выбросов. Непрерывный мониторинг выбросов может осуществляться при помощи измерительного оборудования, установленного на месте, так и методом отбора проб. В случае мониторинга на месте оборудование устанавливается в дымовой трубе печи и отслеживает температуру и влажность дымовых газов. Метод отбора проб базируется на предварительной обработке взятой пробы газообразных продуктов горения с последующим определением концентрации загрязнителей в сухом газе. Обе измерительные системы требуют тщательного обслуживания и периодической калибровки при помощи дискретных методов измерения. В частности, на измерения, осуществляемые на месте, может повлиять цвет и гранулометрический состав частиц, которые могут различаться в зависимости от вида производимого в печи стекла (зеленое, коричневое, полубелое) и типа сжигаемого топлива.

В Таблице В.2 ниже приведены параметры, доступные для непрерывного мониторинга, и рекомендованные методы их измерения.

Таблица В.2. Технологии непрерывного мониторинга

Параметр	Метод
Кислород	Парамагнитный метод, датчики двуокиси циркония
Пыль	Светонепроницаемость, светорассеяние
Оксид азота (NO)	Инфракрасная или УФ фотометрия, хемилюминесценция
Оксиды азота (NO + NO ₂)	Инфракрасная или УФ фотометрия, хемилюминесценция в сочетании с конвертером (NO ₂ в NO)
Сернистый ангидрид	Инфракрасная или УФ фотометрия
Угарный газ	Инфракрасная фотометрия
Общее количество углеводородов	Пламенно-ионизационный детектор (ПИД)

Мониторинг других загрязнителей, таких как HF и HCl, также можно осуществлять на непрерывной основе при помощи метода потенциометрии и ИК фотометрии соответственно либо потенциометрическим методом в целом. Однако подобные измерения являются относительно сложным процессом и требуют частой перекалибровки анализаторов. Непрерывный мониторинг подобных загрязнителей может оказаться уместным для отдельных технологических процессов стекольного производства, которые предполагают использование фтористых соединений в химическом составе шихты и приводят к выбросам даже после прохождения газом системы очистки.

Дискретные измерения

Индивидуальные измерения могут осуществляться путем отделения различных загрязнителей (как правило, пыль, оксиды серы, HCl, HF, металлы) при помощи соответствующих фильтрационных материалов, абсорбирующих растворов либо экстрагирующих измерительных приборов (ИК/УФ фотометрия для оксидов азота, SO₂ и т.д.). Число необходимых измерений, как правило, определяется на основании вариативности выбросов и продолжительности работы установки, которая подлежит контролю. В некоторых случаях работа установки занимает настолько ограниченный промежуток времени, что удастся выполнить только одно разовое измерение (к примеру, обработка сырья). Однако в большинстве случаев, когда приходится иметь дело с непрерывными технологическими процессами, характеризующимися стабильными объемами выбросов, требуется проводить как минимум три отдельных измерения, а в случае с изменчивыми выбросами – пять отдельных измерений. Также в особых случаях может потребоваться вплоть до 8 – 10 отдельных измерений.

В Таблице В.3 приведено общее описание наиболее распространенных методов, применяемых для дискретного мониторинга выбросов.

Таблица В.3. Технологии дискретного мониторинга

Загрязнитель/Параметр	Метод
Пыль	Фильтрация и гравиметрическое измерение
Оксиды азота (NO + NO ₂)	ИК или УФ фотометрия, хемилюминесценция. Абсорбция в

Загрязнитель/Параметр	Метод
	соответствующем растворе и химическое измерение (колориметрический анализ, ионообменная хроматография и т.д.)
Сернистый ангидрид (SO_2)	ИК или УФ фотометрия
Оксиды серы ($\text{SO}_2 + \text{SO}_3$)	Абсорбция в соответствующем растворе и химическое измерение (титриметрический анализ, ионообменная хроматография, ИСП)
Двуокись серы (SO_3)	Абсорбция в соответствующем растворе и химическое измерение (титриметрический анализ, ионообменная хроматография)
Металлы (As, Pb, Cd, Se, Cr, Cu, V, Mn, Ni, Co, Sb и т.д.)	Фильтрация и/или абсорбция в соответствующем растворе. Измерение посредством ААС, ИСП
Селен, представленный Se (твердые частицы + газ)	Абсорбция в соответствующем растворе и химическое измерение (к примеру, ААСГГ, ИСП и т.д.)
Соединения бора (твердые частицы + газ)	Абсорбция в воде и химическое измерение (ИСП, титриметрический анализ, колориметрический анализ)
Хлориды, представленные HCl	Фильтрация и абсорбция в соответствующем растворе. Измерение посредством ионообменной хроматографии, титриметрического анализа
Фториды, представленные HF	Фильтрация и абсорбция в соответствующем растворе. Измерение посредством ионоизбирательного электрода, ионообменной хроматографии
Сероводород	Фильтрация и абсорбция в соответствующем растворе. Ионообменная хроматография, колориметрический анализ, обратное титрование
Формальдегид	Абсорбция в соответствующем растворе. Измерение посредством колориметрического анализа либо ААСГГ
Фенол	Абсорбция в соответствующем растворе. Газовая (жидкостная) хроматография или колориметрический анализ

Загрязнитель/Параметр	Метод
Аммиак	Абсорбция в соответствующем растворе. Ионообменная хроматография, колориметрический анализ либо ионоизбирательный электрод
Амиды	Абсорбция в соответствующем растворе или силикатном геле. Измерение посредством ГХ, ВЭЖХ или ГХ-МС
Летучие органические соединения	Пламенно-ионизационный детектор (ПИД)
Кислород	Парамагнитный метод, датчики двуокиси циркония
Угарный газ	ИК фотометрия
Углекислый газ	ИК фотометрия
Примечание: Методы, перечисленные в настоящей Таблице, приведены здесь только для примера. Данная Таблица не является исчерпывающим перечнем всех измерительных технологий, которые могут применяться для определения содержания различных загрязнителей в отходах стекольной промышленности.	

В целом, для измерения большинства параметров, актуальных для контроля выбросов, доступны различные методики, прошедшие аттестацию в соответствии с национальными и международными стандартами (ISO, CEN, VDI, EPA, ГОСТ, ГОСТ Р и т.д.). Однако подобных стандартизованных методик не существует для целого ряда веществ, которые могут содержаться в дымовом газе. Сюда относится большинство органических соединений (фенол, формальдегид, амиды и т.д.), а также многие неорганические вещества, которые могут выбрасываться в атмосферу как в твердой, так и в газообразной форме (к примеру, соединения бора). Как уже было сказано выше, в соответствии с общепринятой практикой мониторинга, для того чтобы количественно и качественно определить различные фракции дымового газа, необходимо осуществлять смешанный забор образцов (фильтрация и абсорбция).

Расчет массового баланса

В некоторых случаях расчет массового баланса может оказаться эффективным методом оценки технологических выбросов для ряда отдельных загрязнителей. Расчет

массового баланса может использоваться в качестве количественного метода оценки выбросов, когда вход и выход конкретного вещества, а также достоверные сведения по любым химическим и/или физическим изменениям, которые оно терпит, известны для конкретного этапа производства (к примеру, этап стекловарения) с достаточно высокой точностью. К примеру, данный метод может применяться для оценки количества SO_2 , возникающего в результате стекловарения, HF в производстве матового стекла или селена в производстве бронзового стекла или флинтгласа (см. Приложение В для серного баланса). В целом, расчет массового баланса, как правило, используется для сравнения уже измеренным уровнем выбросов.

Интерпретация и составление отчетности о результатах измерений

Для того чтобы выработать разумный и приемлемый стандарт интерпретации результатов измерения выбросов и составления соответствующей отчетности, крайне важно, как минимум, оговорить следующие аспекты:

- Применяемый метод мониторинга;
- Точность применяемого метода;
- Фактические рабочие условия (технологические данные);
- Стандартные условия (температура и влажность в точке измерения и т.д.);
- Результаты всех индивидуальных измерений или, в случае непрерывного мониторинга, частотное распределение средней получасовой, часовой и дневной концентрации.

Необходимо подчеркнуть, что каждый метод, применяемый для мониторинга твердых и газообразных выбросов, имеет различный предел чувствительности, и неопределенность измерения разнится в зависимости от измеряемого диапазона концентрации.

В практике измерения выбросов понятие погрешности означает интервал, примерно равный результату измерения, в отношении которого можно уверенно заявить, что фактическое количество вещества находится в его пределах. В данном контексте, вместо суммарной стандартной неопределенности, как правило, учитывается относительная расширенная неопределенность.

В значительном числе случаев стандартные методы, применяемые для измерения выбросов в атмосферу, имеют неопределенность примерно того же порядка величины, что и измеряемая концентрация.

В иных случаях измеряемая концентрация приближается к пределу чувствительности применяемой измерительной методики.

Все эти аспекты необходимо тщательно учитывать при интерпретации результатов измерения.

Для стандартных методов имеются готовые пределы чувствительности и значения неопределенности, рассчитанные для конкретного диапазона концентрации; однако в большинстве случаев подобные значения необходимо самостоятельно рассчитывать/определять в рамках лаборатории, которая применяет измерительную методику, на базе химического состава конкретного образца и используемого измерительного оборудования.

Для примера, значения неопределенности и предела чувствительности, полученные в двух специализированных лабораториях, аккредитованных в соответствии с международным стандартом ISO/IEC 17025, приведены в Таблице В.4 и Таблице В.5. Таблица В.4 содержит значения порога чувствительности, рассчитанные для измерений, которые в основном проводились на неочищенных дымовых газах.

Таблица В.4: Примеры значений порога чувствительности, рассчитанных для измерения выбросов стекловаренных печей

Параметр	Значение порога чувствительности (¹)	
Пыль	4.8 (²)	мг/нм ³
Оксиды азота (NO _x)	2–4	ч/млн
Оксиды серы (SO ₂)	0.16	мг/нм ³
Угарный газ (CO)	2–4	ч/млн
Хлориды (представленные HCL)	1	мг/нм ³
Фториды (представленные HF)	0.05	мг/нм ³
Летучие органические соединения (представленные C)	0.2 (диапазон 0-20)	мг/нм ³

Параметр	Значение порога чувствительности (¹)	
Pb	0.032	мг/нм ³
Cr	0.011	мг/нм ³
Cu	0.010	мг/нм ³
Ni	0.032	мг/нм ³
As	0.002	мг/нм ³
Cd	0.003	мг/нм ³
Hg	0.001	мг/нм ³
(¹) Данные цифры являются типичными значениями, наблюдаемыми для измерений твердых и газообразных выбросов стеклоплавильных печей. (²) Значение предела чувствительности относится к измерению содержания пыли в неочищенном дымовом газе.		

В Таблице В.5 приведены значения предела чувствительности и расширенной неопределенности, рассчитанные для вышеуказанных методов, применяемых сертифицированными лабораториями для измерений, которые в основном проводились на неочищенных дымовых газах.

Таблица В.5. Примеры значений порога чувствительности и расширенной неопределенности, рассчитанных для измерения выбросов в секторе стекольной промышленности

Параметр	Метод	Предел чувствительности	Доверительный интервал
HF	ISO 15713:2006 Потенциометрия	0.1 мг/нм ³	Приблизительно 1 мг/нм ³
HCl	UNI EN 1911-1/2/3:1998 Титрование с AgNO ₃	0.1 мг/нм ³	Приблизительно 1 мг/нм ³
SO _x	UNI EN 14791: 2005 Ионообменная хроматография, титрование	1 мг/нм ³	0.126 C* + 8.5 мг/нм ³

Параметр	Метод	Предел чувствительности	Доверительный интервал
NO _x	UNI EN 10878:2000 NDIR, NDU Хемилюминесценция	1 мг/нм ³	4 % измеренной величины
NO _x	UNI EN 14792 Хемилюминесценция	1 мг/нм ³	0.041 C*+ 2.8 мг/нм ³
Пыль	UNI EN 13284-1:2001 Гравиметрический анализ	0.3 мг/нм ³ для сухих газов 2 мг/нм ³ для газов, насыщенных водяными парами	4 мг/нм ³
O ₂	EN 14789:2006 Парамагнитный метод	0.2 % верхнего предела измерений (0.05 % O ₂)	0.041 C**+ 0.1 % O ₂ объем
- C* = Концентрация, измеренная в мг/нм ³ . - C** = Концентрация, измеренная в % O ₂ .			

Заключение

Данное приложение не ставит себе за цель предложить какую-либо стандартную методику для мониторинга выбросов в стекольной промышленности. В соответствующих случаях, как правило, доступны уже установленные методы, которые необходимо оценивать в контексте каждого применения. Задачей настоящего приложения является предоставить общую информацию по данной теме и указать на потенциальные причины ложной оценки уровня выбросов, которую можно получить даже при использовании наилучших доступных технологий.

Приложение Г: Расчет переводных коэффициентов для получения выброса массы из концентрации выброса

Подход, применяемый в Справочнике по наилучшим доступным технологиям в сфере стекольного производства и в документе «Уровни выбросов, относящиеся к наилучшим доступным технологиям» (BAT-AELs) для количественного выражения объема выбросов в результате процесса стекловарения использует как понятие concentra-

ции выброса (мг/нм^3), так и понятие удельного выброса массы (кг/т плавленного стекла), которые также упоминаются как «коэффициенты выброса».

Выражение объема выбросов в формате удельного выброса массы, которые используется в BAT-AELs, рассматривалось как критически важный фактор для охвата всех потенциальных типов стеклоплавильных печей, применяемых в стекольной промышленности (кислородно-топливные, обогащенные кислородом и воздушно-топливные).

Процедура расчета для перевода концентрации в коэффициент выброса уже приведена в Главе 5 настоящего документа («Общие положения») и основана на объеме дымового газа ($\text{нм}^3/\text{час}$) и удельном съеме стекломассы печи (т плавленного стекла в час).

Объем дымового газа, в основном зависит от энергопотребления печи, типа топлива и окислителя (воздух, обогащенный кислородом воздух или чистый кислород, что, как правило, определяется видом производственного процесса).

Энергопотребление является сложной функцией (в подавляющем большинстве случаев) типа печи типа стекла и процента стеклобоя.

Однако на отношение концентрации и удельного выброса массы влияет также и ряд определенных факторов, включая:

- Тип печи (температура предварительного нагрева воздуха, технология стекловарения);
- Тип производимого стекла (затраты энергии при плавлении);
- Структура энергопотребления (углеводородное топливо/доп. электрообогрев);
- Тип углеводородного топлива (нефть, газ);
- Тип окислителя (кислород, воздух, обогащенный кислородом воздух);
- Процент стеклобоя;
- Состав шихты;
- Возраст печи;
- Размер печи;

Выброс массы (кг/т стекла) = коэффициент перевода $\times$ концентрация выброса (мг/нм^3)

Где: Коэффициент перевода = $(Q/P) \times 10^{-6}$

Q = объем дымового газа в мг/нм^3

P = удельный съем стекломассы в тоннах стекла/час

В данном контексте переводные коэффициенты для различных секторов стекольной промышленности были оценены на основании данных по удельному энергопотреблению для воздушно-топливных печей.

Для простоты, при расчете не учитывается объем дымного газа, генерируемый за счет разложения минералов в процессе стекловарения (к примеру, CO_2 , SO_2).

На основании удельного энергопотребления можно рассчитать теоретический стехиометрический объем дымового газа, генерируемый конкретной печью, и определить коэффициент корреляции, как показано примерах ниже, приведенных для предприятий сектора тарного стекла. Данные, использованные при расчете, основаны на значениях удельного энергопотребления из Таблицы 3.6.

Пример 1 – Тарное стекло

Тип печи: регенеративная печь с подковообразным пламенем;

Мощность печи: 250 т/сутки, что равняется 10.42 т/час (**P**);

Топливо: природный газ с низшей теплотворностью, равной 8500 ккал/нм³ (**NCV**);

Удельное энергопотребление (печи): 4.8 ГДж/т плавленного стекла (**SEC**);

Коэффициент перевода ГДж в ккал: 238.85×10^3 (**K**);

Стехиометрический объем дымового газа (влажного, при 0 % кислорода) на 1 нм³ природного газа: 10.6 нм³ (**SWG**);

Коэффициент перевода = $[(\text{SEC} \times P \times K)/\text{NCV} \times \text{SWG}]/P =$
 $[(4.8 \text{ ГДж/тонна} \times 10.42 \text{ тонн/час} \times 238.85 \times 10^3)/8500 \text{ ккал/нм}^3 \times 10.6 \text{ нм}^3/\text{час}]/10.42$
 тонн/час = 1.43×10^3

Пример 2 – Тарное стекло

Тип печи: рекуперативная печь;

Мощность печи: 250 т/сутки, что равняется 10.42 т/час (**P**);

Топливо: природный газ с низшей теплотворностью, равной 8500 ккал/нм³ (**NCV**);

Удельное энергопотребление (печи): 5.8 ГДж/т плавленного стекла (**SEC**);

Коэффициент перевода ГДж в ккал: 238.85×10^3 (**K**);

Стехиометрический объем дымового газа (влажного, при 0 % кислорода) на 1 нм^3 природного газа: 10.6 нм^3 (**SWG**);

$$\begin{aligned} \text{Коэффициент перевода} &= [(SEC \times P \times K)/NCV \times SWG]/P = \\ &[(5.8 \text{ ГДж/тонна} \times 10.42 \text{ тонн/час} \times 238.85 \times 10^3)/8500 \text{ ккал/нм}^3 \times 10.6 \text{ нм}^3/\text{час}]/10.42 \\ \text{тонн/час} &= 1.73 \times 10^3 \end{aligned}$$

Пример 3 – Тарное стекло

Тип печи: регенеративная печь с подковообразным пламенем;

Мощность печи: 400 т/сутки, что равняется 16.67 т/час (**P**);

Топливо: природный газ с низшей теплотворностью, равной 8500 ккал/ нм^3 (**NCV**);

Удельное энергопотребление (печи): 4.3 ГДж/т плавленного стекла (**SEC**);

Коэффициент перевода ГДж в ккал: 238.85×10^3 (**K**);

Стехиометрический объем дымового газа (влажного, при 0 % кислорода) на 1 нм^3 природного газа: 10.6 нм^3 (**SWG**);

$$\begin{aligned} \text{Коэффициент перевода} &= [(SEC \times P \times K)/NCV \times SWG]/P = \\ &[(4.3 \text{ ГДж/тонна} \times 16.67 \text{ тонн/час} \times 238.85 \times 10^3)/8500 \text{ ккал/нм}^3 \times 10.6 \text{ нм}^3/\text{час}]/16.67 \\ \text{тонн/час} &= 1.28 \times 10^3 \end{aligned}$$

Пример 4 – Тарное стекло

Тип печи: регенеративная печь с подковообразным пламенем;

Мощность печи: 100 т/сутки, что равняется 4.17 т/час (**P**);

Топливо: природный газ с низшей теплотворностью, равной 8500 ккал/ нм^3 (**NCV**);

Удельное энергопотребление (печи): 6.9 ГДж/т плавленного стекла (**SEC**);

Коэффициент перевода ГДж в ккал: 238.85×10^3 (**K**);

Стехиометрический объем дымового газа (влажного, при 0 % кислорода) на 1 нм^3 природного газа: 10.6 нм^3 (**SWG**);

$$\begin{aligned} \text{Коэффициент перевода} &= [(SEC \times P \times K)/NCV \times SWG]/P = \\ &[(6.9 \text{ ГДж/тонна} \times 4.17 \text{ тонн/час} \times 238.85 \times 10^3)/8500 \text{ ккал/нм}^3 \times 10.6 \text{ нм}^3/\text{час}]/4.17 \text{ т/ч} \\ &= 2.06 \times 10^3 \end{aligned}$$

Средне значение рассчитанных выше переводных коэффициентов составляет 1.63×10^{-3}

Приложение Д. Сокращения и определения

Использованные в тексте данного справочника сокращения с их расшифровками приведены в таблице Д1.

Таблица Д1. Сокращения и определения

Сокращение	Определение
ac.pol.	Кислотное полирование
AES	Силикат щёлочно-земельного металла
ACGIH	Американская конференция специалистов в области промышленной гигиены
APC	Система контроля загрязнения воздуха
ASW	Глиноземно-силикатная вата
AZS	Алюминий-цирконий-силикат
BAS	Подготовка воздуха для выдувания
BAT	Наилучшая доступная технология
BOD	Биологическое потребление кислорода
COD	Химическое потребление кислорода
CPIV	Постоянный комитет стекольной промышленности
CRF	Химическое восстановление топлива
CRT	Катодно-лучевая трубка
CVD	Химическое парофазное осаждение
ЕС	Европейская комиссия
ESP	Электростатический фильтр
ETS	Схема торговли квотами на выброс
EU	Европейский Союз
EURIMA	Европейская ассоциация производителей изоляционных материалов

Сокращение	Определение
FLOX	Беспламенное окисление
GRP	Армированный стеклом пластик
HT	Высокое натяжение
IBC	Крупнообъемный контейнер
I-TEQ	Международный эквивалент токсичности
IPPC	Интегрированная система предотвращения и контроля загрязнения
IS	Индивидуальная секция
LCD	Жидкокристаллический дисплей
MAK	Максимальная концентрация рабочих мест
NEPSI	Европейская силикатная сеть
OEAS	Подготовка обогащенного кислородом воздуха
OEL	Предел производственного воздействия
OSHA	Управление гигиены труда и безопасности на рабочем месте
PCW	Поликристаллическая вата
PET	Полиэтилентерефталат
PSA	Поглощение скачков давления
RCF	Огнеупорное керамическое волокно
SCR	Избирательное каталитическое восстановление
SNCR	Избирательное некаталитическое восстановление
т/с	Тонн в сутки
VOC	Летучие органические соединения
VSA/VPSA	Поглощения скачков отрицательного давления
WESP	Влажный электростатический осадитель