ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС 5 — 2015

ПРОИЗВОДСТВО СТЕКЛА

Москва
Бюро НДТ
2015

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Введение VI
Предисловие IX
Область применения 1
Раздел 1. Общая информация о стекольной отрасли промышленности 2
1.1 Структура промышленности 2
1.2 Сырьевые материалы и энергопотребление 4
1.3 Основные производители 4
1.3.1 Листовое стекло 4
1.3.2 Тарное стекло 6
1.3.3 Сортовое стекло 7
1.3.4 Непрерывное стекловолокно 8
1.3.5 Силикат натрия растворимый (специальное стекло) 9
1.4 Экологические аспекты производства стекла и воздействие предприятий отрасли на окружающую среду 9
Раздел 2. Основные технологические процессы, применяемые в настоящее время при произвосдстве стекла в Российской Федерации 11
2.1 Технологические процессы и способы производства изделий из стекла 11
2.1.1 Сырьевые материалы и подготовка шихты 11
2.1.2 Процесс варки стекла 14
2.1.3 Стекловаренные печи 17
2.2 Технологические процессы производства листового стекла 23
2.3 Технологические процессы производства стеклянной тары 24
2.4 Технологические процессы производства сортового стекла 27
2.5 Технологические процессы производства стекловолокна 29
2.5.1 Приготовление шихты 32
2.5.2 Транспортировка и загрузка шихты в ванную печь 32
2.5.3 Варка стекла 33
2.5.4 Приготовление замасливателя, перекачка и система подачи замасливателя 35
2.5.5 Оборудование прядильной ячейки 36
2.5.6 Выработки однопроцессного стеклоровинга 36
2.5.7 Выработка рубленых стеклонитей 37

2.6 Технологические процессы производства силиката натрия растворимого (специального стекла) 38
Раздел 3. Текущие уровни эмиссии в окружающую среду и потребления ресурсов в производстве стекла 39
3.1 Потребление энергии и основные факторы воздействия на окружающую среду 39
3.1.1 Потребление энергии 39
3.1.2 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу 39
3.2 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве листового стекла 42
3.2.1 Входные потоки (сырьё и энергия) 42
Сырьевые материалы 42
Использование энергии 43
3.2.2 Выбросы в атмосферный воздух 44
Обращение с сырьём 44
Стекловарение 44
Формование, отжиг и охлаждение 45
3.2.3 Сточные воды 45
3.2.4 Отходы производства 46
3.3 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве тарного стекла 46
3.3.1 Входные потоки (сырьё и энергия) 46
Сырьевые материалы 46
Использование энергии 47
3.3.2 Выбросы в атмосферный воздух 48
Обращение с сырьём 48
Стекловарение 48
Формование, отжиг и нанесение упрочняющего и защитного покрытия 49
3.3.3 Производственные сточные воды 49
3.3.4 Отходы производства 50
3.4 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве сортового стекла 50
3.4.1 Входные потоки (сырьё и энергия) 50
Сырьевые материалы 50

Энергия 50
3.4.2 Выбросы в атмосферный воздух 51
3.4.3 Производственные сточные воды 53
3.4.4 Производственные отходы 53
3.5 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве стекловолокна 54
3.5.1 Входные потоки (сырьё и энергия) 54
3.5.2 Факторы воздействия на окружающую среду 54
3.6 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве растворимого силиката натрия (специального стекла) 56
3.6.1 Входные потоки (сырьё и энергия) 57
3.6.2 Выбросы в атмосферный воздух 58
3.6.3 Производственные сточные воды 59
3.6.4 Отходы производства 60
Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий производства стекла 60
Раздел 5. Наилучшие доступные технологии производства стекла 64
5.1.1 Системы экологического менеджмента 64
НДТ 1. Системы экологического менеджмента 64
5.1.2 Автоматическое регулирование параметров стекловарения 67
НДТ 2. Автоматическое регулирование параметров стекловарения 67
5.1.3 Рекуперация тепла отходящих газов 67
НДТ 3. Рекуперация тепла отходящих газов процесса стекловарения 67
5.1.4 Использование стеклобоя 68
НДТ 4. Использование стеклобоя 68
5.1.5 Применение рукавных фильтров на линиях подготовки сырья 68
НДТ 5. Применение рукавных фильтров на линиях подготовки сырья 68
5.2 Наилучшие доступные технологии производства листового стекла 68
НДТ 6. Флоат-процесс 68
5.3 Наилучшие доступные технологии производства стеклянной тары 69
НДТ 7. Оптимизация режимов горения в соответствии с долей стеклобоя в шихте (до 50 %) 69

НДТ 8. Применение секционных стеклоформующих машин (способы Blow-Blow, NNPB) ... 69
5.4 Наилучшие доступные технологии производства сортового стекла ... 69
5.5 Наилучшие доступные технологии производства стекловолокна ... 70
5.6 Наилучшие доступные технологии производства растворимого силиката натрия ... 70
НДТ 9. Формование растворимого силиката натрия ... 70
Раздел 6. Экономические аспекты применения наилучших доступных технологий ... 71
Раздел 7. Перспективные технологии производства стекла ... 72
7.1 Системы энергетического менеджмента ... 72
7.2 Перспективные технологические и технические решения, общие для производства всех видов стекла ... 73
Заключительные положения и рекомендации ... 74
Приложение А (обязательное) Номенклатура продукции, включенной в область применения ИТС ... 76
Приложение Б (обязательное) Перечень маркерных веществ ... 79
Приложение В (обязательное) Перечень технологических показателей ... 80
Листовое стекло ... 80
Тарное стекло ... 80
Сортовое стекло ... 80
Непрерывное стекловолокно ... 80
Силикат натрия растворимый ... 81
Приложение Г (обязательное) Перечень НДТ ... 82
Приложение Д (обязательное) Энергоэффективность ... 83
Библиография ... 86

Введение

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство стекла» (далее — справочник НДТ) представляет собой документ по стандартизации, разработанный в результате анализа технологических, технических и управленческих решений, применяемых для обеспечения высокой ресурсоэффективности и экологической результативности производства стекла.

Структура настоящего справочника НДТ соответствует ПНСТ 21—2014 [8], формат описания технологий — ПНСТ 23—2014 [10], термины приведены в соответствии с ПНСТ 22—2014 [9].

Краткое содержание справочника

Введение. Во введении представлено краткое содержание справочника НДТ.

Предисловие. В предисловии указана цель разработки справочника НДТ, его статус, законодательный контекст, краткое описание процедуры создания в соответствии с установленным порядком, а также взаимосвязь с аналогичными международными документами.

Область применения. В разделе описаны основные виды деятельности, на которые распространяется действие справочника НДТ.

Раздел 1. В разделе 1 представлена информация о состоянии и уровне развития в Российской Федерации производства следующих видов изделий из стекла:

- листового стекла;
- тарного стекла;
- сортового стекла;
- стекловолокна;
- силиката натрия растворимого.

Также в разделе 1 дан краткий обзор экологических аспектов производства стекла и воздействия предприятий отрасли на окружающую среду.

Раздел 2. В разделе 2 представлены сведения о технологических процессах, являющихся общими для всех подотраслей производства стекла, а также информация об особенностях технологических процессов, получивших распространение в производстве:

- листового стекла;
- тарного стекла;
- сортового стекла;

- стекловолокна;

- силиката натрия растворимого.

Раздел 3. В разделе 3 дана оценка потребления природных ресурсов и уровней эмиссии в окружающую среду, характерных для производства стекла в целом.

Качественные характеристики и численные данные отражают результаты обобщения доступных сведений, предоставленных отечественными стекольными предприятиями и профильными научно-исследовательскими и проектными организациями. Составители справочника также приняли во внимание сведения об уровнях потребления ресурсов и эмиссии в окружающую среду, систематизированные в справочнике Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Производство стекла» (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass, 2013) [11].

Раздел 4. В разделе 4 описаны особенности подходов, применённых при разработке справочника НДТ и в целом соответствующих Правилам определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии (НДТ), а также разработки, актуализации и опубликования справочников НДТ (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458) [3], Методическим рекомендациям по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии (утверждены приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665) [5] и Постановлению Правительства РФ от 28 сентября 2015 г. № 1029 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III, IV категорий» [6].

Раздел 5. В разделе 5 кратко описаны НДТ производства стекла, включая:

- системы экологического менеджмента;

- технологические решения, направленные на повышение экологической результативности и энергоэффективности производства всех видов изделий из стекла;

- решения, характерные для конкретных подотраслей производства изделий из стекла.

Раздел 6. В разделе 6 приведены доступные сведения об экономических характеристиках современных проектов создания предприятий по производству стекла в Российской Федерации.

Раздел 7. В разделе 7 приведены краткие сведения о новых управленческих, технологических и технических решениях, направленных на повышение ресурсоэффективности и экологической результативности производства стекла, которые находятся в стадии разработки или имеют ограниченное применение.

Заключительные положения и рекомендации. В разделе приведены сведения о членах технической рабочей группы, принимавших участие в разработке справочника НДТ. Представлена позиция разработчиков справочника НДТ в отношении сбора информации для актуализации и внесения изменений в справочник НДТ «Производство стекла».

Библиография. В библиографии приведён перечень источников информации, использованных при разработке справочника НДТ.

Предисловие

Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» [1] направлен на совершенствование системы нормирования в области охраны окружающей среды. Данный закон вводит в российское правовое поле меры экономического стимулирования хозяйствующих субъектов для внедрения наилучших доступных технологий, однако в нем не определена юридическая форма справочников НДТ.

Федеральный закон от 29 июня 2015 г. № 162–ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» [2] содержит положения, определяющие статус информационно-технических справочников как документов национальной системы стандартизации.

Цели, основные принципы и порядок разработки справочника установлены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 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» [3].

1 Статус документа

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

2 Информация о разработчиках

Справочник НДТ разработан технической рабочей группой № 5 «Производство стекла» (ТРГ 5), состав которой был утвержден приказом Росстандарта от от 17 июля 2015 г. № 830 «О технической рабочей группе «Производство стекла» (ред. от 18.11.2015 г.)

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

Справочник НДТ представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (Бюро НДТ) (gost.e-ecolog.ru

3 Краткая характеристика

Справочник НДТ содержит описание применяемых при производстве стекла технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, водопотребление, повысить энергоэффективность, обеспечить ресурсосбережение. Из описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов (в том чис-

ле управления) определены решения, являющиеся НДТ. Для них в справочнике НДТ установлены соответствующие технологические показатели НДТ.

4 Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Справочник НДТ разработан в результате проведения экспертных оценок и консультаций со специалистами ведущих отечественных предприятий, научно-исследовательских, проектных и образовательных организаций. Составители справочника приняли также во внимание материалы справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Производство стекла» (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass, 2013).

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 справочника НДТ и анализа приоритетных проблем отрасли, утверждённым приказом Росстандарта от 23 июля 2015 г. № 863.

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р [4], приведена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник НДТ утверждён приказом Росстандарта от 15 декабря 2015 г. № 1575.

Справочник НДТ введён в действие с 1 июля 2016 г., официально опубликован в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.e-ecolog.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ПРОИЗВОДСТВО СТЕКЛА

Manufacture of glass

Дата введения — 2016-07-01

Область применения

Производство стекла в целом отнесено в Российской Федерации к областям применения наилучших доступных технологий [7]. При этом, согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2015 г. № 1029 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III, IV категорий» [6], к объектам I категории отнесены предприятия, которые производят стекло и изделия из стекла, включая стекловолокно (с проектной производительностью 20 тонн в сутки и более).

Настоящий справочник НДТ распространяется на следующие основные виды деятельности:

- производство листового стекла;
- производство тарного стекла;
- производство сортового стекла;
- производство стекловолокна*;
- производство силиката натрия растворимого.

В приложении А приведены соответствующие области применения коды ОКВЭД и ОКПД.

Справочник НДТ распространяется на процессы, связанные с основными видами деятельности, которые могут оказать влияние на ресурсоэффективность, характер и масштаб воздействия на окружающую среду:

- хранение и подготовка сырья;
- производственные процессы;
- методы предотвращения и сокращения эмиссии и образования отходов.

* Производство стекловолокна следует рассматривать как химическое производство искусственных и синтетических волокон, однако, в соответствии с [6,7] поименовано в перечне областей применения НДТ и объектов I категории в группе, связанной с производством стекла.

Справочник НДТ не распространяется на:

- некоторые процессы производства, такие как добыча сырья в карьере;

- вопросы, касающиеся исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Дополнительные виды деятельности при производстве стекла и соответствующие им справочники НДТ (по распоряжению Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р) [4] приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Дополнительные виды деятельности при производстве стекла и соответствующие им справочники НДТ

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Очистка отходящих газов	Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях
Очистка сточных вод	Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях
Складирование и хранение сырья, продукции и твёрдого топлива	Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)
Сокращение энергопотребления	Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности

Раздел 1. Общая информация о стекольной отрасли промышленности

1.1 Структура промышленности

Настоящий справочник НДТ имеет достаточно обширную область применения, которая включает в себя ряд самостоятельных подотраслей стекольной промышленности; основные подотрасли приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Подотрасли производства стекла

Подотрасль	Производимая продукция
Листовое стекло	Листовое флоат-стекло для строительства, автомобилестроения и проч.
Тарное стекло	Стеклянные бутылки, банки, флаконы, аптечная тара
Сортовое стекло	Столовая посуда, ёмкости для вина и напитков, художественно-декоративные изделия
Стекловолокно*	Непрерывное стекловолокно
Специальное стекло	Техническое (светотехническое, оптическое, кварцевое), медицинское, термометрическое, химико-лабораторное, растворимое натрий-калий-силикатное стекло

Каждая подотрасль специфична, каждая характеризуется своими особенностями как с точки зрения производства, так и с позиций воздействия на окружающую среду. Однако основу при изготовлении различных видов продукции составляет высокотемпературная варка стекольной шихты до получения осветлённой и однородной стекломассы, выработки и отжига стеклоизделий, что обуславливает схожесть сырья, выбросов и многих приоритетных проблем.

Общий объём производства стекольной промышленности в Российской Федерации оценивается приблизительно около 13 млн т в год. Показательная разбивка по секторам предоставлена в таблице 1.2, подготовленной на основе данных АО «Институт стекла».

Таблица 1.2 — Ориентировочная разбивка производства стекольной промышленности в зависимости от секторов

Подотрасль	Производство России	
	Процент от общего объёма производства стекла	Миллионы тонн в год
Листовое стекло	25,2	3,2
Тарное стекло	52,8	6,7

* Производство стекловолокна следует рассматривать как химическое производство искусственных и синтетических волокон, однако, в официальных документах [6,7] производство стекловолокна поименовано в перечне областей применения НДТ и объектов I категории в группе, связанной с производством стекла.

Подотрасль	Производство России	
	Процент от общего объёма производства стекла	Миллионы тонн в год
Сортовое стекло	3,9	0,5
Непрерывное стекловолокно*	2,4	0,3
Специальное стекло	3,1	0,4
Другое	12,6	1,6

1.2 Сырьевые материалы и энергопотребление

В основном сырьевыми материалами для стекольного производства являются общедоступные природные полезные ископаемые или продукты химической промышленности (песок, доломит, известь, глинозём, сода и т. д.). Перечень сырьевых материалов приведён в разделе 2.1.

В большинстве подотраслей стекольной промышленности используются большие печи непрерывного действия, обычные сроки эксплуатации которых составляют 5—12 лет, а в некоторых случаях — до 20 лет. Энергопотребление печи растёт по мере увеличения срока её эксплуатации. Теоретический минимум удельного потребления энергии на стекловарение составляет 2,74 ГДж/т; реально достигнутые минимальные значения этого показателя близки к 5 ГДж/т сваренной стекломассы в начале кампании печи [11].

1.3 Основные производители

1.3.1 Листовое стекло

Производство листового стекла является вторым по величине сектором в стекольной промышленности Российской Федерации, который составляет приблизительно 25 % от общего объёма производства стекольной продукции. В настоящее время в Российской Федерации производится только один вид листового стекла — флоат-стекло, которое используется для изготовления изделий строительного, технического и

* Производство стекловолокна следует рассматривать как химическое производство искусственных и синтетических волокон, однако, в официальных документах [6,7] производство стекловолокна поименовано в перечне областей применения НДТ и объектов I категории в группе, связанной с производством стекла.

мебельного назначения. В прошлые годы в стране функционировали предприятия, выпускавшие листовое стекло методом вертикального вытягивания, прокатное стекло (в том числе армированное). В процессе обмена информацией при подготовке настоящего справочника не участвовали предприятия, производящие листовое стекло иными методами, кроме флоат-процесса; сведения о деятельности таких предприятий в настоящее время недоступны. Не исключено, что при поступлении информации о функционировании таких предприятий и о готовности их предоставить сведения о своей ресурсоэффективности и экологической результативности потребуется актуализация настоящего справочника.

В год сектор производит приблизительно 2,7 млн т стекла на 12 флоат-линиях компаний, работающих в Российской Федерации.

Изготовление листового стекла в Российской Федерации представлено как ведущими международными (Asahi Glass, NSG, Guardian Industries, Sisecam, Saint-Gobain), так и такими известными российскими компаниями, как АО «Салаватстекло», АО «СаратовСтройСтекло», АО «Каспийскиский завод листового стекла».

Основные производственные мощности расположены в центральной и южной частях Российской Федерации, а также в Республиках Башкортостан, Дагестан и Татарстан (см. таблицу 1.3.1).

Таблица 1.3.1 — Размещение заводов по производству флоат-стекла в Российской Федерации (по состоянию на 1 августа 2015 г.)

Регион	Компания	Пуск	Кол-во флоат-линий	Мощность, тонн/сутки
Московская область	ООО «Эй Джи Си Флэт Гласс Клин»	16/09/2005	1	600
		24/05/2010	1	1000
	ООО «Пилкингтон Гласс»	14/02/2006	1	800
Рязанская область	ООО «Гардиан Стекло Рязань»	август 2008	1	800
Нижегородская область	АО «Эй Джи Си Борский стекольный завод»	2000–2008	1* (2/2014)	600 (1200/2014)
Саратовская область	АО «СаратовСтройСтекло»	18/05/2009	1* (2/2014)	500 (1140/2014)
	АО «Саратовский институт стекла»	13/10/2009	1	200
Республика Башкортостан	АО «Салаватстекло»	2005–2008	2	1100

Регион	Компания	Пуск	Кол-во флоат-линий	Мощность, тонн/сутки
Ставропольский край	АО «ЮгРосПродукт»	декабрь 2009	–* (1/2014)	– (250/2014)
Ростовская область	ООО «Гардиан Стекло Ростов»	IV квартал 2012	1	900
Республика Дагестан	АО «Каспийский завод листового стекла»	IV квартал 2013	1	600
Республика Татарстан	ЗАО «Тракья Гласс Рус» (Saint-Gobain и Sisecam)	IV квартал 2014	1	600
		Всего:	**12 (15/2014)**	**7700 (9190/2014)**

* на указанных предприятиях в период 2014-2015 гг. были остановлены флоат-линии (количество линий и их мощности до остановки в указанный период приведены в скобках)

Примечание – При составлении таблицы использованы данные маркетингового агентства ABARUS Market Research, консалтинговой компании «СМ Про», других открытых источников.

Основными сегментами рынка листового стекла в Российской Федерации являются светопрозрачные конструкции и интерьерное стекло (75 % — 85 %), остальные 15 % — 25 % приходятся на автомобильную промышленность и транспортное машиностроение, а также производство мебели и бытовой техники.

Открытие дополнительных современных стекольных заводов позволило практически полностью заместить импорт стекла стекольной продукцией российского производства.

Российская стекольная индустрия является одной из самых конкурентоспособных отраслей отечественной экономики: большинство заводов построены в последние 10 лет в соответствии с лучшими мировыми стандартами и выпускают качественную конкурентоспособную продукцию. Подтверждением тому является активное развитие несырьевого экспорта. Помимо таких традиционных рынков сбыта, как страны СНГ, российская стекольная индустрия активно завоёвывает новые рынки.

1.3.2 Тарное стекло

Тарное стекло — одна из наиболее крупных подотраслей стекольной промышленности Российской Федерации, занимающая более 50 % рынка выпускаемой отраслью продукции. В среднем в год в стране производится около 7 млн т тарного стекла.

Потребление данной продукции в разных сегментах экономики (по данным АО «Институт стекла») показано на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 — Потребление тарного стекла в разных сегментах экономики

По данным на 2015 год, в Российской Федерации функционировали несколько десятков предприятий по производству стеклотары; характерная мощность производственных линий варьирует от 150 до и 300 т стекломассы в сутки. Типичное распределение установок в пределах различных диапазонов производительности отображено в таблице 1.3.2.

Таблица 1.3.2 — Количество установок для производства тарного стекла в определённом диапазоне объёма производства (источник информации — данные АО «Институт стекла»)

Диапазон мощности производственных линий (т/сут)	<150	От 150 до 300	От 300 до 600
Количество предприятий в каждом диапазоне	12	63	8
Доля предприятий в каждом диапазоне, %	15	75	10

Из-за транспортных расходов большая часть стеклянной тары продаётся в пределах 500 км от места производства. В секторе парфюмерно-косметической промышленности ситуация иная, и импорт может составлять более 40 % потребления.

1.3.3 Сортовое стекло

Сектор сортового стекла является одним из небольших секторов стекольной промышленности (приблизительно 4 % общего объёма производства). Этот сектор охватывает изготовление стеклянной столовой посуды, сосудов для вина и напитков,

художественно-декоративных изделий. Изготовление сортового стекла получило очень широкое распространение по всей России, но в настоящее время многие заводы закрыты или работают на малой мощности; общий объём производимой продукции составляет приблизительно 0,5 млн т стеклоизделий в год.

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.

1.3.4 Непрерывное стекловолокно

Производство стекловолокна следует рассматривать как химическое производство искусственных и синтетических волокон, однако, в официальных документах [6,7] производство стекловолокна поименовано в перечне областей применения НДТ и объектов I категории в группе, связанной с производством стекла. В связи с этим процессы производства стекловолокна рассмотрены в данном информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям.

Стеклянные волокна служат конструкционными, электро-, звуко- и теплоизоляционными материалами. Их используют в производстве фильтровальных материалов, стеклопластиков, стеклянной бумаги и др. Как правило, А-стекло перерабатывают в штапельные волокна и используют в виде матов и плит для звуко- и теплоизоляции. Стекловолокнистые материалы благодаря высокой пористости имеют малый коэфициент теплопроводности (0,03-0,036 Вт/(м·К)). Ткани из С-стекла применяют в химической промышленности для фильтрации кислотных и щелочных растворов, для очистки воздуха и горячих газов. Срок службы фильтров из стеклянного волокна значительно выше, чем фильтров из обычных текстильных материалов. Ткани из стекла А и Е используют в производстве стеклотекстолитов.

Из высокопрочных волокон S-стекла получают композиты для самолето- и аппаратостроения. Кварцевые волокна являются высокотемпературными диэлектриками и жаростойкими материалами.

Для защиты от действия рентгеновского и радиоактивного излучения используют так называемые многосвинцовые и многоборные стеклянные волокна. Оптические (светопрозрачные) стеклянные волокна применяются в производстве световодов и стекловолокнистых кабелей.

1.3.5 Силикат натрия растворимый (специальное стекло)

Растворимые силикаты натрия и калия являются продуктами производства (товарной продукцией) стекольных заводов различного профиля. Натриевая силикат-глыба является, как правило, содовой, лишь в отдельных случаях в качестве натриевого компонента применяют сульфат натрия, в основном в смеси с содой. Жидкие стекла, сваренные из калиевой силикат-глыбы отличаются большей вязкостью. Для варки калиевой силикат-глыбы используются печи малой производительности, так как её потребление низкое (из-за высокой стоимости), а для натриевой – печи бóльшей производительности, от 30 до 350 т/сут. Натриевые и калиевые жидкие стекла, полученные из силикат-глыбы, применяют во многих отраслях промышленности: лакокрасочные материалы и покрытия; литейное производство; электродно-флюсовое производство; производство строительных материалов; производство моющих средств; нефтедобыча; горно-обогатительная индустрия; химическая промышленность.

Из общего выпуска растворимых силикатов основное количество (свыше 90%) приходится на растворимый силикат натрия (силикат-глыбу), в связи с чем в настоящем документе рассматривается именно производство растворимого силиката натрия.

Термин «специальное стекло» включает также электровакуумное стекло, химико-лабораторное стекло (стеклянные трубки, колбы, мензурки и воронки), стекло для осветительных приборов (трубки и колбы), боросиликатные стеклянные трубки, оптическое стекло, кварцевое стекло, стекло для электронной промышленности и др. Однако в этой группе практически нет крупных предприятий, сравнимых по объёмам производства с заводами листового или тарного стекла, которые выпускали бы только продукцию этой группы.

1.4 Экологические аспекты производства стекла и воздействие предприятий отрасли на окружающую среду

В официальных документах федерального уровня воздействие крупных предприятий по производству стекла на окружающую среду (ОС) отражено в позициях «Производство строительных материалов» (2000–2006 годы), «Обрабатывающие производства» (2007–2013 годы), в том числе «Производство прочих неметаллических минеральных продуктов» (2007–2013 годы).

Раздел «Влияние основных видов отраслей экономической деятельности на состояние окружающей среды», присутствовавший в Государственном докладе (Госдокладе) «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации» за

2011 год (равно как и в более ранние годы), в Госдоклады за 2012 и 2013 годы включён уже не был [43]. В докладах о состоянии ОС, подготовленных в субъектах федерации, в ряде случаев приводятся более детальные сведения о предприятиях — загрязнителях ОС. В некоторых докладах присутствуют данные о валовых выбросах загрязняющих веществ (ЗВ), о суммарных объёмах сточных вод, поступивших в поверхностные объекты, об образовании отходов и нарушении земель.

Предприятия по производству стекла расположены во многих субъектах Российской Федерации: для налаживания производства требуются общераспространённые полезные ископаемые, во многих случаях перевозки продукции на дальние расстояния оказываются нерентабельными. Тем не менее некоторые крупные компании, выпускающие стекло, упомянуты в числе загрязнителей ОС в ряде регионов России. При описании факторов воздействия отмечаются, в частности, выбросы пыли, оксидов азота и монооксида углерода. Наряду с этим в региональных докладах о состоянии ОС отмечается, что ряду предприятий удалось усовершенствовать технологические процессы и внедрить новую средозащитную технику.

На местах (в управлениях Росприроднадзора по соответствующим субъектам федерации) осуществляется как разрешительная, так и инспекционная деятельность, накапливаются сведения о воздействии регулируемого сообщества в целом, в том числе предприятий по производству стекла, на ОС. Считается, что площадки международных компаний, функционирующие в России, реализуют те же технологические процессы и методы минимизации негативного воздействия на ОС, что действуют в Европейском союзе (ЕС), однако ни в отчётах об оценке воздействия на ОС, ни в разрешительной документации такие сведения, как правило, не обсуждаются. В аналитических материалах (отчётах и докладах о состоянии ОС регионального уровня) сведения о воздействии стекольного производства получают отражение в чрезмерно обобщённом виде: приводится общая масса выбросов ЗВ или общий объём сбросов сточных вод, в редких случаях — доли крупнейших предприятий в формировании выбросов, сбросов и отходов (по республике, области, краю).

Результаты пилотных проектов, выполненных в 2001–2007 годах (в период действия первой версии Справочного документа ЕС [11]), свидетельствуют о том, что в таких подотраслях, как производство листового и тарного стекла большинство технологических, технических и управленческих решений, а также технологических показателей, характерных для европейских компаний, достаточно чётко отражало практику и результаты работы передовых российских предприятий. Поэтому при оценке типичных для России уровней выбросов, сбросов ЗВ и образования отходов в производстве стекла

члены ТРГ-5 использовали как результаты анкетирования отечественных предприятий, так и сведения, приведённые в справочном документе ЕС [11]. При этом предпочтение отдавалось методам экспертной оценки, к участию в которой были привлечены практики с ведущих предприятий по производству листового и тарного стекла, стекловолокна, сортового стекла и силиката натрия растворимого. Результаты оценки приведены в разделе 3.

Раздел 2. Основные технологические процессы, применяемые в настоящее время при произвосдстве стекла в Российской Федерации

2.1 Технологические процессы и способы производства изделий из стекла

Ассортимент изделий из стекла постоянно расширяется в соответствии с растущими потребностями различных отраслей народного хозяйства. Основные технологические стадии (этапы или технологические переделы) одинаковы при изготовлении большинства видов изделий из стекла и включают: обработку и хранение сырьевых материалов, приготовление из них шихты (смеси с определённым соотношением сырьевых материалов), высокотемпературную варку шихты и получение расплавленной стекломассы, формование изделий и отжиг изделий. В зависимости от вида продукции в стандартную технологическую схему могут быть внесены стадии горячей и холодной химической или механической обработки, упрочнения, окрашивания и т. п. [33].

В настоящем разделе представлена общая технология производства стекла и типовые технологические схемы производства основных видов изделий (см. разделы 2.2–2.6).

2.1.1 Сырьевые материалы и подготовка шихты

Наиболее распространённым в массовом производстве тарного, листового и сортового стекла является базовый пятикомпонентный натрий-кальций-алюмосиликатный состав, представленный следующими оксидами, масс. %: SiO_2 — 68–73, Al_2O_3 — 0–3, Na_2O — 14–17, CaO — 0–10, MgO — 0–5 [30, 32].

Сырьевые материалы, которые используются для производства стекла, делятся на основные и вспомогательные. К основным относятся искусственные и природные материалы, которые содержат компоненты, обеспечивающие оксидный состав, темпе-

ратурно-временной режим варки, способ формования стекла, режим отжига и физико-химические свойства изделий. К вспомогательным относятся соединения, отвечающие за процессы осветления (осветлители), окрашивания и глушения (красители и глушители), а также регулирования кислотно-основных и цветовых характеристик (окислители и восстановители) стекломассы и изделий.

Критериями выбора того или иного сырьевого материала для производства стекла служат содержание в нём основного компонента, содержание вредных (красящих, тугоплавких и т. п.) примесей и гранулометрический состав. В производстве бесцветных стёкол повышенного качества правильнее использовать синтетические и искусственные сырьевые материалы (сода, поташ, технический глинозём, борная кислота, оксид свинца и т. д.), тогда как при изготовлении изделий из полубелых и цветных стёкол более рационально использовать природное сырьё (полевые шпаты, нефелин, каолин, мел, мрамор, известняк и т. п.). Природное сырьё дешевле синтетического и искусственного, но отклонения как в содержании основного компонента, так и в составе примесей может резко отличаться от партии к партии, что следует учитывать при выборе того или иного вида сырья.

Основными сырьевыми материалами для стекольного производства являются [29]:

- кварцевый песок — источник оксида кремния (SiO_2) — основного компонента в составе стекла;

- кальцинированная сода (карбонат натрия Na_2CO_3) — для введения оксида натрия (Na_2O), который снижает температуру варки;

- поташ (карбонат калия K_2CO_3) — для введения оксида калия (K_2O), увеличивающего «длину» (вязкостную характеристику при формовании) стекла;

- мел, известняк, мрамор (карбонаты кальция $CaCO_3$) — источники оксида кальция (CaO);

- доломит (двойной карбонат кальция и магния $CaCO_3 \cdot MgCO_3$) — введением оксидов кальция (CaO) и магния (MgO) можно регулировать температуру плавления и вязкость; они улучшают механические и химические свойства;

- глинозём (оксид алюминия Al_2O_3) — добавляют, чтобы улучшить стойкость к химическому воздействию.

К основным сырьевым материалам также относят свинцовый глёт или свинцовый сурик (PbO и Pb_3O_4), которые используют для получения хрустальных стёкол с высокими показателями белизны и преломления.

Среди сырьевых материалов для специальных видов стёкол, например для выработки стекловолокна, необходимо использовать борную кислоту (H_3BO_3), поскольку

оксид бора (B_2O_3) повышает химическую стойкость к агрессивным средам, а также оксиды титана и циркония.

Вспомогательные сырьевые материалы для стекольного производства. [29] Осветлители, окислители и восстановители — это соединения, выделяющие газовую фазу при высоких температурах за счёт реакций разложения или окисления-восстановления. Наиболее распространённые соединения, которые используют в качестве осветлителей и окислителей, — это нитрат и сульфат натрия, хлорид натрия, оксид сурьмы. Восстановители — уголь, сажа, виннокислый калий.

Процесс окрашивания стекла основывается на протекании окислительно-восстановительных реакций, переводе красящих ионов в необходимое валентно-координационное состояние, а также стабилизации размеров атомов и молекул в составе стекла. Существует широкий ряд оксидов, бескислородных солей и металлов, которые используют для окрашивания силикатных, фосфатных свинцовых и других видов стёкол. Так, в присутствии оксида меди стекло окрашивается в голубой цвет, кобальта — в синий, хрома — в зелёный, сульфоселенида кадмия — в красный, а металлического серебра — в жёлтый. Наибольший интерес среди красящих ионов представляют ионы железа, поскольку большинство природных сырьевых материалов содержат примесные количества оксида железа: Fe (III) даёт интенсивную янтарно-жёлтую окраску, а Fe (II) — более слабую зелёную.

Для получения полупрозрачных (опалесцирующих) или непрозрачных (глушеных) стёкол используют соединения фтора и фосфора криолит ($3NaF \cdot AlF_3$), фтористый кальций CaF_2, кремнефтористый натрий Na_2SiF_6.

Сырьевые материалы поступают на склад россыпью, в баулах, мешках или бочках и подвергаются входному контролю химического и гранулометрического состава в соответствии с требованиями, заложенными в технологическом регламенте. Природное сырьё, как правило, требует дополнительной обработки. Пески очищают от посторонних примесей при помощи магнитной обработки, просеивают и сушат; известняк, мел, доломит, полевой шпат дробят и просеивают; соду, поташ и другие компоненты растаривают и при необходимости просеивают. Однако современные стекольные предприятия отказываются от практики дополнительной обработки, предпочитая закупать уже готовые к использованию сырьевые материалы.

Подготовленные сырьевые материалы поступают в расходные бункера весовой линии и взвешиваются в соответствии с заданной рецептурой шихты. После взвешивания они направляются в смеситель для равномерного распределения всех компонентов по всему объёму порции. При необходимости введения в состав вспомогательного

материала его предварительно смешивают с одним из основных компонентов шихты и затем загружают в смеситель. Контроль однородности перемешивания осуществляется заводской лабораторией в соответствии с регламентом выпуска продукции.

Для облегчения процесса варки стекла часть шихты, необходимой для получения 100 массовых частей стекломассы заменяют стекольным боем (далее — стеклобой). Соотношение шихты к стеклобою устанавливается предприятием и зависит от конструкционных особенностей и продолжительности кампании печи, требований к качеству стекломассы, экономических показателей производства. Соотношение шихта: бой варьирует в широких пределах. На стеклотарных заводах России оно, как правило, составляет 50:50. Характерный показатель использования боя в производстве листового стекла – (90–75):(10–25). Предприятие может применять как собственный, так и привозной стеклобой. Основным способом подготовки стеклобоя к использованию является его очистка от посторонних примесей (керамики, металлов, органических веществ и т. д.) и измельчение. Многие современные стеклольные предприятия отказываются от практики дополнительной обработки, предпочитая закупать уже готовый к использованию стеклобой. Использование стеклобоя позволяет снизить себестоимость продукции, продлить кампанию печи, уменьшить количество вредных выбросов [25].

2.1.2 Процесс варки стекла

Стекловарение — это последовательность физико-химических процессов превращения смеси сырьевых материалов (шихты) в расплавленную стекломассу, готовую к формованию изделий. Принято выделять пять стадий процесса стекловарения: силикатообразование, стеклообразование, осветление, гомогенизацию и студку. В печах периодического действия эта последовательность протекает во времени, и с учётом зависимости температуры печи от продолжительности варки можно выделить следующие интервалы: нагревание до максимальной температуры (стеклообразование, силикатообразование), выдержка при максимальной температуре (осветление, гомогенизация), охлаждение до температуры формования (студка). В печах непрерывного действия та же последовательность распределена по длине печи и зависит от температуры на каждом её участке [27].

Стандартным, наиболее распространённым и экономичным способом подачи тепла для варки стекла является сжигание газового топлива над слоем шихты и расплавленной стекломассой. Температура, необходимая для стекловарения, зависит от химического состава стекла, и составляет от 1100 °C до 1650 °C. При таких температу-

рах теплопередача осуществляется путём излучения от свода печи, который нагревается пламенем до 1650 °С, и от самого пламени.

Использование электрического нагрева стекломассы весьма выгодно с точки зрения снижения вредных выбросов, образующихся при горении топлива, удобства регулирования всех стадий процесса стекловарения, высокого коэффициента полезного действия печи, однако проигрывает в стоимости энергетических затрат на варку.

Конструктивные особенности стекловаренных печей разных типов и производительности предусматривают организацию и контроль над тепловыми потоками как над зеркалом стекломассы, так и в расплаве, чтобы обеспечить однородность стекла, подаваемого на формование [30].

Силикатообразование. Сырьевые материалы, используемые в стекловарении, представляют собой соли и оксиды. На стадии силикатообразования из них формируются силикаты, которые затем образуют первичный расплав. Низкотемпературная стадия процесса стекловарения (до 500 °С) состоит из многочисленных химических и физических процессов, таких как нагревание, удаление свободной и связанной воды, разложение простых и образование двойных карбонатов и т. п. При повышении температуры от 500 °С до 900 °С протекают химические реакции образования легкоплавких силикатов щелочных металлов, а в интервале температур от 900 °С до 1200 °С в целом завершается формирование и высокотемпературных силикатов, таких как силикаты кальция. Одновременно начинается плавление щелочных силикатов, образование и плавление эвтектических составов и растворение тугоплавких оксидов в первичном расплаве.

На этой стадии варки образуется самое большое количество газообразной фазы, состав которой определяется химическим составом сырьевых компонентов, оказывающих существенное влияние на состав вредных выбросов и окислительно-восстановительную атмосферу печи. Кроме того, существует опасность улетучивания щелочесодержащего сырья, что пагубно сказывается на состоянии огнеупоров в зоне загрузки.

Стеклообразование. Стадия стеклообразования заключается в постепенном растворении зёрен кварца в первичном расплаве. Длительность этой стадии определяет продолжительность всего процесса стекловарения и составляет не менее 70 % от общей длительности, что обусловлено высокой вязкостью кварцевого расплава и низкой скоростью диффузии зёрен кварца в первичный расплав и катионов щелочных металлов в кварцевый расплав. Результатом является образование неоднородной полупрозрачной аморфной среды с большим количеством газовых включений.

По завершении фазы плавления количество расплавленного вещества составляет приблизительно 82 % — 88 % от количества исходных сырьевых материалов из-за выхода газообразных составляющих.

Осветление и гомогенизация. Готовая к формованию стекломасса должна быть однородной и свободной от газовых пузырей. Готовые изделия нормируются по содержанию в них пороков стекловарения (кристаллических включений, аморфных включений или свилей, газовых включений — пузырей). В большинстве изделий массового спроса размеры и количество дефектов прописываются в стандартах и технических условиях.

Первичные кристаллические пороки, состоящие главным образом из кварца и его модификаций или различных силикатов, образуются при неполном проваре зёрен кварца из шихты, попадании в стекломассу частиц огнеупоров или металлических фрагментов оборудования. Вторичные пороки образуются при кристаллизации стекломассы в процессе выработки.

Аморфные включения являются стекломассой, химический состав которой отличается от заданного состава стекла. Основные причины их образования — расслоение шихты при транспортировке и загрузке в печь, нарушения температурно-временного режима варки, изменения направления и скорости конвективных потоков в печи.

Пузыри в стекломассе образуются в результате разложения сырьевых материалов, поглощаются из газового пространства печи, содержащего все составные части воздуха и продукты горения топлива и при взаимодействии стекольного расплава с огнеупорами печи. Наиболее часто при нормальной работе печи в готовой стекломассе присутствуют газовые пузыри — в основном карбонатные, сульфатные и нитратные.

Процессы освобождения стекломассы от аморфных и кристаллических пороков (осветление и гомогенизация соответственно) происходят одновременно. Оба процесса интенсифицируются при увеличении температуры в печи и перемешивании стекломассы. В печах периодического действия перемешивание осуществляют с помощью мешалок, в печах непрерывного действия — с помощью конвективных потоков в объёме ванны, бурления воздухом или дополнительного электроподогрева в зоне максимальных температур (квельпункта).

Пузыри в расплаве бывают крупные (более 5 мм), средние (от 1 до 5 мм) и мелкие — мошка (менее 1 мм). Для их удаления в состав шихты вводят осветители (например, нитрат натрия, оксид мышьяка, сажу), которые в области высоких температур образуют большое количество крупных газовых пузырей за счёт реакций разложения. Такие пузыри обладают большой подъёмной силой и, поднимаясь наверх, захва-

тывают окружающие более мелкие пузыри. Тот же эффект достигается при бурлении стекломассы воздухом. Увеличение температуры в области квельпункта всегда благоприятно сказывается на однородности и осветлении стекломассы, однако существует определённый температурный предел, превышение которого негативно влияет на состояние огнеупоров.

В результате осветления и гомогенизации в зону студки попадает стекломасса однородного состава, свободная от аморфных и газообразных пороков.

При варке цветных стёкол следует очень внимательно относиться к выбору осветляющей добавки, поскольку большинство из них влияют на окислительно-восстановительные свойства расплава. Обычно окислительно-восстановительные условия варки тесно связаны со свойствами расплава, поэтому их характеризуют по содержанию кислорода и углекислого газа в атмосфере печи. Смещение окислительно-восстановительных условий в ту или иную сторону может привести к увеличению твёрдых и газообразных выбросов, в частности соединений серы.

Студка стекломассы. Завершающей стадией стекловарения является студка, т. е. процесс снижения температуры на 300 °С — 400 °С до температуры, обеспечивающей однородное распределение температуры и вязкости стекломассы, необходимых для формования того или иного вида изделий.

Главное условие успешной студки — непрерывное медленное снижение температуры стекломассы без изменения состава и давления газовой среды в печном пространстве. Нарушение этого условия может вызвать сдвиг установившегося равновесия газов, растворённых в расплаве, и провоцирование «закипания» стекломассы, т. е. образование вторичного пузыря, избавиться от которого практически невозможно.

Для регулирования скорости процесса охлаждения используют такие устройства, как заградительные экраны, углубления в дне бассейна (deep refiner), разделение на отапливаемую и неотапливаемую части бассейна печи, мешалки с холодильниками и т. д.

2.1.3 Стекловаренные печи

Выбор печи в технологии любого изделия является определяющим, поскольку от него в первую очередь зависит экономическая эффективность производства. Критериями выбора являются вид потребляемого энергоносителя, производительность, химический состав стекла и экологическая эффективность [11, 31, 37].

Существует несколько классификаций стекловаренных печей. Для целей настоящего справочника НДТ за основу взята их производительность.

Первая группа — печи производительностью более 500 т/сут — ванные регенеративные газовые печи непрерывного действия с поперечным направлением пламени. Как правило, их используют для производства листового флоат-стекла. В современных стекловаренных печах коэффициент полезного действия (КПД) достигает 33 % — 35 %.

Вторая группа — печи средней производительности (100–500 т/сут) — ванные регенеративные газовые печи непрерывного действия. В зависимости от вида выпускаемой продукции они бывают двух типов: для производства флоат-стекла — с поперечным направлением пламени, а для производства стеклянной тары — с подковообразным. Печи с подковообразным направлением пламени гораздо экономичнее и экологичнее, поскольку в них работает всего две пары горелок, однако они требуют дополнительных устройств для регулирования окислительно-восстановительных условий, осветления и гомогенизации стекломассы. КПД печей средней производительности с подковообразным направлением пламени может достигать 40 % и более.

Третья группа — печи малой производительности (2,5–100 т/сут) — малые регенеративные или рекуперативные газовые ванные печи, электрические печи горизонтального и вертикального вида и стекловаренные печи смешанного типа — газоэлектрические непрерывного действия, которые используются для варки хрустального, оптического и других специальных видов стёкол. Для газовых печей КПД не превышает 25 %, для газоэлектрических достигает 35 % — 40 %, для электрических печей составляет около 65 % — 70 %.

Природный газ — основное топливо, используемое в российской стекольной промышленности, главным образом из-за его экономичности и экологичности по сравнению с жидким топливом. Большинство видов жидкого топлива, используемых для варки стекла, нуждаются в предварительном нагреве до 110 °С — 120 °С, с тем чтобы снизить вязкость для заливки в ёмкости при транспортировке и распылении через наконечники горелок.

2.1.3.1 Регенеративные и рекуперативные газовые печи

Стекловаренные печи, использующие в качестве основного энергоносителя природный газ, снабжены системами его подачи и отвода продуктов горения. Для подачи газа и воздуха на горение применяют два типа теплообменников: регенераторы и рекуператоры.

Регенератор — это камера, внутри которой находится насадка из огнеупорного кирпича с системой отверстий. При прохождении через насадку отработанных дымовых газов сверху вниз кирпичи нагреваются и затем отдают тепло пропускаемому снизу

вверх воздуху, нагревая его до 1200 °С — 1350 °С. Система управления переключает газовые потоки в парах горелок таким образом, чтобы одна работала на горение топлива, а вторая — на нагрев насадки. Через фиксированный промежуток времени происходит переключение газовых потоков, и тогда вторая горелка сжигает топливо, а насадка регенератора первой нагревается отходящими газами.

Рекуператор — это теплообменник, в котором отходящие газы непрерывно подогревают систему подачи воздуха на горение и через неё сам воздух до температуры 800 °С. Конструктивно рекуператоры более массивны и занимают больше места, но с их помощью удобнее регулировать температуру в больших и средних печах.

Рекуперативные печи выгодно использовать там, где масштаб производства слишком мал, чтобы сделать использование регенераторов экономически целесообразным, и где необходимо минимизировать первоначальные затраты.

Регенеративная ванная печь с поперечным направлением пламени состоит из собственно ванны со сводом, нескольких пар горелок, расположенных по обеим сторонам печи, системы загрузки сырьевых материалов и выработочного канала (см. рисунок 2.1.1).

Факел пламени горелок имеет конусообразную форму, настильно располагается над расплавом и перекрывает всё пространство между двумя соседними парами. Отвод отработанных дымовых газов из регенераторов происходит по системе дымоходов, расположенной под стекловаренной печью, соединённой с общей дымовой трубой.

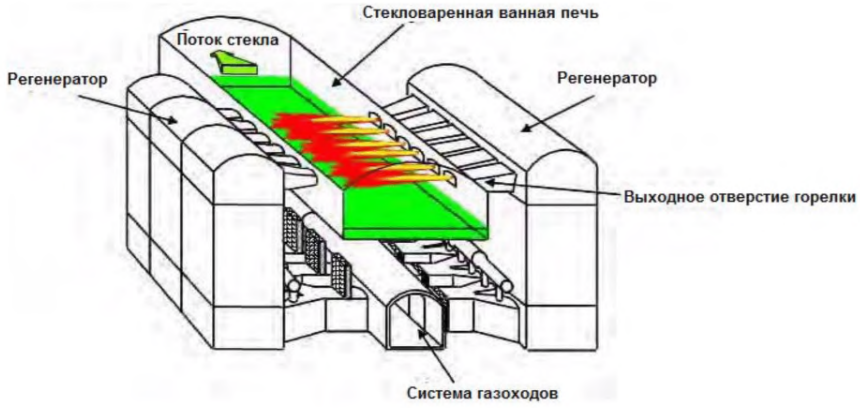

Рисунок 2.1.1 — Регенеративная стекловаренная печь
с поперечным направлением пламени [11]

Преимущество печей с поперечным направлением пламени состоит в том, что для каждой пары горелок можно задавать своё соотношение газ/воздух, поддерживать необходимую температуру на каждом участке печи и, следовательно, регулировать скорость и направление конвективных потоков стекольного расплава, что весьма важно для больших печей.

В стекловаренной регенеративной печи с подковообразным направлением пламени две пары горелок с регенераторами расположены в одном конце печи. Факел пламени каждой горелки имеет U-образную (подковообразную) форму. Таким образом, каждая работающая горелка обогревает всё пламенное пространство печи. Стекломасса, полученная в таких печах, характеризуется меньшей степенью гомогенизации, чем в печах с поперечным направлением пламени. Такие конструкции идеальны для стекловаренных печей средних размеров, используемых, например, для производства тарного стекла, поскольку стеклянная тара, в отличие от листового стекла, не нормируется по светопропусканию.

Для повышения качества стекломассы в печах с подковообразным направлением пламени рекомендуют использовать дополнительный электроподогрев — локальный подвод дополнительного тепла к расплавленному стеклу в стекловаренной печи путём установки электродов в боковых стенках (горизонтальные электроды) или в дне (вертикальные электроды) зоны максимальной температуры. Технология может быть применена в разные сроки эксплуатации печи, например для поддержания уровня удельного съёма стекломассы по мере приближения окончания кампании.

Дополнительный электроподогрев может также использоваться при производстве цветного стекла из-за пониженной теплопрозрачности у зелёных и коричневых стёкол.

Печи с использованием кислорода для горения основного газового топлива предусматривают полную или частичную замену воздуха подаваемого на горение газа кислородом. Такая замена преследует две цели. Первая — экономическая (избавиться от громоздких регенераторов), вторая — экологическая (уменьшить содержание оксидов азота в отходящих газах). Кроме того, при использовании очищенного кислорода удаётся достичь высоких температур при меньшем количестве газа подаваемого на горение топлива и увеличить полноту его сгорания.

Как правило, такие печи имеют стандартную базовую конструкцию, однако в них вместо регенераторов и рекуператоров стоят скромные по размерам системы питания газовых горелок кислородом. Печи с газокислородным пламенем используют в малотоннажных производствах специальных стёкол, например для выпуска стекловолокна.

Широкому распространению подобных технологий для производства других видов продукции препятствует повышенная опасность при работе с кислородом, хотя экологический выигрыш при их использовании не подвергается сомнению [11, 20].

2.1.3.2 Электрические печи прямого нагрева

Электрические печи для варки стекла — самые производительные и экологически безопасные в настоящее время. Существует два основных типа электрических печей прямого нагрева: вертикальные и горизонтальные, — которые различаются по направлению движения стекломассы от загрузки к выработке. Наибольшее распространение в практике стекловарения получили печи вертикального типа (см. рисунок 2.1.2).

Загрузка шихты в таких печах производится на зеркало наваренной стекломассы, т. е. запуск электрической печи осуществляется с помощью газовых горелок, расположенных на уровне загрузочного кармана, назначение которых — расплавить определённое количество шихты и обеспечить необходимый объём расплава для погружения электродов.

Нагрев стекломассы производится за счёт погружённых в неё электродов, расположенных парами с двух сторон в средней части варочной зоны печи. Соответственно, температурный максимум находится вблизи электродов и составляет не менее 1500 °С, а температура в загрузочной и придонной частях несколько ниже. Для более равномерного провара порций шихты, поступающих на поверхность сваренной стекломассы, используют загрузчики с разравнивающими устройствами.

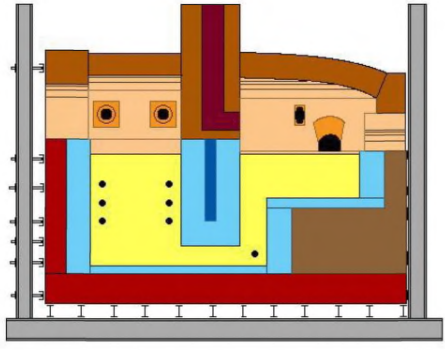

Рисунок 2.1.2 — Электрическая стекловаренная печь прямого нагрева вертикального типа [11]

Шихта постепенно плавится, однако поверхностный слой остаётся слабо нагретым, улетучивание из такого слоя минимально, следовательно, практически отсутствует коррозия огнеупоров. Кроме того, свод печи в зоне загрузки остаётся холодным (поэтому печи прямого нагрева часто называют печами с холодным сводом).

Горячая стекломасса в зоне варки движется сверху вниз и попадает в пережим между варочной и выработочной камерами. Для более точного поддержания температуры в зоне выработки в пережиме ставится дополнительный электрод. Иногда, чаще всего при ручной выработке изделий, дополнительные газовые горелки ставят в выработочной зоне. В зависимости от состава стекла и окислительно-восстановительных свойств расплавов используют оксидно-оловянные (для варки хрусталя), графитовые или молибденовые (для варки листового, тарного, сортового стекла) электроды.

Электрические печи обычно применяют для варки специальных стёкол, главным образом из-за высокой стоимости электроэнергии, хотя тепловые потери в них гораздо меньше; также меньше вредных выбросов, как твёрдых, так и газообразных [11, 20, 34].

2.1.3.3 Печи периодического действия

Печи периодического действия традиционно используют при необходимости изготовления небольших партий стёкол разного цвета, состава и т. д. Существуют горшковые и малые ванные печи периодического действия, чаще всего использующие природный газ в качестве основного теплоносителя.

В горшковых печах может устанавливаться от 6 до 12 стекловаренных горшков, а подвод пламени осуществляться как снизу, так и сверху. Ёмкость каждого стекловаренного горшка составляет 50–500 кг со сроком эксплуатации 2–3 мес при условии непрерывной работы. В такой печи можно одновременно варить стёкла разных составов, при условии совпадения температурно-временных режимов и окислительно-восстановительных условий варки.

Ванные печи периодического действия позволяют изготавливать до 10 т стекломассы в сутки. Конструктивно они очень похожи на печи непрерывного действия. Их работа рассчитана на суточный цикл, и они используются прежде всего для варки различных цветных, хрустальных и оптических стёкол, специальных составов и фритт (керамическая и эмалевая фритта) [11, 31].

2.2 Технологические процессы производства листового стекла

В настоящее время наиболее распространенным процессом производства листового стекла является флоат-процесс.

Флоат-процесс представляет собой непрерывное круглосуточное производство. Основной принцип флоат-процесса заключается в формовании расплавленной стекломассы на поверхности расплавленного олова под действием сил поверхностного натяжения.

Для выпуска большей части листового стекла используется состав стекла, приведённый в таблице 2.2.1. Флоат-стекло получают в стекловаренных регенеративных печах с поперечным направлением пламени. [27]

Таблица 2.2.1 — Типовой химический состав листового стекла

Компонент	Массовая доля, %
Диоксид кремния (SiO_2)	71–74
Оксиды натрия и калия	12,5–15
Оксид кальция (CaO)	6–9
Оксид магния (MgO)	<5
Оксид алюминия (Al_2O_3)	<1,1
Оксид серы (VI), SO_3	<0,35

Флоат-ванна (ванна расплава) состоит из металлического корпуса, установленного на металлических конструкциях и наполненного расплавом олова. Корпус флоат-ванны герметичен, в нём поддерживается защитная атмосфера путём наполнения смесью азота и водорода.

Расплавленная стекломасса вытекает из печи вдоль канала с огнеупорной футеровкой. В конце канала стекломасса выливается в ванну расплава через специальный огнеупорный переливной брус, который обеспечивает правильное растекание стекломассы. Поток стекломассы управляется посредством регулируемого подвесного огнеупорного шибера в канале (передний шибер). В месте, где стекломасса первоначально соприкасается с оловом, температура олова составляет приблизительно 1000 °C; на выходе из ванны расплава температура снижается примерно до 600 °C. По мере того как стекломасса проходит по поверхности расплавленного олова, она приобретает практически идеальную ровную поверхность.

Во флоат-ванне расположено несколько пар стеклоформующих машин с водяным охлаждением, с применением которых осуществляется регулирование толщины ленты стекла.

После выхода из флоат-ванны лента стекла подаётся в печь отжига, разделённую на секции, где осуществляется косвенное или прямое охлаждение с помощью принудительной и естественной конвекции. Стекло, таким образом, постепенно охлаждается с 600 °С до 60 °С для уменьшения остаточного напряжения до допустимого уровня. В некоторых случаях устанавливают моечные машины на непрерывной ленте стекла.

Охлаждённая лента стекла разрезается перемещающимся роликами на заданные форматы. Края ленты, на которых находятся отпечатки зубцов роликов, отрезаются и повторно используются в производстве в качестве стеклобоя. Затем листы стекла передаются на склад для хранения и последующей реализации либо для дальнейшей переработки [11, 28].

2.3 Технологические процессы производства стеклянной тары

Процесс производства стеклянной тары представляет собой непрерывное круглосуточное производство.

Процесс варки стекла — это комплекс физико-химических реакций, явлений массообмена и теплообмена, в результате которых шихта превращается в расплавленную стекломассу под воздействием высоких температур, создаваемых в стекловаренной печи за счёт сжигания природного газа или других источников энергии.

Процесс подготовки стекломассы осуществляется в выработочном канале стекловаренной печи, питателях стекломассы (фидерах) и включает в себя охлаждение стекломассы до температуры формования, гомогенизацию по температуре и подачу в стеклоформующий автомат порции стекломассы определённой массы и формы в строго определенный момент.

Для выпуска большей части стеклотары используется состав стекла, приведённый в таблице 2.3.1 [26, 30].

Таблица 2.3.1 — Типовой химический состав стеклянной тары

Компонент	Массовая доля, %
Оксид кремния (SiO_2)	71–73
Оксид натрия (Na_2O)	12–14

Компонент	Массовая доля, %
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
Оксид серы (SO_3)	0,05–0,3
Красители, осветлители и обесцвечиватели	0,2–3

Варка стекла производится в ванной стекловаренной печи (регенеративной печи непрерывного действия с поперечным или подковообразным направлением пламени, рекуперативной печи и т. д.). Окраску стекломассы можно производить непосредственно, добавляя краситель в шихту, выработочный канал или питатель стекломассы. Необходимо учитывать, что для равномерной окраски стекломассы необходимо выдержать три обязательных параметра: температура стекломассы, время (продолжительность) окрашивания (дозирования) и интенсивность (качество) перемешивания.

В канале питателя могут быть установлены дренажная система для удаления загрязнённой стекломассы (которая может быть использована повторно) и дополнительное перемешивающее устройство — система мешалок, осуществляющая перемешивание стекломассы, обеспечивая её однородность. Конструкция питателя может обеспечить формирование от 1 до 3 капель единовременно, в зависимости от конструкции стеклоформующей машины.

Основными способами формования стеклянной тары являются выдувание и прессовыдувание стекла [11, 27].

Схематично способы формования показаны на рисунке 2.3.1.

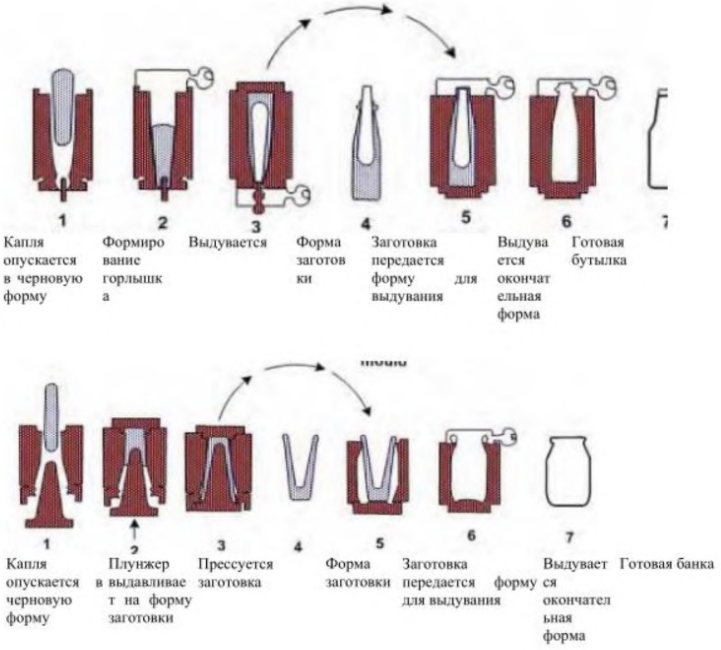

Рисунок 2.3.1 — Способы формования стеклянной тары [11]

Гранулят и отходы формования относятся к возвратному стеклобою.

Отформованная стеклянная тара подаётся в печь отжига. Отжиг — процесс охлаждения отформованной тары до температуры окружающей среды, при котором уменьшаются остаточные напряжения и предотвращается возникновение временных разрушающих напряжений. Основной нагрев рабочего пространства печи отжига обеспечивается поступающими на отжиг изделиями, для достижения кривой отжига за счёт подогрева природным газом или электричеством.

Для повышения эксплуатационной надёжности на поверхность стеклянной тары до загрузки в печь отжига и после печи отжига наносятся упрочняющее и защитное покрытия. Процесс упрочнения поверхности стеклотары «горячим» методом состоит в нанесении защитного оксидно-металлического покрытия на наружную поверхность стеклотары. В результате взаимодействия продуктов испарения рабочего реагента с поверхностью тары образуется защитная плёнка, которая предохраняет поверхность от разрушающего воздействия внешних факторов. Процесс нанесения покрытия на «холодном конце» состоит в нанесении на поверхность стеклотары защитного покрытия путём распыления форсунками полимерных композиций на водной основе. Такая

обработка поверхности стеклотары снижает коэффициент трения, исключает потёртости на наружной поверхности стеклотары.

Нанесение оксидно-металлических покрытий на горячем участке и полимерных композиций на холодном участке производственных линий может повлечь за собой выбросы дыма и паров, прежде всего HCl и соединений олова (титана).

После рассортировки годная стеклянная тара поступает на линию упаковки, где собирается в паллеты с применением термоусадочной полиэтиленовой плёнки.

Упакованная стеклотара отправляется на склад готовой продукции для хранения и последующей реализации.

2.4 Технологические процессы производства сортового стекла

Производство сортового стекла 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 отдельных изделий из декоративного хрусталя и заканчивая большими объёмами продукции с использованием высокомеханизированных методов для производства недорогих потребительских товаров массового спроса. Большая часть стеклянной посуды производится из натрий-кальций-силикатного стекла, имеющего состав, подобный составу тарного стекла, но более сложный, что обусловлено особыми требованиями к качеству продукции и более разнообразными процессами формования.

Процесс формования может быть ручным, полуавтоматическим и реализованным с применением стеклоформующих машин. В последнем случае стекло из печи подаётся через один или более выработочных каналов в стеклоформующую машину (СФМ), где изделия формуются с использованием форм. Техника точности формования зависит от размера изделия, подлежащего изготовлению. Существует четыре основных метода формования: прессовыдувание, выдувание, прессование и вытягивание. Первые два метода применяются также при производстве стеклотары (см. раздел 2.3) [11, 27].

Процесс прессования сравнительно прост, он применяется для совсем мелких изделий, у которых горлышко шире основания или равно его ширине. Такой процесс прессования показан на рисунке 2.4.1. Входная температура расплавленного стекла изменяется в зависимости от состава, но для натрий-кальциевого стекла она обычно составляет 1150 °C.

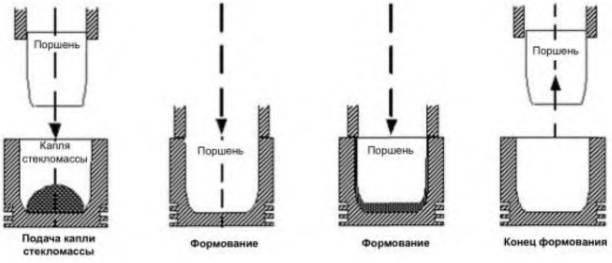

Рисунок 2.4.1 — Процесс прессования для формования изделий из стекла [11]

Процесс вытягивания показан на рисунке 2.4.2. Он применяется для получения изделий круглого сечения, таких как тарелки и мелкие чаши (миски). Каплю стекла опускают в форму, которая затем вращается, и изделие формируется в результате действия центробежной силы.



Рисунок 2.4.2 — Процесс вытягивания для формования изделий из стекла [11]

Отформованные изделия обычно подвергают огненной полировке для достижения требуемого качества поверхности, оплавке края (кромки) изделия и отжигают. Кромка изделия обрабатывается высокотемпературным пламенем за счёт сжигания газокислородной или кислородоводородной смеси. После огненной полировки изделия пропускают через печь отжига, и на их поверхности могут наноситься покрытия. В ряде случаев изделия пропускают не через печь отжига, а через линию закалки, чтобы повысить их механическую устойчивость и термостойкость.

Для изделий ручной работы с помощью трубки получают небольшую заготовку, пульку, которая для получения нужной формы формуется с использованием деревянных или металлических форм. Изделия переносят в печь отжига, чтобы исключить любые внутренние напряжения. При полуавтоматическом производстве некоторые этапы процесса (комплектование, формовка и обработка) выполняются с помощью машин или роботов.

Отделка полученных изделий может включать целый ряд операций.

Огранка предусматривает нанесение заранее выбранного резного орнамента на изделия из простого стекла с помощью шлифовального круга, шаржированного алмазом.

После огранки стекло приобретает сероватый оттенок, и его поверхность имеет необработанный вид. Поверхность стекла восстанавливается в её первоначальном виде в результате погружения стекла в полировальную ванну с фтористоводородной и серной кислотами.

С поверхности полировальной ванны происходит испарение фтористого водорода и SiF_4. Эти пары обрабатываются в башенных скрубберах. В процессе операции образуется гексафторкремниевая кислота (H_2SiF_6) концентрацией, достигающей 35 %, а кислая промывочная вода затем нейтрализуется. В качестве альтернативы возможно восстановление H_2SiF_6. Кислая промывочная вода также требует периодической нейтрализации [23].

Для создания художественной выразительности может использоваться большое разнообразие технических приёмов. Они включают декорирование с использованием эмалей, обработку с помощью пескоструйных аппаратов либо травления кислотой, а также гравирование. Объёмы выбросов в результате этих операций небольшие в сравнении с основными производственными стадиями [22, 23]

2.5 Технологические процессы производства стекловолокна

Стеклянные волокна существенно отличаются друг от друга по своим физико-химическим характеристикам. Для композиционных материалов для ответственных применений используют только стеклянные волокна, имеющие соответствующие физико-химические свойства. Химический состав стекловолокон приведен в таблице 2.5.1.

Таблица 2.5.1 — Состав стеклянных волокон

Оксиды	Оксиды, масс. %				
	E-стекло	R-стекло	ECR-стекло	Advantex®	S-стекло
SiO_2	55,0	60,0	58,4	61,0	64,7
Al_2O_3	14,0	24,4	11,1	13,0	25,0
TiO_2	0,2	-	2,4	-	-
B_2O_3	7,0	-	-	-	-
CaO	22,0	9,0	21,4	22,5	-
MgO	1,0	6,0	2,7	3,0	10,0
ZnO	-	-	2,7	-	-
Na_2O	0,5	0,5	0,8	-	0,3
K_2O	0,3	0,1	0,1	0,5	-

E-стекло (E - Electric (электротехническое)) представляет собой алюмоборосиликатное стекло с низкой долей оксидов щелочных металлов (<2 масс.%) и хорошими электроизолирующими свойствами. Волокна из E-стекла являются особенно приемлемыми для изготовления печатных плат и армирования пластмасс. Термостойкость E-стекла (определяемая температурой стеклообразования) является неудовлетворительной и составляет меньше 680°C.

Большим недостатком E-стекол является их низкая кислотостойкость (кислотостойкость класса 4).

R-стекло (R - Resistant (стойкое)) представляет собой щелочноземельно-алюмосиликатное стекло. Температуры стеклообразования и размягчения данного стекла составляют приблизительно 730 и 950°C соответственно. Подобные стекла, такие как, например, стекло "Supremax", вследствие их низкого коэффициента температурного расширения применяют в качестве стекла для термометров.

Волокна из R-стекла применяют в областях, предъявляющих высокие механические и термические требования. Волокна из R-стекла обладают также достаточно высокой прочностью при растяжении при повышенной температуре.

ECR-стекло (ECR - E-Glass Corrosion Resistant (коррозионностойкое E-стекло)) представляет собой не содержащее бора алюмокальций-силикатное стекло с низкой долей оксидов щелочных металлов. Волокна из ECR-стекла обладают высокой кислотостойкостью и хорошими механическими и электрическими свойствами. Их применяют для ответственного армирования пластмасс.

Стекло Advantex® – модификация ECR-стекла с очень низкой долей оксидов щелочных металлов и улучшенными физико-химическими свойствами. Долговременная термостойкость данного вида стеклянных волокон составляет приблизительно 740°C.

S-стекло (S – Strength (прочность, прочное)) представляет собой магнезиально-алюмосиликатное стекло. Данное стекло было разработано в качестве специального стекла, удовлетворяющего высоким механическим требованиям, в частности, при повышенной температуре и содержит более 10 мол.% Al_2O_3.

Свойства различных типов стекловолокна в сравнении с E-стеклом представлены в таблице 2.5.1.

Таблица 2.5.1 — Свойства высококачественных стекловолокон

Оксиды	Оксиды, мас. %				
	E-стекло	R-стекло	ECR-стекло	Advantex®	S-стекло
Плотность, кг/м^3	2620	2550	2670	2620	2480
Коэффициент температурного расширения, K^{-1}	$5{,}4\cdot10^{-6}$	$4{,}1\cdot10^{-6}$	$5{,}9\cdot10^{-6}$	$6{,}0\cdot10^{-6}$	$2{,}0\cdot10^{-6}$

Оксиды	Оксиды, мас. %				
	E-стекло	R-стекло	ECR-стекло	Advantex®	S-стекло
Вязкость:					
- температура размягчения, °С	850	950	880	915	1050
Предел прочности при растяжении, Мпа	3450	3400	3450	3500	4890
Модуль упругости, Гпа	72,0	85,0	72,0	81,0	87,0
Относительное удлинение, %	4,8	4,6	4,8	4,6	5,7
Диэлектрическая проницаемость при 1 МГц	6,6	6,0	6,9	6,8	5,3

Как следует из рассмотрения таблицы 2.5.1, волокна из S-стекла обладают сравнительно лучшими механическими свойствами. Химическая стойкость и термостойкость данных волокон также являются очень хорошими.

Традиционное S-стекло представляет собой магнезиально-алюмосиликатное стекло, которое было разработано в качестве специального стекла, удовлетворяющего высоким механическим требованиям, в частности при повышенной температуре.

Хотя стекла, представляющие собой тройные системы MgO-Al_2O_3-SiO_2, легко затвердевают до стекловидного состояния, но при последующей термической обработке они проявляют склонность к кристаллизации и разделению фаз.

Если S-стекла подвергаются термическому воздействию, то происходит выделение каплеобразной фазы силикатного стекла с высоким содержанием MgO и Al_2O_3 и кристаллизация. Данное обстоятельство представляет собой большой недостаток традиционного S-стекла и произведенных из него изделий.

В тройных системах MgO-Al_2O_3-SiO_2 могут кристаллизоваться, в частности, муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, форстерит $2MgO \cdot SiO_2$, шпинель $MgO \cdot Al_2O_3$, кордиерит $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ и периклаз MgO.

Разделение фаз и процессы кристаллизации ведут к сильному уменьшению прочности волокна, охрупчиванию и разрушению волокна (к поперечной фрагментации). Стойкость к температурным перепадам волокон из S-стекла является также неудовлетворительной. Другим большим недостатком волокон из S-стекла является относительно высокая цена. Вследствие этого по соображениям целесообразности такой сорт волокон находит применение только в немногих областях.

Другой вид волокон, применяемых для ответственного армирования пластмасс, представляет собой стекловолокно из стекла Advantex®, не содержащего бор. Хотя волокна из стекла Advantex® обладают по сравнению с S-стеклом более низкой прочно-

стью и более низкой термостойкостью, но их склонность к кристаллизации является сравнительно низкой.

Технологические процессы производства стекловолокна описаны в разделах 2.5.1 – 2.5.7 на примере выпуска ECR-стекла.

2.5.1 Приготовление шихты

Технологический процесс приготовления шихты включает в себя транспортировку обработанных (если это необходимо) сырьевых материалов, дозировку, взвешивание и смешивание их до получения однородной смеси.

Сырьевые материалы, входящие в состав шихты, пневмотранспортом, элеваторами или шнековыми транспортёрами подаются в расходные бункеры весовой линии участка приготовления шихты.

Расходные бункеры весовой линии рассчитаны на хранение запаса сырья и оснащены сигнализаторами минимального и максимального уровней. Они также оснащены бункерными фильтрами для сброса воздуха от пневмотранспорта. Контроль всех сырьевых материалов производится из бункеров на весовой линии.

Сырьевые материалы из расходных бункеров (силосов) при помощи шнековых дозаторов подаются в весовые бункера. Бункеры установлены на тензометрических датчиках, осуществляющих контроль веса (массы). Сигнал с них поступает на цифровой преобразователь, находящийся на пульте управления весовой линией. Таким образом, при помощи данного контура осуществляется контроль отвешивания сырьевых материалов.

Высыпание из весового бункера на ленточный конвейер отвешенных сырьевых материалов осуществляется при помощи заслонок. Высыпание на ленту происходит одновременно из всех бункеров.

По ленточному конвейеру отвешенные сырьевые материалы попадают в смеситель блендерного типа, где идёт смешивание всех компонентов шихты.

После смешивания готовая шихта подаётся в накопительные бункеры участка производства стеклянных искусственных волокон [11, 38].

2.5.2 Транспортировка и загрузка шихты в ванную печь

Накопительные бункеры отделения стекловарения оснащены бункерными фильтрами для сброса воздуха от пневмотранспорта, сигнализаторами минимального и максимального уровней, а также шнекового дозатора у основания накопительного бун-

кера. Подача шихты в накопительные бункера осуществляется попеременно. Это достигается за счёт дроссельного переключателя.

При помощи системы шнеков шихта попадает в расходные бункеры загрузчиков. Помимо расходного бункера, загрузчики оснащены шнеком, по которому шихта подаётся в стекловаренную печь, и швеллерной системой откатки загрузчиков на случай аварийных или плановых ремонтов.

Так как загрузка шихты в стекловаренную печь ведётся постоянно, все двигатели загрузочного узла оснащены инверторами, позволяющими регулировать загрузку шихты в зависимости от съёма стекломассы.

2.5.3 Варка стекла

Варка стекла осуществляется в рекуперативной печи прямого и электрического нагрева, состоящей из варочного бассейна и главного канала, разделённых проточной системой.

Стены бассейна ванной печи и протока выполнены из хромоксидного огнеупора. Для снижения потерь тепла весь бассейн изолируется шамотным легковесом. Свод изолируется корундовым легковесом, волокнистой изоляцией и оцинкованными листами. Все элементы огнеупорной кладки ванной печи крепятся металлоконструкциями.

Печь отапливается природным газом и системой электроподогрева. Подача газа на горение производится через комбинированные горелки диффузионного типа. Печь условно разделена на две зоны: зону варки и зону осветления. Регулирование температуры осуществляется одновременно во всей печи. Разность температур в зонах достигается балансировкой между отдельными парами горелок.

С задней торцевой стороны печи расположен металлический рекуператор типа «труба в трубе». Для поддержания давления в с/в-печи в горловину рекуператора подаётся запорный воздух по трубам из жаростойкой нержавейки.

Дымовые газы (продукты сгорания топлива) удаляются через влёт задней торцевой стены в дымовой канал и далее через рекуператор в металлическую дымовую трубу, выполненную у основания в виде зонта.

Контроль температурного режима варки стекла осуществляется с помощью сводовых и донных термопар. Также предусмотрены следующие системы автоматического регулирования параметров:

- автоматическое поддержание заданного расхода газа;
- автоматическое поддержание заданного соотношения «газ/воздух»;
- автоматическое поддержание заданной температуры;

- автоматическое поддержание уровня стекломассы в печи;

- автоматическое поддержание давления в печи.

Предусмотрена система автоматического сброса горячего воздуха на свечу, которая применяется для поддержания температуры и предотвращения перегрева рекуператора.

В случае отключения какой-либо системы автоматического регулирования управление технологическим процессом осуществляется дистанционно.

Для безопасного ведения технологического процесса варки стекла предусмотрены следующие системы аварийной и предупредительной сигнализации и блокировки:

- световая и звуковая сигнализация «Топливо-воздух» на случай отключения подачи газа или воздуха в ванную печь;

- блокировка подачи газа или воздуха в ванную печь при отсутствии одного из этих компонентов;

- световая и звуковая сигнализация при выходе из строя уровнемера;

- световая и звуковая сигнализация при увеличении или уменьшении уровня больше чем на 1 мм;

- световая и звуковая сигнализация при перегреве рекуператора;

- световая и звуковая сигнализация при отклонении температуры от задания по своду и по дну;

- световая и звуковая сигнализация при аварии системы загрузки шихты.

С целью предотвращения разрушения огнеупорной кладки бассейна ванной печи предусмотрено естественное, а в дальнейшем и принудительное воздушное охлаждение, а при необходимости — и использование водяных холодильников.

Для выпуска стекломассы из ванной печи в конце кампании или при аварийных ситуациях под ванной печью предусмотрена специальная аварийная ванна, выложенная из огнеупорного кирпича.

Сваренная стекломасса из зоны осветления самотёком поступает через проток в главный канал и далее в фидерную систему.

Каждая зона отопления имеет свою систему регулирования температуры, которая работает в автоматическом режиме.

Система включает в себя:

- контур регулирования температуры стекломассы;

- контур регулирования расхода топлива;

- контур регулирования соотношения «газ/воздух».

С целью стабильного и безопасного ведения технологического процесса предусмотрена световая и звуковая сигнализация при отклонении температуры с/массы от заданной на ±5 градусов, «газ/воздух» на случай отключения одного из компонентов смеси и разрыва предохранительной мембраны на трубопроводе газовоздушной смеси.

2.5.4 Приготовление замасливателя, перекачка и система подачи замасливателя

Поверхность стеклянных волокон в процессе вытягивания покрывается замасливателем — сложной многокомпонентной стабильной водной дисперсией (эмульсией), содержащей до 90 % воды.

Основное назначение замасливателя — обеспечить смазку и защиту филаментных волокон и комплексных нитей от истирания, происходящего как во влажных условиях во время вытягивания нитей, так и в сухих условиях при трении волокон о детали оборудования в процессе текстильной переработки и в процессе производства стеклопластиковых изделий. Замасливающее покрытие должно образовывать на волокне гибкую, эластичную плёнку, стойкую к истиранию и механическим воздействиям, склеивать элементарные волокна в нить, придавая ей компактность и целостность [38].

Толщина и свойства образующейся плёнки зависит от количества нанесённого замасливателя и его состава. Компоненты, входящие в состав замасливателя, должны совмещаться друг с другом с образованием устойчивой эмульсии, иметь сродство к поверхности стеклянного волокна и обеспечивать химическую связь с полимерной матрицей в процессе производства стеклопластиковых изделий.

Приготовление замасливателя с использованием деминерализованной воды. Деминерализованная вода готовится на участке водоподготовки на установке системы обратного осмоса. Качество воды должно соответствовать требованиям инструкции на приготовление замасливателей и контролироваться 1 раз в квартал.

Перекачка замасливателя осуществляется по двум независимым системам (линиям А и В) в реакторную при помощи пневмонасоса. Каждый вид замасливателя перекачивается и хранится в отдельном реакторе при постоянном перемешивании и поддержании заданного диапазона температур. После каждой перекачки замасливателя происходит автоматическая промывка системы трубопровода.

В российских условиях в зимний период система трубопровода между участками приготовления и хранения замасливателя должна иметь электроподогрев. После каждой перекачки замасливателя трубопровод необходимо продуть сжатым воздухом.

Из расходных реакторов замасливатель подаётся в систему рециркуляции пневмонасосом под давлением. Для эффективного использования замасливателя установленные фильтры (сеточки) в ванночках замасливающего устройства необходимо регулярно промывать или менять на чистые.

2.5.5 Оборудование прядильной ячейки

Для выработки однопроцессных ровингов применяется оборудование, установленное на прядильных ячейках, размещённых под рабочими каналами фидерной системы в два яруса.

В комплект прядильных ячеек входит следующее оборудование:

- фильерные питатели;
- замасливающее устройство;
- наматывающие аппараты;
- вспомогательное оборудование (печные трансформаторы, подфильерные холодильники, монтажные рамы, форсунки для орошения подфильерной зоны, ванночка замасливающего устройства).

Для обеспечения устойчивого процесса выработки однопроцессных ровингов предусмотрена установка форсунок для орошения подфильерной зоны обессоленной водой и установка кондиционирования воздуха в производственном помещении.

2.5.6 Выработки однопроцессного стеклоровинга

Наматывающая машина используется для намотки стекловолокна из фильерных питателей. Она состоит из двух мотальных веретён (валов), которые закрепляются на роторном диске (ротационном), т. е. поворотном столе машины. Волокно переходит с одного веретена на другое полностью автоматически.

Подготовленная в фидере стекломасса поступает через специальные щелевые огнеупорные камни в платино-родиевые фильерные питатели, смонтированные в нижней части рабочих каналов фидеров. Температура питателей автоматически поддерживается постоянной с помощью регулятора температуры.

Стекломасса под действием гидростатического напора вытекает через фильеры, находящиеся в дне питателя, в виде струек, которые затем принудительно растягиваются в элементарные стеклонити заданного диаметра.

Затем элементарные волокна обрабатываются замасливателем и, проходя через нитесборник, собираются и склеиваются в одну комплексную нить.

Сформированная стеклонить наматывается на бумажную манжету, одетую на вращающийся бабинодержатель наматывающего аппарата. После окончания намотки автоматически происходит перезаправка комплексной нити на пустую манжету, одетую на второй бабинодержатель наматывающего аппарата.

Паковка с намотанной нитью при помощи манипулятора помещается на транспортную телегу и направляется на следующий технологический переход.

2.5.7 Выработка рубленых стеклонитей

Для выработки рубленых стеклонитей путём непрерывной прямой рубки применяется оборудование, аналогичное оборудованию для выработки стеклоровинга, за исключением наматывающего аппарата и дополнительных полиуретановых направляющих и оттягивающих роликов.

Для выработки рубленых стеклонитей путём непрерывной прямой рубки используется чоппер. Сформированная стеклонить через графитовый нитесборник, полиуретановый направляющий ролик на прядильной ячейке, графитовый направляющий ролик на чоппере заправляется в полиуретановые оттягивающие ролики чоппера. Затем система автозаправки чоппера с помощью графитового направляющего ролика забрасывает прядь стеклонити между режущей головкой и полиуретановым кольцом. Сформированные стеклонити с питателей, работающих на чоппер, равномерно распределяются через пальцы гребёнки, проходят по поверхности полиуретанового кольца, направляются между режущей головкой и полиуретановым кольцом.

Ножи режущей головки, вдавливаясь в упругую поверхность полиуретанового кольца, рубят находящуюся между валиками стеклонить на отрезки, равные расстоянию между ножами.

Рубленая стеклонить по рабочему жёлобу под действием силы тяжести падает в биг-бег, установленный на весовой платформе на паллете. Биг-бег подвешивают на кронштейны, вставленные в раму, во избежание его падения. На весовой платформе установлен вибратор для уплотнения рубленых стеклонитей в биг-беге по мере его заполнения.

2.6 Технологические процессы производства силиката натрия растворимого (специального стекла)

Технологические процессы производства растворимых силикатов щелочных металлов описаны на примере силиката натрия растворимого, наиболее массового вида продукции данного типа.

Силикат натрия является продуктом, отвечающим общей химической формуле $Na_2O\ M\ SiO_2$, где M — силикатный модуль. Наибольшим спросом пользуется продукт с M = 2,6÷3,6, но в промышленном масштабе можно производить и силикат натрия с модулями в диапазоне M = 2÷4 [32].

Силикат натрия растворимый используется для изготовления жидкого стекла, замазок, литья, флотации, для производства катализаторов и адсорбентов, для производства сварочных электродов, для синтетических моющих средств и химических производств, белой сажи, для строительства, бумажного производства, для клеев, пропиток, покрытий и других целей.

Таблица 2.6 — Типовой химический состав силиката натрия растворимого

Компонент	Массовая доля, %
SiO_2	65–80
Na_2O	20–35

Производство силиката натрия растворимого представляет собой процесс получения расплава стекломассы из шихты, содержащей песок и соду в заданных пропорциях, в ванной стекловаренной печи непрерывного действия с последующим резким охлаждением стекломассы.

В основном для варки стекла используются печи регенеративного типа с подковообразным и поперечным направлением пламени.

Для формования применяются:

- современный сухой способ выработки готовой продукции с формированием гранул силиката натрия на пресс-формах конвейера;

- способ прямого охлаждения гранул водой.

Продукт, отформованный последним способом, отличается высоким содержанием мелкой фракции, которая при перевозке продукции до потребителя часто приводит к образованию монолита, что вызывает трудности при разгрузке и переработке [27, 30].

Раздел 3. Текущие уровни эмиссии в окружающую среду и потребления ресурсов в производстве стекла

3.1 Потребление энергии и основные факторы воздействия на окружающую среду

Предприятия по производству стекла, как уже было отмечено в разделе 1, не относятся к числу приоритетных загрязнителей ОС. Основные факторы воздействия на ОС связаны с процессами стекловарения и подготовки шихты (преимущественно выбросы отходящих газов), а также формования и обработки изделий (образование отходящих газов и производственных сточных вод). Образование отходов весьма незначительно.

3.1.1 Потребление энергии

Производство стекла является энергоёмким процессом, поэтому повышение энергоэффективности производства является приоритетным направлением работ по обеспечению ресурсоэффективности в целом и сокращения негативного воздействия на ОС.

В процессе стекловарения расходуется от 60 % до 80 % всей энергии, потребляемой при производстве стекла [11]. Удельное энергопотребление зависит от характеристик печи (в частности, её типа и размера). При производстве стекла энергия также потребляется выработочными частями печей, в процессе формовки, отжига и системами отопления предприятий. Значительное количество энергии потребляется вентиляторами для подачи воздуха для горения и охлаждающего воздуха. Сокращения потребления энергии и выбросов в атмосферу ЗВ можно добиться путём принятия мер, направленных на повышение энергоэффективности производства, а также, в ряде случаев, уменьшение массы изделий, в частности, из тарного стекла. Это может быть обеспечено за счёт оптимального проектирования, а также путём оптимизации процесса формовки и обработки продукции после процесса формования.

3.1.2 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

Как уже было отмечено, производство стекла осуществляется при высокой температуре и требует значительного количества энергии, что приводит к образованию продуктов сжигания топлива, поступающих в атмосферный воздух. Выбросы отходя-

щих газов от процесса стекловарения содержат также твёрдые частицы (пыль), состав которых зависит от состава стекла.

Выбросы, сопровождающие этапы формования и полирования стекла, зависят от специфики различных технологических процессов. На прессовыдувных стеклоформующих машинах для тарного стекла образуется основная часть выбросов в атмосферу в результате контакта расплавленного стекла («капли стекломассы») со смазочными веществами. В процессе производства листового стекла, тарного стекла, посуды и декоративно-художественных стеклянных изделий также происходит выброс в атмосферу ЗВ, образующихся в процессе отжига, при котором стеклянные изделия выдерживаются при температурах 500 °С — 550 °С [23].

Твердые частицы (пыль) является типичным для стекольного производства фактором воздействия на ОС. Во всех подотраслях стекольной промышленности используются измельчённые, гранулированные или порошкообразные сырьевые материалы. На всех предприятиях осуществляется хранение и смешивание сырьевых материалов. Выброс в атмосферу пыли является предсказуемым результатом операций по транспортировке, обработке, хранению и смешиванию компонентов сырья. Пыль, образующаяся при этих операциях, более крупная, чем твёрдые частицы, образующиеся в процессе стекловарения и имеющие размер менее 1 мкм.

К числу первичных рекомендуемых мер по предотвращению и ограничению выбросов пыли в атмосферу и минимизации возможных последствий транспортировки, обработки, хранения и смешивания сырьевых материалов относятся [22, 25]:

- разграничение зон хранения и приготовления шихты и других производственных зон;

- использование закрытых бункеров для хранения шихты;

- сокращение количества мелких частиц в шихте путём увлажнения водой или щелочными растворами либо путём предварительного спекания, брикетирования или укладки на поддоны;

- соблюдение надлежащих процедур погрузки и разгрузки;

- транспортировка партий сырья к печам на закрытых транспортёрах;

- осуществление контроля в зонах подачи материалов в печи (например, увлажнение шихты; обеспечение сбалансированной работы печи для поддержания в ней слегка избыточного давления (<10 Па), чтобы повысить эффективность сгорания при одновременном сокращении выбросов в атмосферу ЗВ);

- улавливание пыли с помощью фильтров (в рабочих зонах разгрузки и транспортировки сырьевых материалов и шихты, засыпки шихты в стекловаренную печь);

- использование закрытых транспортёров;

- ограждение загрузочных камер.

Основными источниками выбросов в атмосферу твёрдых частиц при стекловарении являются смесь летучих компонентов шихты и расплавленного вещества с оксидами серы, образующая соединения, конденсирующиеся в отработанных печных газах, унос содержащихся в шихте мелкодисперсных материалов и сжигание некоторых видов ископаемого топлива. Российские предприятия по производству стекла используют в качестве источника энергии природный газ, поэтому последним фактором можно пренебречь [22].

Основными причинами выбросов оксидов азота (NO_X) являются их образование из азота воздуха при сжигании топлива, распад азотных соединений в шихте и окисление азота, содержащегося в топливе. Сокращения выбросов оксидов азота добиваются путём оптимизации процесса стекловарения и прежде всего сжигания топлива.

Присутствие оксидов серы (преимущественно SO_2) в отходящих газах стекловаренных печей определяется содержанием соединений серы в топливе (для природного газа обычно небольшим) и в сырьевых материалах. В настоящее время отсутствуют надежные данные о выбросах оксидов серы; по оценкам специалистов, имеющих многолетний опыт работы в отрасли, оксиды серы не следует относить к приоритетным ЗВ, поступающим в атмосферный воздух в результате проведения процесса стекловарения.

За исключением производства специальных сортов стекла, источники выбросов в атмосферу HCl и HF обычно связаны с присутствием в сырьевых материалах примесей (например, хлорида натрия или кальция) и реже — с присутствием в шихте незначительного количества фторида кальция (CaF_2). По оценкам специалистов, имеющих многолетний опыт работы в отрасли, такие примеси не следует считать характерными для отечественных предприятий.

Выброс металлов в окружающую среду — специфическая черта для некоторых подотраслей (например, производства свинцового хрусталя и цветного стекла). Незначительное количество тяжёлых металлов может присутствовать в качестве примесей в некоторых сырьевых материалах и стеклобое.

В твёрдых частицах, образующихся при производстве свинцового хрусталя, может содержаться 20 % — 60 % оксидов свинца. При производстве изделий из цветного стекла в атмосферный воздух в незначительных количествах могут поступать соединения (преимущественно оксиды) металлов, используемых для придания изделиям окраски (кобальта, меди, хрома, марганца и проч.)

Производственные сточные воды. Наибольшее количество воды потребляется в процессе охлаждения и промывки стеклобоя. Для выпуска сортового стекла (прежде всего, хрусталя) характерно также образование сточных вод в процессе обработки изделий (шлифования, огранки, матирования). Для минимизации потерь воды нередко используют системы водооборота.

В большинстве подотраслей производства стекла состав сточных вод напрямую зависит от состава исходной воды, поступающей на предприятия. Решения по обращению со сточными водами принимаются в зависимости от особенностей местной ситуации и могут включать как их очистку на локальных очистных сооружениях предприятий по производству стеклянной тары с последующим сбросом в водные объекты, так и сброс в централизованные системы водоотведения [21, 23].

Твёрдые отходы. На большинстве производственных операций в стекольной промышленности образуется относительно небольшое количество отходов. Стеклобой преимущественно используется повторно в производстве. В небольших количествах отходы шихты, пыли, уловленной в фильтрах, а также загрязнённого стеклобоя и упаковки вывозятся для захоронения на полигоны [23].

3.2 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве листового стекла

Масса готовой продукции в процессе производства листового стекла составляет более 60 % от массы сырья. Процесс производства сопровождается образованием выбросов ЗВ (оксидов азота, взвешенных веществ, монооксида углерода), которые поступают в атмосферный воздух. Отходы стекла (стеклобой) образуются в результате отрезания боковой кромки и при отбраковке продукции. Стеклобой направляется на вторичное использование [28].

3.2.1 Входные потоки (сырьё и энергия)

Сырьевые материалы

Основные сырьевые материалы, используемые при производстве листового стекла (флоат-процесс), перечислены в таблице 3.2.1 [28, 29].

Таблица 3.2.1 — Материалы, используемые в производстве листового стекла

Входные потоки	Виды сырья и энергии
Материал для формирования стекла	Кварцевый песок, стеклобой
Промежуточные и модифицирующие стекло материалы	Карбонат натрия, известняк, доломит, мел, полевой шпат, доменный шлак
Окислители и осветляющие вещества стекла	Сульфат натрия, нитрат натрия, уголь
Энергия	Природный газ, электроэнергия, резервное топливо — сжиженный газ, дизельное топливо
Вода	Централизованное водоснабжение и природные источники (артезианские скважины, водные объекты)
Вспомогательные материалы	Олово во флоат-ванне. Технологические газы, включая азот, водород и диоксид серы. Химические вещества для подготовки воды для системы охлаждения. Упаковочные материалы (включая пластик, бумагу, картон и дерево)

Использование энергии

Более 80 % энергии при производстве листового стекла потребляется при стекловарении; на формование и отжиг стекла расходуется около 5 % потребляемой на предприятиях энергии. Остальная энергия используется в процессах обработки сырья и подготовки шихты, для освещения, отопления предприятий, а также для обеспечения работы различного электрооборудования.

Технологические газы могут как поступать на предприятия в готовом виде, так и производиться на самих стекольных предприятиях, что влечёт за собой дополнительные потребности в энергии.

В Российской Федерации стекловаренные печи для производства листового стекла работают на природном газе. Удельный расход энергии в значительной степени зависит от размера печи. Печи производительностью более чем 800 т/сут требуют на тонну сваренной стекломассы на 10 % — 12 % меньше энергии по сравнению с печами

производительностью около 500 т/сут. Старение печи приводит к увеличению потребления энергии в среднем на 1–1,5 % в год.

В России потребление энергии на стекловарение при производстве листового стекла варьирует в интервале от 6,3 до 10,5 ГДж/т сваренной стекломассы, в основном в зависимости от производительности и возраста печи, со средним значением около 8 ГДж/т стекломассы. Значения до 6,3 ГДж/т сваренной стекломассы могут быть достигнуты в начале кампании печи для высокомощных печей. Необходимо отметить, что представленные параметры являются оценочными и получены в результате проведения экспертных консультаций, а не прямого анкетирования предприятий.

3.2.2 Выбросы в атмосферный воздух

Обращение с сырьём

На предприятия по производству листового стекла сырьё может поступать как в предварительно подготовленном виде, так и в виде, требующем дополнительной обработки. Последнее относится преимущественно к песку и доломиту.

На предприятиях по производству листового стекла силосы для загрузки и хранения сырьевых материалов оснащают средозащитным оборудованием — рукавными фильтрами (с эффективностью очистки от пыли не менее 95 %) или циклонами (с эффективностью очистки около 75 %) [22, 23].

Стекловарение

Выбросы загрязняющих веществ, поступающие в атмосферный воздух от процесса стекловарения, являются основным фактором воздействия производства листового стекла на окружающую среду.

Ориентировочные характеристики выбросов представлены в таблице 3.2.2. Необходимо отметить, что по мере внедрения в Российской Федерации системы технологического нормирования в сфере охраны окружающей среды и организации измерений содержания основных загрязняющих веществ в отходящих газах приведённые в таблице 3.2.2 параметры будут уточняться.

Таблица 3.2.2 — Выбросы основных загрязняющих веществ в производстве листового стекла

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота (в пересчёте на NO_2)	≤ 15,0

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Монооксид углерода (CO)	≤ 1,5
Пыль неорганическая (суммарно)	≤ 1,5

В настоящее время не представляется возможным предложить технологический показатель, характеризующий выбросы диоксида серы, обусловленные проведением технологических процессов производства. Данные, содержащиеся в разрешительной документации и в большинстве случаев являющиеся расчетными, требуют уточнения. Такое уточнение может быть сделано на основании результатов специальных исследований. Исследования могут быть, в частности, проведены в ходе разработки доказательной базы (национальных стандартов) в области производственного экологического мониторинга и контроля на предприятиях стекольной промышленности.

Сокращения выбросов ЗВ добиваются путём оптимизации процесса стекловарения и прежде всего сжигания топлива. Содержание монооксида углерода в отходящих газах при нормальном течении процесса невелико, однако может увеличиваться многократно (но кратковременно) при переводе пламени. Это обстоятельство необходимо учитывать в будущем при разработке требований к производственному экологическому контролю, в том числе в рамках ИТС «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения». Подчеркнем, что детальные требования к выбору точек пробоотбора, выполнению измерений (в том числе их периодичности и организации с учётом режимов стекловарения) и проведению расчетов целесообразно систематизировать в одном из документов по стандартизации, например в национальном стандарте.

Формование, отжиг и охлаждение

На выходе из флоат-ванны осуществляется горячая обработка поверхности стекла с целью увеличения его химической стойкости. Процесс требует использования диоксида серы (SO_2), выбросы которого в атмосферный воздух незначительны (на 1–2 порядка ниже, чем выбросы при стекловарении) [28, 33].

3.2.3 Сточные воды

Процесс производства листового стекла не сопровождается образованием значительных объёмов загрязнённых сточных вод. Напротив, вода используется преиму-

щественно для охлаждения технологического оборудования, а также в малых количествах на хозяйственно-бытовые нужды.

Состав сточных вод напрямую зависит от состава исходной воды, поступающей на предприятия. Решения по обращению со сточными водами принимаются в зависимости от особенностей местной ситуации и могут включать как их очистку на предприятиях по производству листового стекла с последующим сбросом в водные объекты, так и сброс в централизованные системы водоотведения.

3.2.4 Отходы производства

Технологические процессы производства листового стекла не сопровождаются образованием значительного количества отходов. Стеклобой преимущественно повторно используется в производстве. В небольших количествах отходы шихты, пыли, уловленной в фильтрах и циклонах, а также загрязнённого стеклобоя и упаковки вывозятся на полигоны.

3.3 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве тарного стекла

Процесс тарного производства сопровождается образованием выбросов ЗВ (оксидов азота, взвешенных веществ, монооксида углерода), которые поступают в атмосферный воздух. Отходы стекла (стеклобой) образуются в результате формования стеклотары, при проведении профилактических работ (гранулят) и при отбраковке продукции. Стеклобой направляется на повторное использование [23, 27].

3.3.1 Входные потоки (сырьё и энергия)

Сырьевые материалы

Основные сырьевые материалы, используемые при производстве стеклотары, перечислены в таблице 3.3.1.

Таблица 3.3.1 — Материалы, используемые в производстве стеклотары

Входные потоки	Виды сырья и энергии
Материал для формирования стекла	Кварцевый песок, собственный и покупной стеклобой

Входные потоки	Виды сырья и энергии
Промежуточные и модифицирующие стекло материалы	Карбонат натрия, карбонат кальция (известняк, мел, мрамор молотый), доломит, красители, полевой шпат, нефелиновый сиенит, карбонат калия
Окислители и осветляющие вещества стекла	Сульфат натрия, нитрат натрия, уголь
Энергия	Природный газ, электроэнергия, резервное топливо — сжиженный газ, дизельное топливо, мазут
Вода	Централизованное водоснабжение и природные источники (артезианские скважины, водные объекты)
Вспомогательные материалы	Кислород, ацетилен и др. Химические вещества для подготовки воды для системы охлаждения и отработанной воды. Упаковочные материалы (включая пластик, бумагу, картон и дерево). Смазочные материалы для пресс-формы, высокотемпературные разделительные составы на основе графита. Смазочные материалы для машин, преимущественно минеральные масла

Использование энергии

Более 75 % энергии при производстве стеклотары потребляется при стекловарении (для производства флаконов потребление энергии при стекловарении составляет 50 %). Прочие существенные сферы использования энергии — это выработочная часть печи, процесс формования (сжатый воздух и воздух для охлаждения форм), печи для отжига, отопление помещений и затраты общего назначения. Остальная энергия используется в процессах обработки сырья и подготовки шихты [11, 37].

Увеличение срока эксплуатации печи приводит к увеличению потребления энергии в среднем на 1,5 % — 3 % в год.

В России потребление энергии на стекловарение при производстве стеклянной тары составляет до 13,2 ГДж/т сваренной стекломассы, но на большинстве предприятий потребление энергии не превышает 10,0 ГДж/т сваренной стекломассы.

Необходимо отметить, что представленные параметры являются оценочными и получены в результате проведения экспертных консультаций, а не прямого анкетирования предприятий.

Процент стеклобоя, используемого в составе шихты, оказывает значительное и систематическое влияние на энергопотребление печи. Для проведения сравнения различных типов печей при сопоставимых условиях их показатели энергопотребления должны быть приведены к 50-процентному содержанию стеклобоя.

3.3.2 Выбросы в атмосферный воздух

Обращение с сырьём

На предприятия по производству стеклянной тары сырьё может поступать как в предварительно подготовленном виде, так и в виде, требующем дополнительной подготовки.

Участки разгрузки и дозировки сырьевых материалов, подготовки шихты оснащают средозащитным оборудованием — рукавными фильтрами (с эффективностью очистки не менее 95 %) или циклонами (с эффективностью очистки около 75 %) [22, 23].

Стекловарение

Выбросы ЗВ, поступающие в атмосферный воздух в результате процесса стекловарения, являются основным фактором воздействия производства стеклянной тары на ОС.

Ориентировочные характеристики выбросов представлены в таблице 3.3.2. Необходимо отметить, что по мере внедрения в Российской Федерации системы технологического нормирования в сфере охраны окружающей среды и организации измерений содержания основных загрязняющих веществ в отходящих газах приведённые в таблице 3.3.2 параметры будут уточняться.

Таблица 3.3.2 — Выбросы основных загрязняющих веществ в производстве стеклотары

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	≤20,0
Монооксид углерода (CO)	≤1,5
Пыль неорганическая (суммарно)	≤5,0

В настоящее время не представляется возможным предложить технологический показатель, характеризующий выбросы диоксида серы, обусловленные проведением технологических процессов производства. Данные, содержащиеся в разрешительной документации и в большинстве случаев являющиеся расчетными, требуют уточнения. Такое уточнение может быть сделано на основании результатов специальных исследований. Исследования могут быть, в частности, проведены в ходе разработки доказательной базы (национальных стандартов) в области производственного экологического мониторинга и контроля на предприятиях стекольной промышленности.

Сокращения выбросов добиваются путём оптимизации процесса стекловарения и прежде всего сжигания топлива. Содержание оксидов углерода в отходящих газах при нормальном течении процесса невелико, однако может увеличиваться многократно (но кратковременно) при переводе пламени. Это обстоятельство необходимо учитывать в будущем при разработке требований к производственному экологическому контролю, в том числе в рамках ИТС «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения». Подчеркнем, что детальные требования к выбору точек пробоотбора, выполнению измерений (в том числе их периодичности и организации с учётом режимов стекловарения) и проведению расчетов целесообразно систематизировать в одном из документов по стандартизации, например в национальном стандарте.

Формование, отжиг и нанесение упрочняющего и защитного покрытия

На входе и выходе из печи отжига осуществляется нанесение упрочняющего и защитного покрытия на поверхность стеклянной тары с целью повышения его эксплуатационной надёжности. Процесс сопровождается незначительными выбросами в атмосферный воздух газообразного HCl, олова (титана) и взвешенных веществ.

3.3.3 Производственные сточные воды

Процесс производства стеклянной тары не сопровождается образованием значительных объёмов загрязнённых сточных вод. Напротив, вода используется преимущественно для охлаждения технологического оборудования, а также в малых количествах на хозяйственно-бытовые нужды.

Состав сточных вод напрямую зависит от состава исходной воды, поступающей на предприятия. Решения по обращению со сточными водами принимаются в зависимости от особенностей местной ситуации и могут включать как их очистку на предприя-

тиях по производству стеклянной тары с последующим сбросом в водные объекты, так и сброс в централизованные системы водоотведения.

3.3.4 Отходы производства

Технологические процессы производства стеклянной тары не сопровождаются образованием значительного количества отходов. Стеклобой преимущественно повторно используется в производстве. В небольших количествах отходы шихты, пыли, уловленной в фильтрах, а также загрязнённого стеклобоя и упаковки вывозятся для захоронения на полигоны.

3.4 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве сортового стекла

3.4.1 Входные потоки (сырьё и энергия)

Сырьевые материалы

Предприятия, производящие сортовое стекло, крайне неоднородны, что определяет значительные различия во входных и выходных характеристиках процессов. При производстве продукции из натрий-кальций-силикатного стекла выход годных изделий составляет от 50 % до 90 % (в среднем 85 %) входящих сырьевых материалов; для свинцового хрусталя это отношение составляет от 35 % до 80 % (в среднем 75 %).

Более низкое значение для свинцового хрусталя обусловлено совокупностью различных факторов, среди которых большая доля резки и полировки и более строгие требования к качеству. При производстве других типов сортового стекла (хрустального, опалового, боросиликатного) это отношение находится в пределах диапазона, заданного этими двумя типами продукции.

Энергия

Анализ энергопотребления в производстве сортового стекла осложнён разнообразием предприятий, применяемых процессов, их мощности, а также широким спектром видов выпускаемой продукции. Крупносерийное производство столовой посуды из натрий-кальций-силикатного стекла имеет сходство с производством тарного стекла и характеризуется сравнимым распределением энергопотребления. Большая доля энергии расходуется на обработку (в частности, на огневую полировку). Удельное энергопотребление в этом виде экономической деятельности выше, чем при производстве тар-

ного стекла, из-за меньшего размера печей, более высоких температур в печи и большего (до 1,5 раза) обращения стекломассы в объёме бассейна печи.

Некоторые процессы, в частности производство свинцового хрусталя, осуществляются в намного меньших масштабах и даже с применением горшковых печей. Применение электропечей для производства свинцового хрусталя позволяет использовать огнеупоры высокого качества, обеспечивающие намного более высокое качество стекла и меньшую долю брака (тем самым — лучшее соотношение выхода в годное).

Общее энергопотребление в производстве свинцового хрусталя может достигать 60 ГДж/т готовой продукции, при этом теоретическое расчётное энергопотребление составляет только 2,5 ГДж/т. Различие объясняется множеством факторов, в том числе:

- высокими требованиями к качеству, что приводит к более низкой доле годных изделий. Горшок медленно растворяется стеклом, что приводит к образованию свилей или появлению камня в стекле;

- стекло часто обрабатывают вручную, и выход формования также может быть ниже 50 %; кроме того, может потребоваться дополнительный нагрев изделия при формовании;

- горшки должны быть прогреты до высокой температуры до использования, и они имеют очень ограниченный эксплуатационный ресурс по сравнению с печами непрерывного действия.

3.4.2 Выбросы в атмосферный воздух

На предприятия по производству сортового стекла сырьё может поступать как в предварительно подготовленном виде, так и в виде, требующем дополнительной подготовки.

Участки разгрузки и дозировки сырьевых материалов, подготовки шихты оснащают средозащитным оборудованием — рукавными фильтрами (с эффективностью очистки не менее 95 %) или циклонами (с эффективностью очистки около 75 %).

Выбросы ЗВ, поступающие в воздух в результате процесса стекловарения, являются основным фактором воздействия производства сортового стекла на атмосферный воздух. Речь идёт прежде всего о выбросах оксидов азота, углерода и, вероятно, серы, а также о выбросах пыли Сокращения выбросов добиваются путём оптимизации процесса стекловарения и прежде всего сжигания топлива.

Для производства цветного стекла и хрусталя характерны также выбросы соединений тяжёлых и переходных металлов. В справочном документе по НДТ, выпущенном в Европейском Союзе в 2013 году и в Заключении по НДТ указано, что суммарные

удельные выбросы таких элементов, как As, Se, Co, Ni, Cd, Se, Cr , Sb, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn (в зависимости от вида сортового стекла и изделий из него) могу достигать 3-5 г/т продукции. Удельные выбросы свинца также достигают нескольких граммов на тонну продукции и образуются как при подготовке шихты и стекловарении, так и при обработке изделий [11].

В прошлые годы в России был выполнен ряд научно-исследовательских проектов, посвящённых оценке распределения тяжёлых металлов в зоне воздействия предприятий по производству сортового стекла [39]. Показано, что повышенные уровни загрязнения обусловлены не столько рассеянием мелких частиц, поступающих в атмосферный воздух в результате процесса стекловарения. Удельные выбросы оценены величинами порядка граммов на тонну продукции), сколько потерями компонентов шихты (такие потери могут быть на порядок выше, чем выбросы из организованных источников). Последние легко предотвратить, используя подходы систем менеджмента качества и экологического менеджмента [22].

Для подотрасли сортового стекла в настоящее время весьма сложно предложить технологические показатели, характеризующие выбросы пыли, оксидов азота, углерода и серы, а также (для производства цветного стекла и хрусталя) выбросы металлов, обусловленные проведением технологических процессов производства. Сама подотрасль включает широкий спектр предприятий, применяющих как современные технологические процессы и оборудование для выпуска массовых видов продукции, так и небольшие стекловаренные печи и ручную выработку изделий малых партий. Данные, содержащиеся в разрешительной документации и в большинстве случаев являющиеся расчетными, требуют уточнения. Примерные характеристики выбросов основных загрязняющих веществ (с учетом российских и зарубежных источников) приведены в таблице. 3.4.1.

Таблица 3.4.1 — Выбросы основных загрязняющих веществ в производстве сортового стекла

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	≤ 30,0
Монооксид углерода (CO)	≤ 1,5
Пыль неорганическая (суммарно)	≤ 8,0

Уточнение технологических параметров (в том числе, для производств разного масштаба, типа, а также для различных видов продукции) может быть сделано только

на основании результатов специальных исследований. Исследования могут быть, в частности, проведены в ходе разработки доказательной базы (национальных стандартов) в области производственного экологического мониторинга и контроля на предприятиях стекольной промышленности.

3.4.3 Производственные сточные воды

Производственные сточные воды образуются как в процессе охлаждения технологического оборудования, так и при огранке и шлифовке изделий. В большинстве процессов используются технологические методы для удаления твёрдых частиц, например механическая очистка сточных вод, осаждение (с применением флокулянтов и коагулянтов).

При химической полировке изделий из хрусталя в сточные воды попадают соединения свинца, плавиковая, кремнефтористая, серная кислоты и их соли. Для очистки сточных вод от этих соединений используют реагентные, сорбционные и ионообменные методы. Для сорбции фтора применяют активированный уголь и свежевыделенные осадки гидроксида магния и фосфата кальция. Для ионного обмена пригодны сильноосновные аниониты, гидроксилапатит и др. Однако в большинстве случаев фторсодержащие соли нейтрализуют суспензией мела или гидроксидом кальция. В результате соединения фтора переходят в труднорастворимый фторид кальция. После осаждения осадок обезвоживают на вакуум-фильтре и направляют в большинстве случаев осадки сточных вод утилизировать в производстве не удаётся, и они подлежат размещению на полигонах.

3.4.4 Производственные отходы

В отличие от других подотраслей, в производстве сортового стекла твёрдые отходы достаточно сложно повторно использовать в технологических процессах. Поэтому основным подходом по минимизации отходов производства является развитие систем менеджмента качества и систем экологического менеджмента, позволяющих сократить количество потерь (в том числе компонентов шихты), брака изделий и тем самым снизить долю отходов, подлежащих отправке на полигоны.

3.5 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве стекловолокна

В настоящем подразделе приведён краткий обзор входных и выходных потоков производства стекловолокна на примере выпуска ECR-волокна.

3.5.1 Входные потоки (сырьё и энергия)

Удельные расходы сырья и энергии в производстве стекловолокна представлены в таблице 3.5.1 (на примере технологии ECR-волокна).

Таблица 3.5.1 — Удельные расходы сырья и энергии в производстве стекловолокна

Входные потоки	Удельное потребление, т/т продукции
Основное сырьё, в том числе:	1,2
Каолин	>0,3
Мел	>0,3
Мука кварцевая	>0,4
Вспомогательные вещества (в том числе замасливатель)	<0,01
Вода	
Потребление воды, $м^3$/т	8,2
Энергия	
Общее энергопотребление, ГДж/т	14,0

3.5.2 Факторы воздействия на окружающую среду

Основные факторы воздействия производства стекловолокна на окружающую среду связаны с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

В таблице 3.5.2 приведены примерные характеристики выбросов загрязняющих веществ для производстве стекловолокна (на примере технологии ECR-волокна).

Таблица 3.5.2 — Выбросы основных загрязняющих веществ в производстве стекловолокна

Загрязняющие вещества	Удельный выброс, кг/т продукции
Загрязняющие вещества, поступающие в атмосферный воздух:	
- оксиды азота (в пересчете на NO_2)	≤ 5,0
- монооксид углерода (CO)	≤ 0,5
- летучие органические вещества (ЛОС)	≤ 0,5
Пыль неорганическая (суммарно)	≤ 2,0

В сточных водах присутствуют взвешенные частицы, биологические окисляемые вещества (определяемые по $БПК_5$), химически окисляемые вещества (определяемые по ХПК), углеводороды нефти и поверхностно активные вещества. В зависимости от размещения предприятия сточные воды могут подвергаться обработке на локальных очистных сооружениях или направляться в централизованные системы водоотведения для последующей очистки на централизованных сооружениях.

Производственные отходы образуются в незначительных количествах.

В целом, следует подчеркнуть, что воздействие производства стекловолокна, не содержащего бора, на ОС существенно ниже, чем воздействие производства борсодержащего стекловолокна (см. рисунок 3.5.1).

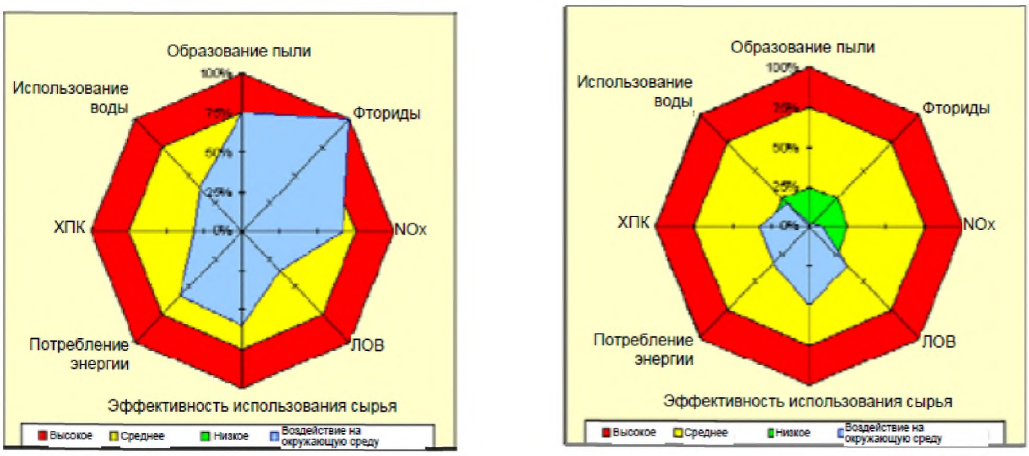

Рисунок 3.5.1 — Факторы воздействия на ОС производства борсодержащего Е-стекла (слева) и не содержащего бора стекла ECR-Advantix (справа)

В связи с тем, что в процессе обмена информацией члены ТРГ-5 получили только одну анкету для предприятия, указанные численные параметры не могут быть основой для определения технологических параметров НДТ. В связи с этим, в соответствии с действующим законодательством [1], в разделе 5 приведены значения, не превышающие соответствующих показателей, характерных для европейских предприятий.

По мере развития рынка стекловолокна в Российской Федерации от производителей может потребоваться разработка новых видов продукции, в том числе содержащих разнообразные вещества, соединения которых могут поступать в ОС. В каждом конкретном случае разработчики технологических процессов должны уделять внимание как технологическим, так и техническим методам минимизации негативного воздействия.

Следует также отметить, что термин «летучие органические соединения» (ЛОС) не является характерным для экологической разрешительной документации в России. ЛОС обычно обсуждаются в контексте Женевского Протокола об ограничении выбросов летучих органических соединений или их трансграничных потоков [44] Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. В соответствии с этим документом летучие органические соединения – это все органические соединения антропогенного происхождения, кроме метана, способные производить фотохимические окислители в реакции с окислами азота в присутствии солнечного света. ЛОС охватывает широкий спектр веществ и рассматриваться в качестве технологического показателя, а тем более – маркерного параметра не может.

3.6 Текущие уровни эмиссии и потребления ресурсов в производстве растворимого силиката натрия (специального стекла)

При производстве силиката натрия растворимого чистый выход продукции составляет не менее 75 % от используемых сырьевых материалов. Процесс производства сопровождается образованием выбросов ЗВ (оксидов азота, взвешенных веществ и монооксида углерода), которые поступают в атмосферный воздух. Отходов стекла или самого продукта практически не образовывается, в чрезвычайных случаях он отправляется в печь на переплавку.

3.6.1 Входные потоки (сырьё и энергия)

Сырьевые материалы

Основные исходные сырьевые материалы, используемые при производстве растворимого силиката натрия, приведены в таблице 3.6.1.

Таблица 3.6.1 — Входные и выходные потоки при производстве силиката натрия растворимого

Входные потоки	Виды сырья и энергии
Стеклообразующие материалы	Кварцевый песок
Щелочные оксиды	Сода кальцинированная техническая, содо-сульфатная смесь
Топливо	Природный газ, мазут
Вода	Централизованные источники и местные естественные источники

Сырье для изготовления шихтовой смеси смешивают в заданной пропорции для производства силиката натрия с требуемым составом.

Для варки стекла используются природный газ, мазут и электрическая энергия.

Вода используется для охлаждающих систем печи, охлаждения форм или самого продукта.

Использование энергии

В Российской Федерации стекловаренные печи для производства силиката натрия растворимого работают на природном газе, мазуте и лишь в незначительной степени используют электроэнергию. Срок службы таких печей значительно меньше, чем в производствах стеклотары и листового стекла, он не превышает 6–7 лет из-за большого содержания в составе шихты карбоната натрия, летучие компоненты которого приводят к интенсивному разрушению огнеупоров стекловаренной печи. Энергопотребление значительно увеличивается в зависимости от срока эксплуатации печи и для новых агрегатов составляет от 5,4 до 6,0 ГДж/т сваренной стекломассы. Старение печи приводит к увеличению потребления энергии в среднем на 1,5 % — 2 % в год.

3.6.2 Выбросы в атмосферный воздух

3.6.2.1 Обращение с сырьём

В большинстве технологических процессов производства силиката натрия растворимого сырьевые силосы, смесители шихты и дозировочно смесительные линии снабжены системами аспирации с применением рукавных фильтров (с эффективностью очистки от пыли не менее 95 %) [22].

3.6.2.2 Стекловарение

В производстве растворимого силиката натрия самыми большими потенциальными выбросами в ОС загрязняющих веществ являются выбросы в воздух загрязнителей от деятельности, связанной с варкой стекла.

Обобщённые результаты о различных видах и количестве выбросов ЗВ в воздух приведены в таблице 3.6.2.

Таблица 3.6.2 — Выбросы основных загрязняющих веществ в воздух в производстве силиката натрия растворимого

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	≤15,0
Монооксид углерода (CO)	≤0,5
Пыль неорганическая (суммарно)	≤3,0

В настоящее время не представляется возможным предложить технологический показатель, характеризующий выбросы диоксида серы, обусловленные проведением технологических процессов производства. Данные, содержащиеся в разрешительной документации и в большинстве случаев являющиеся расчетными, требуют уточнения. Такое уточнение может быть сделано на основании результатов специальных исследований. Исследования могут быть, в частности, проведены в ходе разработки доказательной базы (национальных стандартов) в области производственного экологического мониторинга и контроля на предприятиях стекольной промышленности.

Сокращения выбросов добиваются путём оптимизации процесса стекловарения и прежде всего процесса сжигания топлива. Содержание монооксида углерода в отходящих газах при нормальном течении процесса невелико, однако может увеличиваться многократно (но кратковременно) при переводе пламени. Это обстоятельство необхо-

димо учитывать в будущем при разработке требований к производственному экологическому контролю, в том числе в рамках информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения». Подчеркнем, что детальные требования к выбору точек пробоотбора, выполнению измерений (в том числе их периодичности и организации с учётом режимов стекловарения) и проведению расчетов целесообразно систематизировать в специально подготовленном документе по стандартизации, например в национальном стандарте.

3.6.2.3 Формование и охлаждение

Получение конечного продукта заключается в непосредственном охлаждении стекломассы. Способ охлаждения может быть водяным, воздушным и комбинированным (вода + воздух). Для силиката натрия растворимого применяются следующие способы выработки:

- гранулирование при непосредственном охлаждении водой;
- формование на конвейере с охлаждением форм с продуктом.

Доведённый до нужной температуры силикат натрия растворимый складируется в закрытых помещениях.

3.6.3 Производственные сточные воды

Процесс производства растворимого силиката натрия не сопровождается образованием значительных объёмов загрязнённых сточных вод. Напротив, вода используется преимущественно для охлаждения технологического оборудования, а также в малых количествах на хозяйственно-бытовые нужды.

При применении технологии гранулирования с непосредственным охлаждением стекломассы водой образуются большие объёмы загрязнённых сточных вод, от 1000 мг/дм^3 и более взвешенных веществ, которые требуют дополнительной очистки.

Состав сточных вод также зависит от состава исходной воды, поступающей на предприятия. Решения по обращению со сточными водами принимаются в зависимости от особенностей местной ситуации и могут включать как их очистку на предприятиях по производству растворимого силиката натрия с последующим сбросом в водные объекты, так и сброс в централизованные системы водоотведения.

3.6.4 Отходы производства

Технологические процессы производства растворимого силиката натрия не сопровождаются образованием значительного количества отходов. В небольших количествах отходы шихты, пыли, уловленной в фильтрах, вывозятся для захоронения на полигоны.

Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий производства стекла

Процедура определения НДТ производства стекла организована Бюро НДТ и ТРГ-5 «Производство стекла» в соответствии с Правилами определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458) [3].

Определение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве НДТ проведено членами ТРГ-5 с учётом Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии (утверждены приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665) [5] (далее — Методические рекомендации).

При определении технологических процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве НДТ члены ТРГ-5 рассматривали их соответствие следующим критериям:

- наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду (определённый по значениям таких факторов, как выбросы, сбросы ЗВ и образование отходов в расчёте на единицу производимой продукции);

- применение ресурсо- и энергосберегающих методов и достижение высоких показателей ресурсоэффективности (прежде всего энергоэффективности) производства, определённых по потреблению энергии в расчёте на единицу произведённой продукции);

- промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на двух и более предприятиях по производству стекла в Российской Федерации (установленное по результатам дискуссии с практиками, а также, до определённой степени, обработки анкет, поступивших от предприятий);

- период внедрения (в том числе необходимость полной реконструкции предприятия, возможность последовательного улучшения показателей ресурсоэффективности и экологической результативности путём внедрения технических усовершенствований и процедур в рамах систем менеджмента).

Вопросы экономической эффективности рассмотрены только в тех случаях, когда членам ТРГ-5 удавалось получить надёжные данные от отечественных предприятий, внедривших конкретные технологические, технические или управленческие решения, позволяющие достичь высокого уровня защиты ОС и ресурсоэффективности производства.

Рассматриваемые производства характеризуется высокой энергоёмкостью, что обусловливает основные факторы негативного воздействия на ОС. Поэтому при определении первичных («встроенных» в процесс, технологических) и вторичных (технических, имеющих отношение к средозащитной технике) НДТ для отрасли принимали во внимание следующие позиции (с учётом специфики конкретных подотраслей производства стекла) [24]:

а) потребление энергии;

б) выбросы отходящих газов в атмосферу:

- выбросы, обусловленные сжиганием топлива и термической обработкой сырьевых материалов;

- выбросы, связанные с подготовкой сырья и, в ряде случаев, с обработкой изделий;

в) образование отходов и их использование в производстве;

г) образование производственных сточных вод, их очистка (в том числе предварительная) на предприятии и применение водооборотных циклов.

С точки зрения формирования картины загрязнения ОС выбросы, обусловленные сжиганием топлива, содержат кислые газы (оксиды азота и в ряде случаев серы), монооксид и диоксид углерода. Последний относится к парниковым газам и не получает отражения в отчётности по форме 2 ТП-воздух; снижение выбросов диоксида углерода в технологии производства стекла достигается преимущественно путём сокращения энергоёмкости производства. Выбросы отходящих газов, обусловленные подготовкой сырья и обработкой изделий, содержат пыль и должны подвергаться очистке с применением соответствующей средозащитной техники.

Отходы производства в соответствии с требованиями технологических процессов в большинстве случаев могут быть использованы повторно. Практически все производственные отходы предприятий по выпуску стекла относятся к 4-му классу опасно-

сти (в соответствии с СП 2.1.7.1386—03 «Определение класса опасности токсичных отходов производства и потребления» [35]) и при размещении на полигонах не требуют особых мер защиты ОС.

Образование сточных вод рассматривают прежде всего для производства сортового стекла и изделий из хрусталя.

Для всех подотраслей рассматривались также системы экологического менеджмента, в рамках которых осуществляется планирование, разработка программ повышения экологической результативности и ресурсоэффективности, а также их реализация.

Для определения технологических показателей (параметров НДТ) необходимо обеспечить значительный охват предприятий отрасли (подотрасли). Для различных производств доля предприятий, представительность исходных данных и сроки их предоставления варьировали в широких пределах: от отрывочных численных значений до исчерпывающего описания — качественного и количественного) и активного участия специалистов предприятий в процессе определения НДТ.В связи с этим в качестве источников информации о технологических показателях при определении НДТ использованы как сведения, полученные от российских производителей, так и материалы справочника ЕС по наилучшим доступным технологиям «Производство стекла» (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass, 2013) [11], что соответствует пункту 7.1.4 Методических рекомендаций.

Таким образом, определение НДТ для подотраслей производства стекла осуществлено по результатам сравнительного анализа ресурсоэффективности с учётом доступных сведений о технологических параметрах, достигнутых в порядке внедрения НДТ за рубежом.

При подготовке справочника НДТ и определении НДТ производства стекла члены ТРГ-5 в целом следовали логике, описанной в приложении 1 к Методическим рекомендациям, а также в справочнике ЕС «Экономические аспекты и вопросы и воздействия на различные компоненты окружающей среды» (Reference Document on Economics and Cross-Media Effects, 2006) [36]. Последовательность этапов рассмотрения технологических процессов, технических решений и методов при определении НДТ производства стекла представлена на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 — Последовательность этапов рассмотрения технологических процессов, технических решений и методов менеджмента при определении НДТ производства стекла

Раздел 5. Наилучшие доступные технологии производства стекла

Анализ технологических, технических и управленческих решений, используемых для повышения ресурсоэффективности и сокращения негативного воздействия производства стекла на ОС, позволяет заключить, что существует ряд НДТ, применимых во всех подотраслях.

5.1.1 Системы экологического менеджмента

НДТ 1. Системы экологического менеджмента

В настоящем разделе приведено подробное описание систем экологического менеджмента как НДТ.

Системы экологического менеджмента (СЭМ) получили распространение в конце XX века; в настоящее время действуют стандарты ГОСТ Р ИСО 14001—2007 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» и, в течение переходного периода (до трёх лет) ISO 14001:2004 Environmental management systems — Requirements with guidance for use [13] (в 2015 году принята новая версия международного стандарта ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use [14]).

СЭМ представляет собой часть системы менеджмента организации, необходимую для разработки и внедрения экологической политики и управления экологическими аспектами.

Экологический аспект — ключевое понятие СЭМ, позволяющее соотнести деятельность организации и её взаимодействие с ОС. Экологический аспект рассматривается как элемент деятельности организации, её продукции или услуг, который может взаимодействовать с ОС. Использование этого понятия существенно облегчает применение подходов предотвращения загрязнения — предотвращение загрязнения заключается в контроле экологических аспектов, обеспечивающем минимизацию негативного воздействия при условии соблюдения производственных требований. Для промышленных предприятий приоритетные экологические аспекты идентифицируются в результате анализа таких факторов воздействия на ОС, как [15]:

- потребление энергии, сырья и материалов;
- выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;
- сбросы загрязняющих веществ в водные объекты;

- образование отходов.

Ключевыми принципами СЭМ являются предотвращение загрязнения и последовательное улучшение.

Предотвращение загрязнения предполагает применение процессов, практических методов, подходов, материалов, продукции или энергии для того, чтобы избежать, уменьшить или контролировать (отдельно или в сочетании) образование, выброс или сброс любого типа ЗВ или отходов, чтобы уменьшить отрицательное воздействие на ОС. Предотвращение загрязнения может включать уменьшение или устранение источника, изменения процесса, продукции или услуги, эффективное использование ресурсов, замену материалов и энергии, повторное использование, восстановление, вторичную переработку, утилизацию и очистку. Т. е. принцип предотвращения загрязнения полностью соответствует содержанию термина «наилучшие доступные технологии».

Последовательное улучшение (которое часто называют постоянным, хотя точный смысл термина 'continual' — «последовательное») — периодический процесс совершенствования СЭМ с целью улучшения общей экологической результативности, согласующийся с экологической политикой организации.

Процесс последовательного улучшения реализуется путём постановки экологических целей и задач, выделения ресурсов и распределения ответственности для их достижения и выполнения (разработки и реализации программ экологического менеджмента). При этом с точки зрения НДТ экологические задачи (детализированные требования к результативности) должны ставиться с учётом технологических показателей НДТ. Тем самым принцип последовательного улучшения приобретает конкретность, получает численные ориентиры, что соответствует современным взглядам на требования к СЭМ. В связи с тем, что для постановки и проверки выполнения задач СЭМ необходимо обеспечить систему оценки (в том числе и по результатам измерений) показателей результативности, разработка программ экологического менеджмента предполагает и совершенствование практики производственного экологического мониторинга и контроля, включая выбор, обоснование и организацию измерений ключевых параметров. Это тем более важно, что в соответствии со статьёй 22 Федерального закона от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» [1] и отдельные законодательные акты Российской Федерации» предприятия категории I должны будут передавать результаты измерений концентраций ЗВ, содержащихся в выбросах а атмосферный воздух и сбросах в водные объекты, в «государственный фонд данных государственного экологического мо-

ниторинга (государственного мониторинга окружающей среды), создаваемый и используемый в соответствии с законодательством в области охраны окружающей среды».

В общем случае в состав СЭМ входят следующие взаимосвязанные элементы [15]:

- экологическая политика;
- планирование (цели, задачи, мероприятия), программа СЭМ;
- внедрение и функционирование, управление операциями;
- взаимодействие и обмен информацией;
- мотивация персонала;
- подготовка и обучение персонала;
- внутренний аудит СЭМ;
- анализ и оценка СЭМ руководством организации.

Действенность СЭМ обеспечивается путём разработки, внедрения и соблюдения основных процедур, необходимых для управления экологическими аспектами. Процедура представляет собой определённый способ осуществления действия или процесса. Процедуры могут быть документированными или недокументированными. Процедуры определяют последовательность операций и важные факторы этапов различных видов деятельности. В процедуры могут быть включены рабочие критерии нормального выполнения этапа, действия в случае отклонения от нормы или критерии выбора последующих этапов.

Процедуры позволяют обеспечить:

- взаимодействие подразделений для решения задач, вовлекающих более одного подразделения;
- функционирование сложных организационных структур (например, матричных);
- точное выполнение всех этапов важных видов деятельности;
- надёжный механизм изменения действий (в частности, последовательного улучшения);
- накопление опыта и передачу его от специалистов новым работникам.

В связи с тем что значительное негативное воздействие на ОС нередко оказывается в результате возникновения нештатных ситуаций, СЭМ включает требование обеспечения подготовленности к таким ситуациям и разработки ответных действий. Предприятие должно установить, внедрить и поддерживать процедуры, необходимые для выявления потенциально возможных аварий и нештатных ситуаций, которые могут оказывать воздействие на ОС, и для определения того, как организация будет на них реагировать. Предприятие должно также реагировать на возникающие нештатные си-

туации и аварии и предотвращать или смягчать связанные с ними негативные воздействия на ОС. Работоспособность таких процедур целесообразно периодически проверять на практике.

По мнению членов ТРГ-5, в контексте НДТ речь не идёт о сертификации СЭМ предприятий по производству стекла. НДТ следует считать разработку СЭМ, использование ее инструментов и следование её принципам. Практический опыт отечественных предприятий свидетельствует о том, что основные преимущества состоят в использовании ключевых методов СЭМ, в том числе таких, как:

- идентификация экологических аспектов производства (и выделение из их числа приоритетных аспектов);

- укрепление системы производственного экологического контроля;

- разработка и выполнение программ экологического менеджмента и тем самым достижение последовательного улучшения результативности там, где это практически возможно;

- разработка и внедрение процедур, необходимых для обеспечения соответствия организации требованиям нормативов, установленных на основе технологических показателей.

5.1.2 Автоматическое регулирование параметров стекловарения

НДТ 2. Автоматическое регулирование параметров стекловарения

НДТ является контроль температурного режима варки стекла с помощью сводовых и донных термопар и систем автоматического регулирования параметров стекловарения.

5.1.3 Рекуперация тепла отходящих газов

НДТ 3. Рекуперация тепла отходящих газов процесса стекловарения

НТД заключается в частичном использовании тепловой энергии отходящих газов для отопления бытовых и производственных помещений, подогрева шихты и других нужд. Применение данной НДТ позволяет высвободить не менее 0,5 ГДж/т сваренной стекломассы для последующего использования.

5.1.4 Использование стеклобоя

НДТ 4. Использование стеклобоя

НДТ заключается в увеличении количества использования стеклобоя (как стороннего, так и собственного) в производственном процессе путём его добавления в шихту в соответствии с технологическими возможностями и рецептурой. Добавление стеклобоя в шихту позволяет снизить энергопотребление (при добавлении 12 % стеклобоя возможно снижение энергопотребления на 0,2 ГДж/т сваренной стекломассы).

НДТ не распространяется на производство стекловолокна и имеет ограниченное применение в производстве сортового стекла.

5.1.5 Применение рукавных фильтров на линиях подготовки сырья

НДТ 5. Применение рукавных фильтров на линиях подготовки сырья

НДТ заключается в использовании для очистки отходящих газов от пыли рукавных фильтров с эффективностью очистки в пределах 95 — 99 % при загрузке в силосы сыпучих сырьевых материалов или фильтров с выбросом очищенного воздуха в рабочую зону при разгрузке и дозировке сырьевых компонентов шихты и при транспортировке шихты и стеклобоя.

5.2 Наилучшие доступные технологии производства листового стекла

НДТ 6. Флоат-процесс

НДТ для производства листового стекла является флоат-процесс. Применяя эту технологию, можно достичь следующих выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от процесса стекловарения (см. таблицу 5.2.1).

Таблица 5.2.1 — Технологические параметры НДТ 6

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	≤ 12,0
Монооксид углерода (CO)	≤ 1,0
Пыль неорганическая (суммарно)	≤ 1,5

5.3 Наилучшие доступные технологии производства стеклянной тары

НДТ 7. Оптимизация режимов горения в соответствии с долей стеклобоя в шихте (до 50 %)

Наилучшей доступной технологией производства стеклянной тары является оптимизация режимов горения топлива в соответствии с долей стеклобоя в шихте (до 50%).

Выбросы основных загрязняющих веществ от процесса стекловарения при использовании НДТ 2, 4, 5, 7 для производства стеклянной тары не превышают следующих величин (см. таблицу 5.3.1).

Таблица 5.3.1 — Технологические параметры НДТ 2, 4, 5, 7 для производства стеклянной тары

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	≤ 10,0
Монооксид углерода (CO)	≤ 1,0
Пыль неорганическая (суммарно)	≤ 1,5

НДТ 8. Применение секционных стеклоформующих машин (способы Blow-Blow, NNPB)

Наилучшей доступной технологией производства стеклянной тары является использование секционных стеклоформующих машин (способы Blow-Blow, NNPB). Применение частотного регулирования приводами компрессорного, вентиляционного, насосного и конвейерного оборудования повышает его надежность в нештатных ситуациях и снижает энергопотребление в зависимости от загрузки мощностей производства.

Применение НДТ позволяет снизить потребление энергии на производство стеклотары до 9,2 ГДж/т сваренной стекломассы.

5.4 Наилучшие доступные технологии производства сортового стекла

Применении НДТ 2, 5 для производства сортового стекла в степени, соответствующей особенностям производственных процессов, позволяет достичь следующих технологических параметров (см. таблицу 5.4.1):

Таблица 5.4.1 — Технологические параметры НДТ 2, 3, 4, 5 для производства сортового стекла

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	≤ 20,0
Монооксид углерода (CO)	≤ 1,0
Пыль неорганическая (суммарно)	≤ 5,0

5.5 Наилучшие доступные технологии производства стекловолокна

Применении НДТ 2, 5 для производства непрерывного стекловолокна в степени, соответствующей производственному процессу, позволяет достичь следующих технологических параметров (см. таблицу 5.5.1):

Таблица 5.5.1 — Технологические параметры НДТ 2, 3, 4, 5 для производства непрерывного стекловолокна

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	≤ 5,0
Монооксид углерода (CO)	≤ 0,5
Пыль неорганическая (суммарно)	≤ 2,0

5.6 Наилучшие доступные технологии производства растворимого силиката натрия

НДТ 9. Формование растворимого силиката натрия

НДТ для производства растворимого силиката натрия является формование продукта без охлаждения технологической водой подающейся на стекло.

Применении НДТ 2 для производства силиката натрия растворимого позволяет достичь следующих технологических параметров (см. таблицу 5.6.1):

Таблица 5.6.1 — Технологические параметры НДТ 2 для силиката натрия растворимого

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, кг/т сваренной стекломассы
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	≤ 10,0
Монооксид углерода (CO)	≤ 0,5
Пыль неорганическая (суммарно)	≤ 3,0

Раздел 6. Экономические аспекты применения наилучших доступных технологий

Представленные в таблице 6.1 данные взяты из открытых источников и методических документов, подготовленных в Европейском союзе [11; 12, 36].

Оборудование для производства стекла на российском рынке предлагает целый ряд компаний, однако на сайтах этих компаний сведения о ценах не приводятся.

Данные, содержащиеся в настоящем разделе, представляют собой приблизительную оценку затрат на внедрение ряда наилучших доступных технологий, описанных в разделе 5 (см. таблицу 6.1).

Таблица 6.1 — Затраты на внедрение НДТ

Наименование НДТ	Затраты, тыс. руб.
1 Внедрение систем менеджмента	
1.1 Предварительная стадия (в том числе обучение специалистов-менеджеров, оценка исходной ситуации для внедрения)	>250
1.2 Разработка системы	>500
1.3 Внедрение системы	>500
1.4 Сертификация системы	>50
2 Снижение выбросов пыли в производстве стекла	
2.1 Удаление пыли	
2.1.1 Рукавный фильтр	250–800
2.1.2 Централизованный вакуумный пылеуловитель	1800–4000

Приведённые в данной таблице количественные данные следует рассматривать как ориентировочные, и их не следует использовать в тех случаях, когда существуют основания для более точных оценок (например, представленные сметы на закупку оборудования по пыле- и газоочистке).

Раздел 7. Перспективные технологии производства стекла

7.1 Системы энергетического менеджмента

С 1970-х годов в различных государствах были разработаны национальные стандарты в области систем энергетического менеджмента (СЭнМ). В 2011 году опубликован международный стандарт ISO 50001:2011 Energy management systems — Requirements with guidance for use, а в 2012 году — ГОСТ Р ИСО 50001—2012 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению» [16, 17].

СЭнМ представляет собой часть системы менеджмента организации и включает набор (совокупность) взаимосвязанных или взаимодействующих элементов, используемых для разработки и внедрения энергетической политики и энергетических целей, а также процессов и процедур для достижения этих целей.

СЭнМ позволяет сформулировать обоснованные цели и задачи в области повышения эффективности использования энергии на предприятии и обеспечить их достижение (решение) путём реализации программ, охватывающих все стадии производственного процесса — от планирования закупок оборудования до организации отгрузки готовой продукции. Следует отметить, что в соответствии со статьёй 28 (пункт 4) Федерального закона от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» [1], «применение ресурсо- и энергосберегающих методов» отнесено к ключевым критериям «достижения целей охраны окружающей среды для определения наилучшей доступной технологии».

Для энергоёмких отраслей, к которым относится и производство стекла, значимость СЭнМ весьма высока.

С точки зрения НДТ основные численные показатели обычно представляют как удельное потребление энергии (в расчёте не единицу продукции) — как на отдельных стадиях (наиболее энергоёмких), так и в процессе производства в целом. Именно в размерности сокращения удельных затрат энергии топлива, пара, электроэнергии и других ресурсов обычно ставятся цели и задачи повышения энергоэффективности, потенциально важные для обеспечения соответствия предприятий НДТ.

В связи с тем что для постановки и проверки выполнения задач СЭнМ необходимо обеспечить мониторинг и измерение показателей, связанных с потреблением и использованием энергии, разработка программ энергетического менеджмента предполагает и совершенствование практики учёта и контроля, включая выбор, обоснование и организацию измерений ключевых параметров.

Особенности российского климата (в том числе региональные) определяют достаточно существенные отличия в потреблении энергии, необходимой для подготовки сырья, материалов, отопления производственных помещений, от показателей, характерных, например, для средиземноморских компаний, выпускающих стекло. Но для постановки обоснованных целей и задач в области повышения энергоэффективности производства необходимо чётко знать и документировать распределение потребления энергии на различные нужды.

В общем случае в состав СЭнМ входят следующие взаимосвязанные элементы:

- энергетическая политика;
- планирование (цели, задачи, мероприятия), программа СЭнМ;
- внедрение и функционирование, управление операциями;
- взаимодействие и обмен информацией;
- мотивация персонала;
- подготовка и обучение персонала;
- внутренний аудит СЭнМ;
- анализ и оценка СЭнМ руководством организации.

Действенность СЭнМ обеспечивается путём разработки, внедрения и соблюдения основных процедур, т. е. способов (в том числе документированных) осуществления действия или процесса.

В связи с тем что воздействие предприятий по производству стекла в значительной степени обусловлено именно высокой энергоёмкостью технологических процессов, СЭнМ могут стать как инструментами повышения энергоэффективности, так и инструментами сокращения негативного воздействия на ОС. Такая позиция согласуется и с рекомендациями, применяемыми в этой отрасли и за рубежом [18, 19, 40].

7.2 Перспективные технологические и технические решения, общие для производства всех видов стекла

В число перспективных входят применимые ко всем производствам технические и управленческие решения:

- применение горелок с пониженным образованием оксидов азота (NO_x);
- обогащение воздуха, подаваемого для сжигания топлива, кислородом;
- использование систем энергетического менеджмента (или их инструментов).

Уточнение перечня перспективных технологических и технических решений предполагает проведение широкомасштабных консультаций с практиками, в том числе

в части ожиданий вывода на рынок отечественного оборудования, применимого для повышения энергоэффективности и экологической результативности производства стекла.

Заключительные положения и рекомендации

Настоящий справочник НДТ подготовлен ТРГ-5.

При подготовке справочника НДТ были использованы материалы, полученные от российских производителей стекла в ходе обмена информацией, организованного Бюро НДТ в 2015 году. Кроме того, составители справочника НДТ учитывали результаты отечественных научно-исследовательских работ, маркетинговых исследований и др.

В связи с тем что обмен информацией был проведён в чрезвычайно сжатые сроки и получить надёжные данные по ряду подотраслей производства для Российской Федерации не представилось возможным, при написании справочника НДТ были использованы также зарубежные материалы — справочный документ по НДТ, выпущенный в Европейском союзе в 2013 году [11] и отраслевые руководства, обзоры и статьи, опубликованные в последние годы [41, 42].

Общее заключение, которое можно сделать в результате подготовки настоящего справочника НДТ, состоит в том, что ведущие отечественные компании активно занимаются внедрением современных технологических процессов и оборудования, разрабатывают программы повышения энергоэффективности и экологической результативности производства. Однако цели, задачи и ожидаемые результаты перехода к технологическому нормированию на основе НДТ руководители предприятий понимают и оценивают по-разному. Ожидания промышленников связаны с уменьшением административной нагрузки и упрощением системы государственного регулирования в сфере охраны ОС, опасения — с неопределённым порядком правоприменения и вероятностью установления недостижимых технологических нормативов. По всей вероятности, отказ некоторых производителей стекла от участия в обмене информацией и от предоставления необходимых для разработки справочника НДТ сведений вызван именно опасениями руководителей предприятий и их неготовностью к переменам.

Рекомендации составителей справочника НДТ основаны на сделанном заключении:

1. Для продвижения идеи перехода к НДТ необходимо организовать масштабную информационно-просветительскую кампанию и систему подготовки (повышения квалификации, дополнительного профессионального образования) кадров. Обсуждение

сути перемен призвано подготовить к ним предприятия и разъяснить основные мотивы и стимулы экологической модернизации отечественной экономики.

2. Определённые составителями справочника НДТ и технологические показатели могут и должны быть в ближайшее время уточнены при участии российских промышленников. Для этого необходимо привлечь их внимание при поддержке профильных ассоциаций, центров стандартизации и метрологии, а также управлений Росприроднадзора по субъектам федерации, высших учебных заведений, консультационных компаний, проектных и других организаций.

3. Действенным инструментом актуализации справочника НДТ могут и должны стать пилотные проекты, к участию в которых необходимо привлечь не только 5–10 ведущих компаний, но и представителей всех предприятий по производству стекла (на уровне предоставления данных, посещения промплощадок, консультаций с составителями справочника НДТ).

Процесс совершенствования справочника НДТ должен отражать принцип последовательного улучшения — основной принцип современных систем менеджмента. Составители настоящего справочника НДТ надеются, что коллеги готовы разделить эту позицию и поддержать совершенствование документа и продвижение НДТ в отечественном производстве стекла.

Приложение А
(обязательное)

Номенклатура продукции, включенной в область применения ИТС

Номенклатура продукции, включенной в область применения данного справочника:

Код ОКПД*	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД**	ОКВЭД
23.1	Стекло и изделия из стекла	РАЗДЕЛ D обрабатывающие производства Подраздел DI производство прочих неметаллических минеральных продуктов Производство прочих неметаллических минеральных продуктов	26.
23.11	Стекло листовое	Производство стекла и изделий из стекла	26.1.
23.11.1	Стекло листовое	Производство листового стекла (производство листового стекла, включая армированное, окрашенное, матовое, накладное, с поглощающим или отражающим слоем)	26.11.
23.11.12	Стекло листовое термически полированное и стекло листовое с матовой или полированной поверхностью, но не обработанное другим способом		26.12

Код ОКПД*	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД**	ОКВЭД
23.19.26	Изделия из стекла, не включенные в другие группировки	Производство прочих изделий из стекла, не включенных в другие группировки	26.15.8
23.13	Стекло полое	Производство полых стеклянных изделий (производство стеклянной тары, включая укупорочные средства, кроме ампул – производство сосудов для питья (стаканов бокалов, фужеров и т.п.) из хрусталя и стекла – производство стеклянных изделий для сервировки стола и для кухни, кроме сосудов для питья, декоративных украшений, туалетных и канцелярских принадлежностей – производство стеклянных деталей для сосудов Дьюара и прочих вакуумных сосудов)	26.13
23.13.1	Стекло полое		
26.13.11	Бутылки, банки, флаконы и тара из стекла прочая, кроме ампул; пробки, крышки и средства укупорочные из стекла прочие		
23.13.12	Стаканы и прочие сосуды стеклянные для питья, кроме стеклокерамических		

Код ОКПД*	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД**	ОКВЭД
23.13.13	Посуда из стекла столовая и кухонная, принадлежности из стекла туалетные и канцелярские, украшения для интерьера и аналогичные изделия из стекла		
23.14	Стекловолокно	Производство стекловолокна (производство стекловолокна, в том числе стекловаты, ровинга и нетканых материалов из него – производство тепло- и звукоизоляционных изделий с преобладанием стекловаты по объему)	26.14
23.14.1	Стекловолокно		
23.14.11	Ленты, ровинг (ровница) и пряжа из стекловолокна, стекловолокно рубленное		
23.19	Стекло прочее, включая технические изделия из стекла	Производство и обработка прочих стеклянных изделий	26.15

* ОК 034—2014 (КПЕС 2008) «Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности».

** ОК 029—2014 (КДЕС РЕД. 2) «Общероссийский классификатор видов экономической деятельности».

Приложение Б

(обязательное)

Перечень маркерных веществ

Загрязняющее (маркерное) вещество для отходящих газов (производство всех видов стекла)
Оксиды азота в пересчёте на NO_2
Монооксид углерода (CO)
Пыль неорганическая (суммарно)

Приложение В

(обязательное)

Перечень технологических показателей

Листовое стекло

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	кг/т	≤ 12,0
Монооксид углерода (CO)	кг/т	≤1,0
Пыль неорганическая (суммарно)	кг/т	≤1,5

Тарное стекло

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	кг/т	≤ 10,0
Монооксид углерода (CO)	кг/т	≤ 1,0
Пыль неорганическая (суммарно)	кг/т	≤1,5

Сортовое стекло

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	кг/т	≤ 20,0
Монооксид углерода (CO)	кг/т	≤ 1,0
Пыль неорганическая (суммарно)	кг/т	≤ 5,0

Непрерывное стекловолокно

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	кг/т	≤ 5,0
Монооксид углерода (CO)	кг/т	≤ 0,5
Пыль неорганическая (суммарно)	кг/т	≤ 2,0

Силикат натрия растворимый

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Оксиды азота в пересчёте на NO_2	кг/т	≤10,0
Монооксид углерода (CO)	кг/т	≤ 0,5
Пыль неорганическая (суммарно)	кг/т	≤ 3,0

Приложение Г
(обязательное)

Перечень НДТ

Номер НДТ	Наименование НДТ	Примечание
1	Системы экологического менеджмента	Все подотрасли
2	Автоматическое регулирование параметров стеклования	Все подотрасли
3	Рекуперация тепла отходящих газов процесса стеклования	Неприменима для печей производительностью менее 200 т/сут
4	Использование стеклобоя	Неприменимо в производстве стекловолокна и имеет ограниченное применение в производстве сортового стекла.
5	Применение рукавных фильтров на линиях подготовки сырья	Все подотрасли
6	Флоат-процесс	Применим в производстве листового стекла
7	Оптимизация режимов горения в соответствии с долей стеклобоя в шихте (до 50 %)	Применима в производстве тарного стекла
8	Применение секционных стеклоформующих машин (способы Blow-Blow, NNPB)	Применимо в производстве стеклотары
9	Формование и охлаждение стекла сухим способом	Применимо для силиката натрия растворимого

Приложение Д
(обязательное)

Энергоэффективность

1. Краткая характеристика отрасли с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Производство стекла – весьма энергоемкий процесс, поэтому источник энергии, методы нагрева и утилизации теплоты являются определяющими для разработки конструкции печи, энергоэффективности и экономической эффективности процесса. Те же факторы определяют экологическую результативность процесса.

Выбор метода стекловарения определяется экономическими и технологическими факторами, основные из которых следующие: требуемая производительность, состав стекла, связанные капитальные и текущие затраты в течение продолжительности кампании печи, в т.ч. цены на топливо, существующая инфраструктура. При этом технологические и экономические требования являются определяющими. Важная часть текущих затрат – это затраты на энергию, и обычно выбирают наиболее энергоэффективную возможную конструкцию.

В стекольной промышленности Российской Федерации в качестве основного вида топлива практически повсеместно применяется природный газ. Кроме того, в производстве стекла используется электроэнергия и в ряде случаев – мазут **(см. раздел 1.2)**.

Удельный расход энергии рассмотрен для различных подотраслей. При производстве различных видов продукции удельное потребление энергии изменяется от 6 до 60 ГДж / т и может рассчитываться как на единицу сваренной стекломассы, так и на единицу готовой продукции.

2. Основные технологические процессы, связанные с использование энергии

В среднем, энергия, необходимая для стекловарения, составляет около 75 % совокупной энергии, требующейся для производства продукции из стекла. Стоимость энергии для стекловарения является одной из самых значительных статей расходов для стекольных предприятий, что служит стимулом для разработки и внедрения решений, направленных на повышение энергоэффективности стекловарения.

Основные решения, направленные на повышение энергоэффективности производства стекла, закладываются на стадии проектирования и прежде всего – при выборе типа стекловаренной печи (**см. раздел 2.1.3**).

Детальное обсуждение методов повышения энергоэффективности варки стекла в целом обсуждается в **разделах 2.1.2** (Варка стекла) и **2.1.3** (Стекловаренные печи), а также в разделах, посвященных технологиям производства различных видов продукции (**разделы 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6**).

Технологические процессы, связанные с хранением, подготовкой и измельчением **сырьевых** материалов, описаны **в разделах 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6**.

Использование стеклобоя в составе шихты, позволяющее сократить удельный расход энергии, затрачиваемой на стекловарение, обсуждается **в разделах 3.2.4, 3.3.4, 3.4.4, 3.6.4.**

3. Уровни энергопотребления

Потребление энергии на стекловарение при производстве листового стекла варьирует в интервале от 6,3 до 10,5 ГДж/т сваренной стекломассы, в основном в зависимости от производительности и возраста печи, со средним значением около 8 ГДж/т стекломассы (**см. раздел 3.2.1**).

Потребление энергии на стекловарение при производстве стеклянной тары достигает 13,2 ГДж/т сваренной стекломассы; на большинстве предприятий потребление энергии не превышает 10,0 ГДж/т сваренной стекломассы (**см. раздел 3.3.1**).

В производстве сортовой посуды и особенно изделий из хрусталя целесообразно рассматривать общее энергопотребление, которое может достигать 60 ГДж/т готовой продукции (**см. раздел 3.4.1**).

Потребление энергии при производстве стекловолокна составляет 14-16 ГДж/т готовой продукции (**см. раздел 3.5.1**).

Потребление энергии при производстве силиката натрия для новых агрегатов составляет не более 6,0 ГДж/т сваренной стекломассы. Старение печи приводит к увеличению потребления энергии в среднем на 1,5 % — 2 % в год (**см. раздел 3.6.1)**

4. Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энерго- и ресурсоэффективности производства

Основные наилучшие доступные технологии производства стекла определены как НДТ повышения энергоэффективности (**см. раздел 5**). К ним отнесены частичное использование тепловой энергии отходящих газов для отопления бытовых и производ-

ственных помещений, подогрева шихты и других нужд, позволяющее высвободить не менее 0,5 ГДж/т сваренной стекломассы для последующего использования; увеличении количества использования стеклобоя (как стороннего, так и собственного) в производственном процессе путём его добавления в шихту, что позволяет снизить энергопотребление (при добавлении 12 % стеклобоя возможно снижение энергопотребления на 0,2 ГДж/т сваренной стекломассы).

Номер и наименование НДТ	Раздел/пункт справочника
НДТ 1. Системы экологического менеджмента	5.1
НДТ 2. Автоматическое регулирование параметров стекловарения	5.2
НДТ 3. Рекуперация тепла отходящих газов процесса стекловарения	5.3
НДТ 4. Использование стеклобоя	5.4

5. Экономические аспекты реализации НДТ, направленные на повышение энерго- и ресурсоэффективности производства

Оборудование для производства стекла на российском рынке предлагает целый ряд компаний, однако на сайтах этих компаний сведения о ценах не приводятся. Данные о приблизительной оценке затрат на внедрение ряда современных систем менеджмента, направленных на повышение ресурсоэффективности производства и описанных в разделе 5, приведены в **разделе 6**.

6. Перспективные технологии, направленные на повышение энерго- и ресурсоэффективности производства **(см. раздел 7)**.

К перспективным технологиям и решениям отнесены следующие:

- обогащение воздуха, подаваемого для сжигания топлива при стекловарении, кислородом;

- использование систем энергетического менеджмента (или их принципов инструментов).

Библиография

1. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ (ред. от 29.12.2014) «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

2. Федеральный закон от 29 июня 2015 г. № 162–ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 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».

4. «Поэтапный график создания в 2015 – 2017 годах отраслевых справочников наилучших доступных технологий», утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178–р (с изменениями от 29 августа 2015 г. № 1678-р).

5. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665 «Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологий в качестве наилучшей доступной технологии».

6. Постановление Правительства РФ от 28 декабря 2015 г. № 1029 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III, IV категорий».

7. «Перечень областей применения наилучших доступных технологий», утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р.

8. ПНСТ 21–2014 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно–технического справочника.

9. ПНСТ 22–2014 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения.

10. ПНСТ 23–2014 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий.

11. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass, 2013. URL:

gost.e-ecolog.ru

12. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) / Директива от 24 ноября 2010 г. № 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета Евро-

пейского Союза «О промышленных выбросах (о комплексном предотвращении и контроле загрязнения».

13. ГОСТ Р ИСО 14001—2007 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

14. ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use.

15. Системы экологического менеджмента: практический курс / С. Ю. Дайман, Т. В. Гусева, Е. А. Заика, Т. В. Сокорнова. – М.: Форум, 2010.

16. ГОСТ ISO 9000—2005 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

17. ГОСТ Р ИСО 50001—2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.

18. Комплексное предотвращение и контроль загрязнения окружающей среды. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям. Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды, 2006. URL:

gost.e-ecolog.ru

19. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Economics and Cross-Media Effects, 2006. URL:

gost.e-ecolog.ru

20. Wolfgang Trier. Glass Furnaces. Design Construction and Operation – Springer-Verlag, 1984.

21. Бухгалтер Л.Б., Акользин А.П., Михайленко Н.Ю. Методологические подходы разработки экологически безопасных производств в стекольной промышленности // Экология и промышленность России. 2000. № 11. С.27-29.

22. Шапилова М.В., Тимофеева И.Т. Охрана окружающего воздуха в стекольной промышленности. – М.: Легпромбытиздат, 1992.

23. Чехов О.С., Назаров В.И., Калыгин В.Г. Вопросы экологии в стекольном производстве. – М.: Легпромбытиздат, 1990.

24. Гусева Т. В. Основные направления снижения воздействия промышленности на состояние охраняемых природных комплексов // Экологические системы и приборы. 2000. № 11. С.40-48.

25. Панкова Н.А., Михайленко Н.Ю. Стекольная шихта и практика ее приготовления. – М., РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1997.

26. Мелконян Р.Г. Аморфные горные породы и стекловарение, М.: НИА-Природа, 2002.

27. Гулоян Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий. Владимир: Транзит-Икс, 2003.

28. 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.

29. Маневич В.Е., Субботин К.Ю., Ефременков В.В. Сырьевые материалы, шихта и стекловарение, М.: РИФ «Стройматериалы», 2008.

30. Гулоян Ю.А. Физико-химические основы технологии стекла – Владимир: Транзит-Икс, 2008.

31. Дзюзер В.Я., Швыдкий В.С. Проектирование энергоэффективных стекловаренных печей, М: Теплотехник, 2009.

32. Михайленко Н.Ю., Орлова Л.А. Типы и виды стекла и стекломатериалов. Терминологический справочник, М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012.

33. Технология стекла. Справочные материалы под ред. П.Д. Саркисова, В .Е. Маневича, В.Ф. Солинова, К.Ю. Субботина, М..РХТУ им. Д. И. Менделеева: 2012.

34. Севастьянов Р.И. Электрическая варка стекла, М.: Издатель И. В. Балабанов, 2012.

35. СП 2.1.7.1386—03 «Определение класса опасности токсичных отходов производства и потребления».

36. Справочник ЕС «Экономические аспекты и вопросы и воздействия на различные компоненты окружающей среды» (Reference Document on Economics and Cross-Media Effects, 2006).

37. Справочник по наилучшим доступным техническим методам использования энергии в стекольной промышленности. Производство сортового и тарного стекла. М.: Эколайн, 2005.

38. Гутников С.И., Лазоряк Б.И., Селезнев А.Н. Стеклянные волокна. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова,2010.

39. Печников А. В. Поступление и распределение тяжелых металлов в пределах охраняемых природных комплексов Владимирской Мещеры : автореферат дис. ... кандидата химических наук : 11.00.11 / Рос. химико-технологич. ун-т. Москва, 1998.

40. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. – М.: Эколайн, 2012.

41. Energy conservation in glass industry. UNIDO, 1993. URL:

gost.e-ecolog.ru

42. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers, 2008. URL: gost.e-ecolog.ru

43. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды в Российской Федерации». URL: gost.e-ecolog.ru

44. Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. URL: gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru