



# РЕЦИКЛИНГ СТЕКЛА

МОНОГРАФИЯ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

НИУ «Московский государственный строительный университет»  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»



# РЕЦИКЛИНГ СТЕКЛА

Монография

Йошкар-Ола  
ПГТУ  
2021

УДК 628.477:691.6

ББК 30.69:38.639.6

Р 45

**Авторы:** С. В. Федосов, Ю. А. Щепочкина, В. Е. Румянцева,  
В. С. Коновалова, В. Г. Котлов

**Рецензенты:** директор научно-исследовательского института Академии развития строительного комплекса Воронежского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор, академик РААСН **Е. М. Чернышов**;

декан строительного факультета Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор, иностранный член РААСН **С. Н. Леонович**;

доктор химических наук, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета **Р. И. Винокурова**

**Рециклинг стекла** : монография / С. В. Федосов, Ю. А. Щепочкина, В. Е. Румянцева и др.; Мин-во науки и высшего образования РФ; ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»; НИУ «Московский государственный строительный университет»; ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет». – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2021. – 202 с.  
ISBN 978-5-8158-2242-9

Рассмотрены различные виды отходов стекла, приведены их классификации. Указаны основные направления, проблемы и перспективы рационального использования как вторичного сырья для производства строительных и декоративно-отделочных материалов.

Изложенный материал, кроме теоретического, имеет практическое значение для строительных организаций, будет полезен административно-хозяйственным и инженерно-техническим работникам, студентам, обучающимся по строительным и природоохранным направлениям, а также всем, кто интересуется экологической тематикой.

УДК 628.477:691.6

ББК 30.69:38.639.6

ISBN 978-5-8158-2242-9

© Федосов С. В., Щепочкина Ю. А.,  
Румянцева В. Е., Коновалова В. С.,  
Котлов В. Г., 2021

© Поволжский государственный  
технологический университет  
(оригинал-макет), 2021

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<i>Предисловие</i> .....	5
--------------------------	---

<i>Введение</i> .....	7
-----------------------	---

<b>Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕКЛА И ОТХОДОВ ИЗ НЕГО</b> .....	9
--	---

<b>Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТЕКЛА: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ</b> .....	14
---	----

2.1. Строительное листовое стекло .....	14
---	----

2.2. Стекланные трубы, пеностекло .....	28
---	----

2.3. Сортовое обычное, художественное, цветное листовое, узорчатое стекло, марблит, светотехническое стекло .....	32
--	----

2.4. Кроны, флинты .....	44
--------------------------	----

2.5. Тарное стекло .....	46
--------------------------	----

2.6. Электротехническое, термометрическое стекло .....	51
--	----

2.7. Электровакуумное стекло .....	56
------------------------------------	----

2.8. Химико-лабораторное стекло .....	62
---------------------------------------	----

2.9. Медицинское стекло .....	69
-------------------------------	----

2.10. Кварцевое стекло .....	72
------------------------------	----

<b>Глава 3. ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА, СОРТИРОВКА И ТРАНСПОРТИРОВКА ОТХОДОВ СТЕКЛА</b> .....	75
--	----

3.1. Сбор отходов стекла на предприятиях .....	75
--	----

3.2. Сбор отходов стекла от населения .....	77
---	----

3.3. Извлечение отходов стекла из отвалов .....	81
---	----

3.4. Сортировка отходов стекла .....	83
--------------------------------------	----

3.5. Транспортировка и подготовка к переработке отходов стекла .....	99
---	----

## **Глава 4. ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ**

<b>СТЕКЛА .....</b>	<b>104</b>
4.1. Очистка отходов стекла от загрязнений.....	105
4.2. Работа с ртутьсодержащими отходами стекла .....	123
4.3. Дробление и помол отходов стекла .....	139
4.4. Основные направления утилизации отходов стекла .....	154
 <i>Заключение.....</i>	 169
<i>Словарь терминов.....</i>	170
<i>Библиографический список .....</i>	185
<i>Сведения об авторах.....</i>	200

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателей монография «Рециклинг стекла» посвящена актуальным проблемам переработки, утилизации и вторичного использования стеклоотходов. Стеклобой рассматривается авторами как вторичный сырьевой материал, который может составлять основу для производства многих полезных и нужных изделий, что открывает новые возможности для решения практических и изобретательских задач. Авторами представлен ряд интересных технических решений (изобретений) с использованием стеклобоя.

Излагаемый материал структурирован в четыре главы.

*Первая глава* монографии содержит обзор различных классификаций стекла и отходов из него. Приведены классификации стекол в зависимости от стеклообразующего оксида и химического состава, назначения, цвета. Разделение стеклобоя на группы показывает пути рационального использования определенных его видов в производстве строительных материалов и изделий.

Во *второй главе* дана подробная характеристика различных видов стекла. Показаны сферы и перспективы применения стекол в различных отраслях промышленности. Представлены физические характеристики и параметры, химический состав и свойства стекол.

*Третья глава* посвящена мероприятиям, связанным со сбором отходов стекла. Здесь содержатся сведения о существующих способах сортировки стеклобоя, его транспортировке, хранении и подготовке к переработке. Приведен обзор основных методов отделения стеклобоя от других твердых бытовых и промышленных отходов. Описаны технологии и принцип работы оборудования и установок для сортировки отходов стекла на предприятиях

по переработке отходов. Проанализирован зарубежный опыт работы в этом направлении таких стран, как Австралия, Беларусь, Великобритания, Венгрия, Германия, Казахстан, Канада, Польша, Чехия, Швейцария, США.

В *четвертой главе* представлены основные процессы переработки стеклоотходов: мойка, дробление и помол, направления утилизации. При этом (ввиду особой значимости проблемы) авторами отдельно рассмотрены этапы работы с ртутьсодержащими отходами стекла. Подробно описаны и проиллюстрированы технологии и оборудование, применяемые для переработки стеклобоя в России и за рубежом. Большое внимание уделено такому значимому направлению использования стеклобоя, как производство строительных и декоративно-отделочных материалов.

В конце монографии представлен словарь терминов, в котором даны определения встречающимся в тексте названиям различных видов стекла и изделий из них.

Авторы постарались изложить материал достаточно лаконично и доступно и для широкого круга специалистов, и для обучающихся строительных и природоохранных направлений подготовки, и надеются, что знакомство с данной книгой будет полезно также административно-хозяйственным и инженерно-техническим работникам и всем, кого интересуют проблемы экологии и ресурсосберегающих технологий.

## ВВЕДЕНИЕ

Стеклоянная упаковка (банки, бутылки) – один из наиболее используемых в производстве пищевых продуктов видов упаковки. Однако лишь небольшая часть использованной стеклянной упаковки возвращается в производство и используется повторно, основная ее масса по разным причинам (повреждение, несоответствие стандарту и т.п.) выбрасывается в отвалы.

При этом забывается, что стекло – это наиболее трудно утилизируемый отход, на протяжении столетий наносящий серьезный ущерб экологии, а кроме того, это и ценный материал, на получение которого уже затрачены не только природное сырье, но и значительные энергетические ресурсы (для получения 1 т стекла необходимо 300,6 у.т. [1]).

В последние два десятилетия в России наблюдается увеличение объемов образования стеклобоя. Как сократить рост этого отхода? Каким образом поступить с накопившимся неиспользованным стеклобоем? Во многих странах эти актуальные вопросы ждут своего решения.

Значительную часть объема стеклобоя составляет бой стеклотары. Ежегодно только в России производят 1800–1850 млн стеклянных бутылок, еще до 700 млн бутылок импортируется [2]. Стеклотару применяют для фасовки, хранения, транспортировки жидких, пастообразных, твердых продуктов. Но почему стеклотара и её бой накапливаются в отвалах? Это обязывает подходить к проблемам выпуска, импорта и использования стеклотары с позиций не только сегодняшнего, но и завтрашнего дня [3].

Одной из причин выхода стеклотары из оборота является ее форма, имеющая выпукло-вогнутые элементы, отформованные на боковой части фирменные знаки, надписи и т.п., выполненные под видом «дизайнерских» проработок, «творческого» подхода и индивидуальных заказов (заказчик заинтересован в продаже сво-



ей продукции и саморекламе, ему безразлично, что будет со стеклотарой в дальнейшем). Такая стеклотара практически не возвращается в оборот и выбрасывается за ненадобностью. Исключения могут составлять только «сувенирные» (художественные) изделия с высокой вероятностью их последующего многократного использования в быту [4]. Вместе с тем необходимо учитывать, что стоимость «сувенирных» стеклоизделий более чем в 20 раз превышает стоимость стандартных [2].

Таким образом, одной из основных причин роста объёмов отходов стекла является исключение значительной части стеклотары из повторного/многократного оборота. Например, в 1987 году через приемные пункты на заводы возвращалось до 95 % бутылок, в 1995 году – только 45 %, в настоящее время – около трети стеклопосуды [2]. Огромная часть выпускаемой в настоящее время стеклотары не соответствует по ряду показателей современным требованиям. В связи с этим необходимо критически пересмотреть номенклатуру выпускаемой и намеченной к выпуску стеклотары с учетом существующих потребностей, в первую очередь в наиболее массовых, эффективных и конкурентоспособных ее видах (узкогорлая (500–1000 мл) и широкогорлая (500–10000 мл) тара). Что касается составов стекол, используемых при изготовлении стеклотары, то можно считать, что они отработаны, обладают необходимыми свойствами и (за некоторым исключением) экономически выгодны, в том числе и в виде стеклобоя.

Не лучше обстоят дела и с другими стеклоизделиями: колбами ламп, отработавшими кинескопами, ампулами, обрезками листового стекла и др. [3]. При сохранении существующего положения эти стеклоизделия вместе с невозвратной стеклотарой ускоряют приближение масштабной экологической катастрофы. Поэтому важно использовать стеклобой в промышленном производстве новых материалов и изделий. Необходим повсеместный сбор различных видов отходов стекла с последующей сортировкой по принципу бывшего назначения изделия из стекла.

## ГЛАВА 1

### КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕКЛА И ОТХОДОВ ИЗ НЕГО

В зависимости *от стеклообразующего оксида*, на основе которого изготавливают стекло, выделяют следующие виды стекла [5]:

- силикатное – на основе двуокиси кремния  $\text{SiO}_2$ ;
- алюмосиликатное – на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$ ;
- боратное – на основе окиси бора  $\text{B}_2\text{O}_3$ ;
- боросиликатное – на основе  $\text{B}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$ ;
- бороалюмосиликатное – на основе  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ;
- фосфатное – на основе фосфорного ангидрида  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;
- алюмофосфатные – на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;
- бороалюмофосфатные – на основе  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;
- алюмосиликофосфатные – на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;
- фосфорванадатные – на основе  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ;
- силикотитанатные – на основе  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ;
- силикоцирконатные – на основе  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ .

Наряду с перечисленными химическими соединениями в состав стекол входят оксиды натрия ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ), кальция ( $\text{CaO}$ ), магния ( $\text{MgO}$ ), бария ( $\text{BaO}$ ), свинца ( $\text{PbO}$ ), цинка ( $\text{ZnO}$ ), марганца ( $\text{MnO}$ ), меди ( $\text{CuO}$ ) [6–8].

В зависимости *от назначения* промышленное стекло подразделяют [6, 9, 10]:

- на строительное: листовое оконное и витринное, листовое армированное, строительно-декоративное, облицовочное, тепло-

и звукоизоляционное, мебельное стекло, конструктивно-строительные элементы (стеклянные пустотельные блоки, профилированное стекло), архитектурно-художественное (листовое цветное стекло, стеклянная мозаика и облицовочная плитка), узорчатое;

- техническое (химико-лабораторное, очковая оптика);
- электровакуумное;
- оптическое;
- тарное (банки и бутылки);
- сортовое (художественные изделия из стекла).

Основные виды бытовых отходов стекла:

- 1) стеклотара (бутылки, банки);
- 2) стеклобой.

Стеклобой принято квалифицировать по цвету (ГОСТ 34035-2016. Упаковка стеклянная. Бой для стекловарения. Общие технические условия; ГОСТ Р 52022-2003. Тара стеклянная для пищевой и парфюмерно-косметической продукции. Марки стекла): ПСТ – полубелый тарный стеклобой; ЗС – зеленый; БС – бесцветный; ПСЛ – полубелый листовой; КС – коричневый; СС – смешанный.

Для последующего использования отходы стекла предлагается [11] разделить на 10 групп с учетом химического состава (табл. 1):

I. Строительное листовое стекло (лодочное, безлодочное), полированное флоат-способом, профильное щелочное;

II. Профильное стекло бесщелочное, стеклянные трубы, пеностекло;

III. Сортное обычное, художественное, цветное листовое, узорчатое, марблит, светотехническое;

IV. Хрустальное, кроны, флинт;

Таблица 1

*Химический состав стекла, масс. % [12, 13], его группа [11]*

Стекло	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	BaO
1	2	3	4	5	6	7	8
Строительное листовое:							
- лодочное	71,7–72,4	–	1,75–2,05	0,06–0,12	6,7–7,1	3,9–4,3	–
- безлодочное	72,6	–	1,5	–	8,0	–	–
Полированное флоат-способом	72,36	–	1,39	0,125	9,17	3,13	–
Профильное щелочное	72,5–72,9	–	1,5	–	9,0–9,1	3,3–4,0	–
Профильное бесщелочное	63,5	–	15,5	–	13,0	4,0	–
Стеклообразные трубы	62,7–63,5	–	15,5–15,6	0,07	13,0–13,5	4,0–4,2	–
Пеностекло	72,5	–	1,87	0,18	6,7	4,1	–
Сортовое обычное	60,8–74,5	4,0–4,8	0,5–7,9	–	5,8–7,3	2,0–3,6	–
Светотехническое	57,3–80,1	1,0–14,0	0,4–11,8	–	0,4–9,0	0,1–5,0	0,5–6,0
Сортовое хрустальное	61,5–63,0	1,0	0,5	–	0,5–1,0	–	–
Тарное:							
- полубелое	71,75–73,2	–	2,1–3,7	0,1–0,35	9,4–10,0	–	–
- темное	59,85–71,4	–	1,0–11,58	1,1–1,65	6,2–9,3	1,0–4,0	–
Электротехническое	72,0–77,0	–	0,3–2,7	–	0,8–9,5	0,2–3,9	–
Термометрическое	67,5	2,0	2,5	7,0	–	–	7,0
Электровакуумное:							
- для колб, ламп накаливания	71,9	–	–	–	5,5	2,0	–
- для ламп дневного света	69,5	–	–	–	5,5	2,0	–
Химико-лабораторное	62,7–75,7	2,5–7,5	3,7–6,0	–	1,3–13,5	0,8–4,2	3,5–4,4

Окончание табл. 1

Стекло	ZnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	PbO	F	SO <sub>3</sub>	Группа
<i>1</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
Строительное листовое:								I
- лодочное	—	13,4–15,0	0,58–1,5	—	—	—	0,4–0,5	
- безлодочное	—	13,7	13,7	—	—	—	0,4	
Полированное флоат-способом	—	13,29	—	—	—	—	0,34	I
Профильное щелочное	—	13,2–13,7	13,2–13,7	—	—	—	0,5	I
Профильное бесщелочное	—	2,0	—	—	—	2,0	—	II
Стеклые трубы	—	2,0–2,2	—	—	—	2,0	—	II
Пеностекло	—	14,23	0,42	—	—	—	0,23	II
Сортовое обычное	—	10,0–14,5	1,0–7,7	—	—	1,5	0,5	III
Светотехническое	2,0–13,0	6,0–17,8	0,8–8,0	—	2,5–11,0	—	—	III
Сортовое хрустальное	1,0	2,0	14,5–16,5	—	18,0	—	0,5	IV
Тарное:								V
- полубелое	—	13,5–14,5	0,75	—	—	—	0,2	
- темное	—	14,0–15,37	—	0,55–2,3	—	—	0,2–0,45	
Электротехническое	—	9,5–15,3	0,4	—	—	—	—	VI
Термометрическое	14,0	—	—	—	—	—	—	VI
Электровакуумное:								VII
- для колб, ламп накаливания	—	16,1	1,0	—	—	—	—	
- для ламп дневного света	—	12,5	4,0	—	—	—	—	
Химико-лабораторное	—	2,0–11,2	1,2–6,1	—	—	0,5–2,0	—	VIII

V. Тарное (по видам: белое, полубелое, зеленое, янтарное);

VI. Электротехническое, термометрическое;

VII. Электровакуумное;

VIII. Химико-лабораторное;

IX. Медицинское (по видам: бесцветное, оранжевое);

X. Кварцевое (по видам: непрозрачное, техническое прозрачное, оптическое прозрачное, пайрекс, кварцoidное, водоукзательное).

Отходы стекла могут применяться в производстве [14–18]:

- стекла (все группы);
- керамики (I, II, V, X);
- глазурей и эмалей (I, III, IV, V, VII, X);
- пеностекла (I, V, IX группы);
- стеклокремнезита (I, III, IV, V, IX);
- стеклокерамита (I, III, IV, V, IX, X);
- ситаллов (VI, X);
- бетонов (в качестве заполнителя) (I, II, V–X).

## Глава 2

### ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТЕКЛА: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

#### 2.1. Строительное листовое стекло

**Листовым стеклом** называются изделия из стекла, вырабатываемые в виде плоских листов, толщина которых мала по отношению к длине и ширине. В соответствии с разными способами формования (выработки) листовое стекло бывает *тянутое*, *прокатное* и *полированное* [6]. Ассортимент листового стекла, вырабатываемого стекольной промышленностью, весьма разнообразен (рис. 1) [5].

Применение его также широко. Листовое стекло служит для остекления оконных и дверных проемов, фонарей верхнего света и витрин, а также является исходным материалом для стеклопакетов, стевита и стемалита [5].

Листовое стекло может выпускаться по двум технологиям: методу Фурко и флоат-способу [19]. Метод Фурко заключается в вытягивании стекла и пропускании его между двумя валиками [20]. Однако сейчас эта технология почти не применяется. Более современен и популярен флоат-способ: стекломасса выливается на расплавленное олово, что создаёт условие для получения

очень ровной и гладкой поверхности стекла. Нужные размеры нарезаются после остывания.

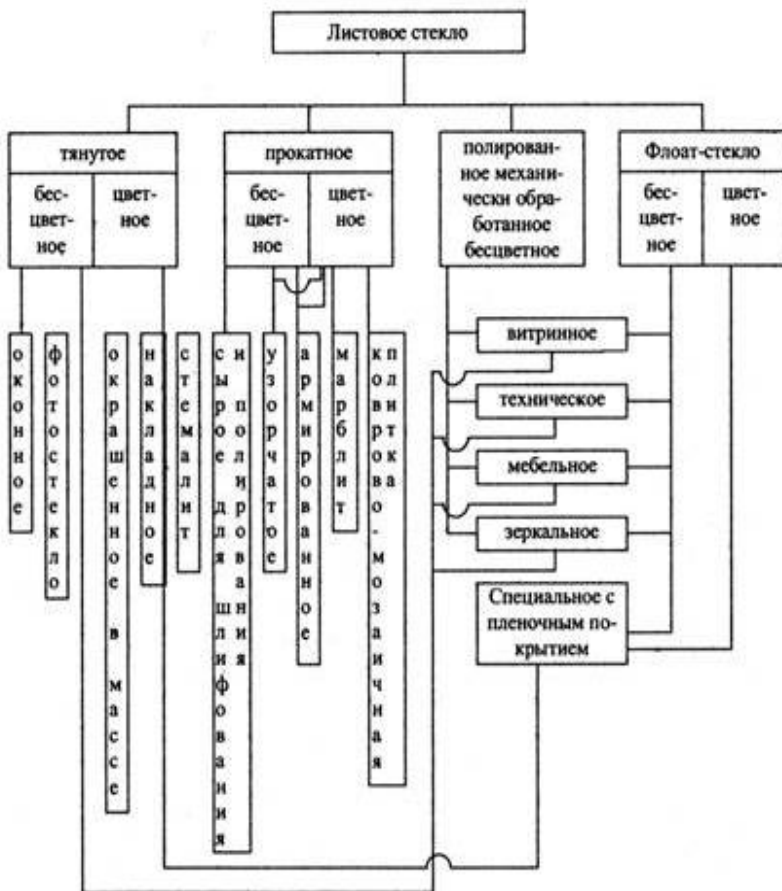


Рис. 1. Классификация листового стекла

Физические характеристики бесцветного листового стекла представлены в таблице 2.



Таблица 2

**Физические характеристики бесцветного листового стекла**  
(ГОСТ 111-2014)

Параметр	Справочное значение
Плотность (при 18 °С)	2500 кг/м <sup>3</sup>
Число твердости по Кнулу НК 0,1/20 (по ГОСТ ISO 9385)	6
Прочность на сжатие	700–900 МПа
Прочность на растяжение	30 МПа
Прочность на изгиб для проектирования	15 МПа
Модуль Юнга (модуль упругости)	$7 \cdot 10^{10}$ Па
Коэффициент Пуассона	0,2
Температура размягчения	600 °С
Температурный коэффициент линейного расширения (в интервале температур от -40 до +300 °С)	$(7-9) \cdot 10^{-6}$ К <sup>-1</sup>
Термостойкость	40 °С
Коэффициент теплопроводности	1 Вт/(м·К)
Удельная теплоемкость	720 Дж/(кг·К)
Коэффициент эмиссии	0,837
Показатель преломления	1,5
Коэффициент направленного отражения света	0,08

К листовым стеклам относят: оконное, цветное, витринное, армированное, узорчатое, матовое, солнцезащитное, увиолевое, безопасное. Характеристики видов листового строительного стекла приведены в таблице 3 [19].

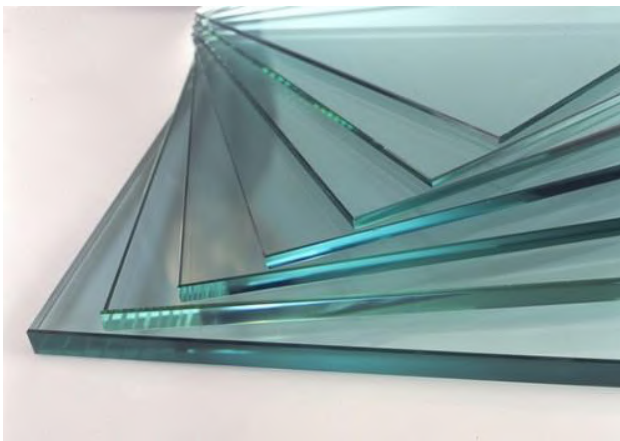
**Оконное стекло** (рис. 2) – бесцветное, прозрачное тянутое листовое стекло с гладкими поверхностями. Основными требованиями, предъявляемыми к оконному стеклу, являются:

- высокая светопрозрачность (в зависимости от толщины – от 84 до 87 %);
- достаточная механическая прочность;
- высокая химическая стойкость;
- минимальные неровности на поверхности (полосность или волнистость);
- минимальное содержание инородных включений (пузыри и др.) [5].

Таблица 3

Характеристики видов листового строительного стекла

Вид стекла	Толщина, мм	Отклонения по толщине, мм	Ширина × длина, мм		Отклонения по линей- ным разме- рам, мм	Светопро- пускание, %	
			минимальная	максимальная			
Оконное	2	-0,1	400×400	700×1250	+2	87	
		+0,2					
	2,5	-0,1	400×500	750×1450		-3	87
		+0,2					
	3	+0,2	400×500	1000×1800			85
		-0,2					
	4	+0,2	400×500	1200×2200	85		
		-0,3					
	5	+0,2	400×500	1600×2200	84		
		-0,3					
	6	+0,4	400×500	1600×2200	84		
		+0,5					
6,5–8	-0,5	2350×1950	3000×4000	+5	84		
	+0,3...+0,5 -0,3...-0,5			-5			
Витринное	6,5–7	–	2350×1950	4450×2950	+5	84	
					-5		
Узорчатое	3–6,5	–	400×400	1200×1800	+3	40–60	
					-3		
Армированное	5,5–10	+0,7...-0,7	300×500	1400×1800	+3	60	
					-3		
	6–10	+1...-1	300×600	800×1500	+3	–	
					-3		



*Рис. 2. Листовое оконное стекло*

Листовое оконное стекло вырабатывают трех сортов и шести размеров (в зависимости от толщины): 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм [21]. С увеличением толщины стекла несколько снижается светопропускание. Сорт листового стекла определяется в зависимости от наличия дефектов, к которым относятся:

- полосность – неровности на поверхности;
- свиль – узкие нитевидные полосы;
- пузыри – газовые включения и др. [22].

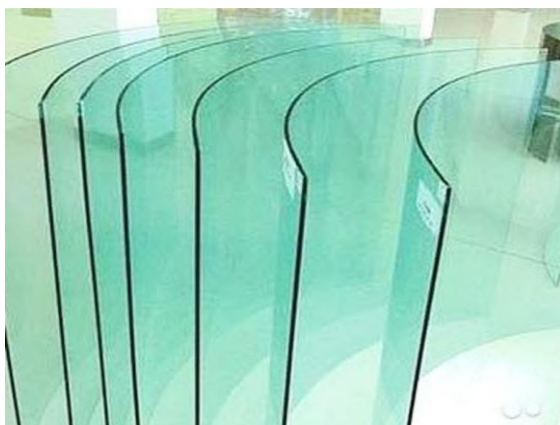
На строительной площадке листы нарезаются на нужные размеры (если сразу не идут в готовые окна, двери и т.д.). Поставляются же листы следующими размерами: длина – 400–2200 мм; ширина – 400–1600 мм; толщина – 2–6 мм (ГОСТ 19903-2015. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент).

**Витринное стекло**, как и оконное, бесцветно и прозрачно, но отличается от оконного бóльшими размерами. Полированное витринное стекло изготавливается флоат-способом и применяется для остекления витрин и больших световых проемов в торго-

вых и общественных зданиях. Его вырабатывают неполированное и полированным. Полированное витринное стекло используют в строительстве уникальных зданий [5]. Витринное стекло может быть *плоским* (рис. 3, а) и *гнутое* (рис. 3, б).



а)



б)

**Рис. 3. Витринное стекло:**  
а – плоское; б – гнутое

**Высококачественное тянутое полированное стекло** подвергают упрочнению закалкой (сталинит) или изготавливают в виде многослойного стекла (триплекс) с одной или несколькими органическими прослойками и используют для остекления салонов автомобилей, самолетов, железнодорожного транспорта, судов, а также для других целей [5, 20].

**Безопасные и упрочненные листовые стекла.** Безопасными считаются такие стекла, которые при разбивании от удара не дают острых осколков. К безопасным относят *армированное, закаленное и безосколочное* многослойное стекло [5, 20].

**Армированное стекло** – это листовое стекло, внутри которого параллельно плоскости поверхности проложена металлическая сетка (рис. 4) [5, 20].



а)



б)

**Рис. 4. Типы металлических сеток для армирования стекла:**

а – сварная с квадратными ячейками; б – крупная с шестиугольными ячейками

Армированное стекло относится к группе безопасных стекол, так как его разрушение не дает падающих (отскакивающих) осколков. Это позволяет применять его для устройства фонарей промышленных зданий и остекления помещений с повышенными требованиями к безопасности и огнестойкости остекления. Вы-

пускают армированные узорчатые и полированные стекла [5]. В соответствии с ГОСТ 7481-2013 армированное стекло выпускается длиной от 800 до 2000 мм, шириной от 400 до 1600 мм, толщиной 5,5–10 мм (бесцветное стекло) и 6–10 мм (цветное стекло). Прочность на изгиб армированного узорчатого стекла – 8 МПа, армированного полированного стекла – 11 МПа. Металлическая сетка для армированного стекла должна применяться из обработанной проволоки со светлой поверхностью из малоуглеродистой стали [5].

**Закаленное стекло** представляет собой стекло, подвергнутое специальной термической обработке (закалке), в результате чего в объеме стекла возникают равномерно распределенные внутренние напряжения, которые и обуславливают значительное улучшение его свойств [5]. Главным свойством закаленного стекла, отличающим его от отожденного, является повышенная механическая прочность. При степени закалки в промышленных условиях 2–4 Н/см и толщине листа 4,5 мм и больше предел прочности стекла достигает 250 МПа, т.е. он более чем в 5 раз выше, чем у отоженного стекла. При этом упругость закаленного стекла, характеризуемая стрелой прогиба, возрастает в 4–5 раз. Работа разрушения закаленного стекла при испытании на удар возрастает в 8 раз: при толщине 5 мм оно выдерживает удар стальным шаром массой 800 г с высоты более 1200 мм, в то время как отоженное – только с высоты около 150 мм [5].

Особенностью закаленного стекла является «безопасный» характер его разрушения: это происходит с образованием мелких осколков с тупыми нережущими краями (рис. 5) [5].

Термостойкость закаленного стекла повышается с 60–70 до 175 °С, в 2–3 раза увеличивается электропроводность, наблюдается небольшое снижение плотности и коэффициента теплового линейного расширения [5]. Оптические (светопропускание, све-

тостойкость), а также теплофизические (теплостойкость, морозостойкость) свойства после закаливания практически не изменяются [5, 23].



*Рис. 5. Характер разрушения листовых стекол*

Закаленное листовое стекло получают двух видов (плоское и гнутое) и широко используют для остекления скоростного транспорта. В строительстве (двери, перегородки, ограждения, полы, потолки) применяют крупногабаритные панели размером 1200–2500 мм, прозрачные или непрозрачные (матовые, узорчатые, глушенные, эмалированные). Закаленные крупногабаритные окрашенные стеклопанели получили название *стемалит* [5].

**Безосколочное стекло** многослойное, состоит из нескольких листов стекла, прочно склеенных прозрачной эластичной пленкой органического происхождения [5]. Наиболее распространено безосколочное трехслойное стекло *триплекс* – трехслойное листовое изделие, состоящее из двух наружных листов силикатного стекла, скрепленных между собой по всей площади третьим

внутренним слоем, состоящим из прозрачной эластичной пленки [5, 20, 24]. Сочетание хрупкого стекла с эластичной прокладкой обуславливает основное свойство трехслойного стекла: при его разрушении от механического удара или от резкого перепада температур (теплового удара) все части стекла остаются приклеенными к гибкой промежуточной прокладке [5].

Современное безопасное стекло выпускается на основе «сырого» флоат-стекла. С помощью закалки или ламинирования это стекло становится безопасным с прочностью, во много раз превышающей прочность обычного стекла [5].

*Ламинирование* – метод, при котором листы стекла и расположенная между ними пленка из бутафоль-поливинилбутерали (ПВБ) в процессе сжатия соединяются между собой под воздействием высокой температуры и вакуума: получается безопасное стекло, выдерживающее высокие механические нагрузки, пожаростойкое и высококачественное по оптическим свойствам [5].

Безопасное стекло широко применяется в зданиях и сооружениях: остекление фасадов, светопрозрачных перекрытий, окон, дверей, балконов, перил, теплиц и оранжерей, промежуточных стен, дверей и полок мебели, душевых стенок и кабин, телефонных будок, панорамных лифтов, киосков, спортивных помещений, подводных построек и др. [5].

**Солнцезащитные стекла** – листовые стекла, задерживающие инфракрасные и другие тепловые солнечные лучи. Их выпускают *теплопоглощающими* (окрашенными в массе оксидами металлов) и *солнцезащитными* (с покрытиями из оксидов металлов) – прозрачными для видимых лучей и поглощающими часть инфракрасного солнечного излучения. Солнцезащитные теплопоглощающие стекла получают введением в стекломассу добавок оксида железа II, оксидов меди, кобальта, которые окрашивают ее



в зеленовато-голубоватые или серые тона. Их светопропускание составляет 65–75 %, пропускание инфракрасных лучей – 30–35 % [25, 26].

К особым видам теплопоглощающих солнцезащитных стекол относят *фотохромные*, обеспечивающие автоматическое регулирование теплопоступлений в помещение. Их получают из натриевоборо-алюмосиликатного стекла путем введения добавок серебра, церия, европия. При воздействии солнечных лучей они темнеют, при снижении радиации светопрозрачность восстанавливается. Применяют их для остекления административных и производственных зданий [26].

Солнцезащитные с покрытиями стекла получают нанесением на одну поверхность бесцветного стекла тонких прозрачных окиснометаллических, керамических или полимерных покрытий. Наибольшее распространение получили стекла с пленочным окисным покрытием – титановым, железистым, кобальтовым, оловянно-сурьмяным. Более высокие солнцезащитные свойства имеют стекла с оловянно-сурьмяным покрытием и такими коэффициентами: пропускания – 0,27; отражения – 0,16; поглощения – 0,57 [25].

Применяют солнцезащитные стекла для остекления административных и производственных зданий.

**Стекло теплопоглощающее** относится к группе солнцезащитных. Такие стекла обладают высокой поглощающей способностью по отношению к инфракрасным лучам. Применяются они в музеях, выставочных залах, библиотеках, домах с максимальной инсоляцией и других зданиях с кондиционированным режимом и повышенными требованиями к защите от инфракрасных лучей. Изготавливаются введением в шихту добавок оксидов кобальта, никеля и железа [27].

Солнцезащитные стекла окрашиваются в массе оксидами или другими соединениями металлов, покрываются оксидно-металлическими пленочными и прозрачными металлическими покрытиями [27]. Стекла, окрашенные в массе оксидами железа, цинка, меди и т.п., получают теплопоглощающими: цвет серо-голубой или зеленовато-голубой различной интенсивности [27, 28]. Светопроницающая способность теплопоглощающих стекол – 65-75 %, прохождение инфракрасных лучей – 20–45 %. Теплопоглощающие стекла нагреваются на 3–5 °С больше обычных и испытывают соответственно большие температурные деформации [27].

**Теплозащитные и теплоотражающие** – это стекла с пленочным покрытием. Прозрачные пленки (от серо-дымчатого до сине-фиолетового цвета) применяют для теплозащитных стекол. Толщиной слоя покрытия, изменяющейся от 0,3 до 1 мкм, регулируют интенсивность цвета. Светопроницаемость теплозащитного стекла не зависит от толщины и составляет 30–70 %. Стекло защищает от тепла, излучаемого техническими источниками; уменьшает потери тепла сквозь оконные проемы. При нанесении пленки не изменяется прозрачность стекла по отношению к солнечной радиации, но значительно уменьшается способность поглощать длинноволновую радиацию и, соответственно, лучеиспускательная способность. С уменьшением излучательной способности стекла снижаются потери тепла. Пленочные покрытия имеют свойства светового фильтра.

Виды покрытия: *E-стекло* (наноса мягкое покрытие на полированное стекло методом ионно-плазменного напыления, получают *LOW-E-стекло*) и *K-стекло* (твердое покрытие).

Величина излучательной способности простого стекла – 0,83; K-стекла – 0,2; LOW-E – 0,04–1,2 [27].

**Термически полированное стекло** выпускают двух видов [27]: *техническое* – для остекления транспортных средств (кроме открытых стекол автомобилей), мебели и строительных сооружений; *зеркальное* – для изготовления изделий с повышенными требованиями по оптическим показателям.

**Зеркальное стекло** – прозрачное листовое стекло толщиной 4–7,6 мм, высококачественное, тянутое, полированное или полученное флоат-способом (на поверхности расплавленного олова). Оно предназначено для изготовления зеркал, главным образом мебельных [5]. Термически полированное стекло выпускают следующих размеров [27]: длина – от 600 до 1600 мм, ширина – от 400 до 1300 мм, толщина 2–7 мм. Коэффициент общей светопропускаемости термически полированного стекла допускается не менее 0,84 (в перерасчете на 1 см толщины). Стекло должно быть бесцветным, но допускаются зеленоватый и голубоватый оттенки (ГОСТ 111-2014. Стекло листовое бесцветное. Технические условия).

**Увиолевое стекло** получают из шихты с минимальными примесями окислов железа, титана, хрома. Увиолевое стекло пропускает 25–75 % ультрафиолетовых лучей, т.е. гораздо больше, чем обычное оконное стекло, поэтому его используют для остекления оранжерей, а также оконных проемов в детских учреждениях и лечебницах [29–31]. В составе увиолевого стекла не должны содержаться соединения, поглощающие УФ-лучи:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ , сульфиды тяжелых металлов. По химическому составу такие стекла делятся на силикатные, боросиликатные и фосфатные. Варка их осуществляется в восстановительной среде.

Химические составы увиолевых стекол приведены в таблице 4 [5, 32].

Таблица 4

*Химический состав увиолевых стекол*

Стекло	№	Содержание оксидов, масс. %										
		SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Силикатное	1*	69,5	—	—	—	5,5	3,5	5,0	12,5	4,0	—	—
	2	72,5	—	—	1,5	7,0	4,0	—	15,0	—	—	—
Боросиликатное	3	67,5	21,0	—	5,0	—	—	—	5,0	—	1,5	—
	4	79,4	11,97	—	2,68	0,26	0,06	—	4,65	0,49	—	0,49
Фосфатное	5	—	5,0	70,0	15,0	—	—	10,0	—	—	—	—
	6	—	3,0	73,0	15,5	—	7,0	—	—	1,5	—	—
Черное увиолевое силикатное	7	68,3	—	—	—	—	—	10,0	12,0	4,0	NiO 5,0	CoO <sub>2</sub> 0,7

\*В качестве восстановителя вводится 0,1 % Ca<sub>2</sub>Si.

**Стекло, устойчивое к радиоактивным излучениям**, получают из шихты специального состава. Для поглощения рентгеновских и используют оптические стекла с высоким содержанием свинца и бора. Чтобы улучшить устойчивость стекла к излучению, в шихту добавляют 0,25–1,5 % окиси церия [33, 34].

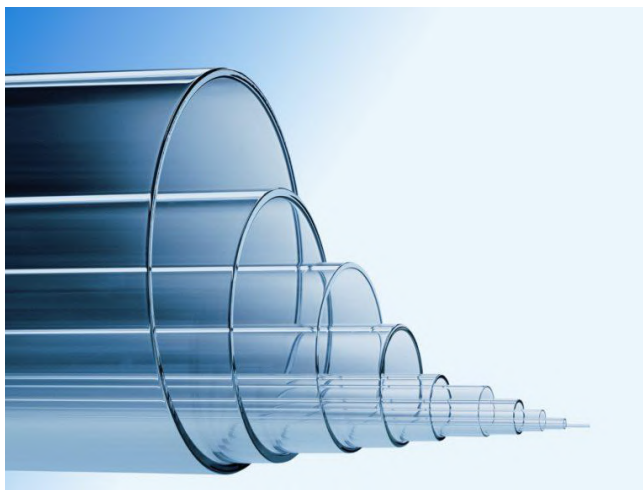
Защитные свойства стекла можно приближенно оценивать по их плотности. Например, тяжелое свинцовое стекло с объемной массой 6200 кг/м<sup>3</sup>, содержащее 80 % окиси свинца, по своей защитной способности в отношении излучения эквивалентно стали.

Стекла, поглощающие медленные нейтроны, должны содержать один из следующих окислов: окись бора, окись лития, окись кадмия и др.

Стекло, устойчивое к действию радиоактивных излучений, применяют при сооружении атомных электростанций (например, для устройства защитных смотровых окон) и на предприятиях по изготовлению изотопов [33, 35].

## 2.2. Стекланные трубы, пеностекло

**Стекланные трубы** (рис. 6) применяют для прокладки напорных, безнапорных и вакуумных трубопроводов, которые используются для транспортирования агрессивных жидкостей и газов (за исключением плавиковой кислоты), пищевых продуктов, воды и других веществ при температуре от  $-30$  до  $+120$  °C и при избыточном давлении (для жидких и твердых сред  $0,001$ – $0,7$  МПа; для газообразных –  $0,001$ – $0,1$  МПа) [36].



*Рис. 6. Стекланные трубы*

Применение стекланных труб эффективно: они обладают высокой коррозионной стойкостью, газонепроницаемостью, прочностью. Стекло практически нерастворимо в жидких средах и не влияет на состав и качество транспортируемых веществ. Химическая стойкость стекланных труб примерно в 50 раз превышает стойкость труб из нержавеющей стали [36, 37].

Для изготовления стеклянных труб применяют стекло различного состава: обычное оконное; безборное малощелочное 13-В, боросиликатное ЗИС-5 и молибденовое (Россия), «сиал» и «симакс» (Чехия), «разотерм» (Германия), «пирекс» (США) и др. [36].

Промышленность выпускает стеклянные трубы по ГОСТ 8894-86 диаметром 40–150 мм и длиной 1500–3000 мм, диаметром 200–2000 и длиной с интервалом, кратным 250 мм [36].

Соединения стеклянных труб и деталей могут быть *жесткими* и *гибкими*. Гибкие соединения более дорогие, однако они предохраняют стыки от разрушающих напряжений. Стеклянные трубы с гладкими концами соединяют с помощью стальных фланцев или пластмассовых муфт. В качестве уплотнения применяют резиновые круглые кольца. Для стеклянных труб с буртами используют фланцевое соединение с резиновыми плоскими кольцами [38, 39].

Трубы из кварцевого непрозрачного стекла отличаются высокой термической и химической стойкостью: нагретые до 1000 °С, они не трескаются при резком охлаждении на воздухе или в воде. Кварцевые трубы применяют для транспортирования агрессивных кислых и нейтральных продуктов при высокой температуре. Кварцевые трубы не рекомендуется использовать для транспортирования горячих газов, так как при температуре выше 500 °С газы проникают через стенки. Плавиковая кислота разрушает кварцевое стекло при нормальной температуре, а фосфорная – при температуре выше 300 °С [38].

Трубы из ситаллов вырабатывают способом вертикального вытягивания с последующим оформлением буртов и термической обработкой. Трубы комплектуют деталями – тройниками и отводами [38]. Ситалл – это микрокристаллический материал (удельный вес – 2,55 г/см<sup>3</sup>), получаемый путем управляемой кристалли-

зации термостойкого стекла при термической обработке. При этом стекло изменяет свои свойства и теряет прозрачность [8, 38]. Ситалловые трубы характеризуются высокой термостойкостью и повышенной механической прочностью (в несколько раз большей, чем трубы из кварцевого стекла); их можно эксплуатировать в более широком диапазоне температур (от  $-30$  до  $+300$  °С), при переменных тепловых нагрузках. Их термостойкость (способность выдерживать низкий температурный перепад) –  $250-300$  °С, эксплуатационное давление –  $4-8$  кгс/см<sup>2</sup> [38].

Весьма целесообразно применение стеклянных труб и в строительстве дренажей для осушения сельскохозяйственных земель. По сравнению с другими дренажными трубами, стеклянные трубы имеют ряд преимуществ: они более легки по сравнению с керамическими, а следовательно, и более транспортабельны. Стеклянные трубы устойчивы к агрессивным почвенным водам, достаточно прочны и имеют большую (в сравнении с керамическими) пропускную способность благодаря гладкости внутренних стенок. Такой недостаток стеклянных труб, как хрупкость, в данном случае не имеет значения, так как при эксплуатации исключается возможность случайных ударов [40].

**Пеностекло** – неорганический, экологически безопасный высокопрочный и легкий утеплитель, внешне напоминающий пензу. Для изготовления пеностекла используется способность силикатных стёкол размягчаться и (в случае наличия газообразователя) пениться при температурах около  $1000$  °С. По мере нарастания вязкости при охлаждении вспененной стекломассы до комнатной температуры получившаяся пена приобретает существенную механическую прочность [20, 41]. Плотность пеностекла –  $110-200$  кг/м<sup>3</sup>; сорбционная влажность –  $0,2-0,5$  % (при влажности 97 %); теплопроводность –  $0,04-0,08$  Вт/(м·К) (при  $+10$  °С); паропроницаемость –  $0-0,005$  мг/(м·ч·Па); предел проч-

ности на сжатие – 0,7–4 МПа; предел прочности на изгиб – 0,4–0,6 МПа; температура начала деформации – 450 °С; коэффициент температурного расширения – низкий ( $0,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ); водопоглощение – не более 2,5–5 % от объёма; поверхностное поглощение – не более 0,5 кг/м<sup>2</sup>; шумопоглощение – до 56 дБ; эффективный диапазон температур – от -260 °С до +500 °С; реальный диапазон применения без потери свойств и разрушения – от -260 °С до +230 °С.

Данный материал воздухонепроницаем, паронепроницаем и водонерастворим. Пеностекло является негорючим, нетоксичным, био- и химически стойким и негниющим материалом, не дает усадки, не гигроскопично, имеет высокую адгезию к большинству строительных материалов, долговечно [8, 41]. К недостаткам пеностекла относятся большая масса, небольшая прочность при ударе, дороговизна [41].

Теплоизоляционные свойства пеностекла обуславливаются наличием в его структуре огромного количества пузырьков, наполненных воздухом или углекислым газом. Материалы из пеностекла состоят лишь из стекла и газа (воздуха, углекислого газа), их химический состав идентичен составу обычного стекла: оксиды кремния, кальция, магния, калия, натрия, алюминия [42].

Строительные изделия из пеностекла изготавливаются в виде плит (ширина – 450 мм, длина – 600 мм, толщина – 60, 80, 100, 120 мм), блоков размером 125–450×125–550 мм, толщиной 20–120 мм (ГОСТ 33949-2016. Изделия из пеностекла теплоизоляционные для зданий и сооружений. Технические условия). Выпускается и пеностекольная крошка (сферические гранулы) (рис. 7).

Пеностекло используется главным образом в качестве универсального теплоизолятора:

- в строительном комплексе;
- жилищно-коммунальном комплексе;





а)



б)



в)

*Рис. 7. Строительные изделия из пеностекла:*

*а – плита; б – блок; в – гранулы*

- сельском хозяйстве;
- энергетике и машиностроении;
- химической и нефтехимической отраслях;
- пищевом, бумажном, фармацевтическом и других производствах [43].

### **2.3. Сортовое обычное, художественное, цветное листовое, узорчатое стекло, марблит, светотехническое стекло**

К **сортovому стеклу** (рис. 8) относят обширный класс изделий, вырабатываемых из *хрустальных, бесцветных и окрашенных* стекол способами ручного и механизированного выдувания и прессования [32]. Они предназначены для употребления в быту,

хранения и розлива жидких пищевых продуктов, украшения жилища, оформления культурно-бытовых учреждений. Сортовые изделия должны отличаться высоким качеством стекла, быть изящно оформлены, удобны в употреблении [44].



*Рис. 8. Изделия из сортового стекла*

Ассортимент изделий из сортового стекла чрезвычайно разнообразен. Их вырабатывают механизированным и ручным способами. В настоящее время *механизированным способом* изготавливают стаканы и блюда, графины, тарелки, селедочницы, сахарницы, масленки, изделия на ножке (рюмки, бокалы, фужеры) и др. Ассортимент изделий, вырабатываемых *ручным формованием*, несколько шире: вазы различного назначения (для варенья, фруктов, цветов, декоративные), изделия на ножке, кувшины, графины, художественно-декоративные изделия и другие.

**Хрустальные стекла** должны обладать высоким показателем преломления и повышенной светопрозрачностью [28]. Так, показатель преломления большинства хрустальных стекол составляет 1,532–1,542, а их светопропускание – 92–94 %. Добиваются указанных свойств путем введения в составы стекол оксида свинца PbO (18–24 масс. %), заменой Na<sub>2</sub>O на K<sub>2</sub>O, применением высококачественных кварцевых песков с минимальным содержанием оксидов железа (до 0,012–0,016 %). Большинство хрустальных стекол содержит, масс. %: SiO<sub>2</sub> – 57–58; PbO – 24; K<sub>2</sub>O – 16–16,5; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1–2; ZnO – 1–2 [45, 46]. В ряде стран вырабатывают хрустальные стекла с большим содержанием PbO, масс. %: в США – 34,2, во Франции – 34,4 [47].

К **бесцветным стеклам** не предъявляются такие высокие требования по показателю преломления и светопрозрачности, как к хрустальным. Однако они должны быть термически устойчивы (90–110 °С), химически стойки (II, III гидролитических классов), их температура размягчения должна соответствовать 550–580 °С, а температурный коэффициент линейного расширения должен быть  $(90-98) \cdot 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  [45, 48]. Так, составы бесцветных стекол *для ручной выработки* содержат, масс. %: SiO<sub>2</sub> – 74,5–75,5; CaO – 6,5–8,8; MgO – 2–2,5; Na<sub>2</sub>O – 13,5–14; K<sub>2</sub>O – 1–2,5; составы *для механизированного выдувания*: SiO<sub>2</sub> – 73–73,5; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,2–0,5; CaO – 6,4–7,5; MgO – 2–2,2; Na<sub>2</sub>O – 13,5–14,5; K<sub>2</sub>O – 1–2; составы *для механизированного прессования*: SiO<sub>2</sub> – 73,4–73,6; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,3–0,5; CaO – 6,8–7; MgO – 2–2,2; Na<sub>2</sub>O – 13–13,5; K<sub>2</sub>O – 1–2 [45, 49].

Существенная особенность сортовых стекол – *способность окрашиваться* различными красителями, давать при этом яркие чистые цвета [45]. В качестве молекулярных красителей применяют оксиды тяжелых металлов: Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др. В настоящее время широкое распространение получили оксиды редкоземельных элементов (Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>, Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), которые

как в отдельности, так и в сочетании с другими красителями придают стеклу нежные, особенно приятные для восприятия цвета. Концентрация молекулярных красителей в зависимости от их вида и интенсивности окрашивания может составлять, масс. %, от 0,02 ( $\text{Co}_2\text{O}_3$ ) до 2 ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ). В качестве коллоидных красителей используют соединения золота, серебра, меди, сернистые соединения цинка, кадмия и др. [28].

**Художественное стекло** (рис. 9) – изделия из неорганического стекла, как монументальные (витражи и мозаика, архитектурные детали, мебель), так и относительно мелкие (посуда, украшения, бисер, стеклярус). Изделия изготовляют *выдуванием*, *прессованием* и *отливкой* [50]. В основном при этом используется силикатное стекло, но распространены и другие виды, например фосфатное, с помощью которого имитируют дорогое богемское стекло [28].



*Рис. 9. Изделия из художественного стекла*

Необходимо учитывать технику обработки стекла [20, 28, 50]:

1. *Резьба по двухслойному стеклу*: используется тонкая пленка цветного стекла, накладываемая поверх белой или про-

зрачной основы; на верхнем слое вырезается рисунок, сквозь который виден нижний слой.

2. *Слоеное стекло* представляет собой усложненную форму резьбы по двухслойному стеклу: последовательно накладываются несколько слоев стекла разного цвета, и затем на них вырезается рисунок так, чтобы были видны разные слои.

3. *Золотая фольга*: рисунки на золотой фольге заключаются между двумя слоями чистого прозрачного стекла.

4. *Роспись эмалями* по готовому стеклу обычно выполняют плавкими красками, для закрепления которых изделие, как правило, подвергается повторному отжигу.

5. *Гранение* – простое гранение на гранильном станке применяется для огранки стекла или создания геометрических узоров с целью усиления его яркости и способности преломлять свет.

6. *Гравирование* – нередко для создания более сложных и утонченных узоров, сцен, пейзажей, портретов и т.п. прибегают к гранению медным колесиком или гравировке алмазным наконечником.

7. *Травление* – рисунок вырезается инструментом на загрунтованной воском или битумом поверхности и затем вытравливается фтористой кислотой и фтористым аммонием, или же протравливаются отдельные участки, оставленные незакрытыми защитным слоем.

8. *Пескоструйная обработка* – узор гравировается на поверхности, частично защищенной трафаретами или асфальтом, струями кварцевого песка, выдуваемого с силой через форсунку сжатым воздухом.

9. *Художественное матирование стекла* часто проводится химическим способом с помощью плавиковой кислоты. Оно представляет собой нанесение сложных или более простых орнаментов и рисунков на лист стекла или зеркала. Для матирования

может применяться и пескоструйный метод: песок, вылетающий под давлением, наносит разнообразные узоры и делает художественное изделие законченным и оригинальным. Матирование может заключаться как в обработке отдельных участков стеклянной поверхности, так и целого изделия. Изготавливается как прозрачное стекло с матовым рисунком, так и матовое стекло с прозрачным рисунком. Для обработки первого используют песок, второго – химические растворы. На те участки, которые нужно оставить прозрачными, наносится специальный защитный слой. После этого изделие погружается в кислоту и происходит его травление.

**Цветное листовое стекло** (рис. 10) изготавливается на основе обычного и термоупрочненного стекла. Окраска поверхности осуществляется электрохимическим способом. Используется для декоративного остекления окон, дверей, перегородок, мебели, изготовления витражей и светильников. Для внутренней облицовки и устройства перегородок применяется декоративный триплекс – листы с запрессованной между ними цветной или декоративной пленкой или тонкой тканью. В Японии, например, производится триплекс с декоративной пленкой, имитирующей природный камень оникс [35, 51, 52].

Цветное стекло по способу получения окраски подразделяется на следующие типы [28, 45, 53]:

*Окрашенное в массу*: красители вводятся прямо в стекломассу, т.е. стекло прокрашивается по всей толще. Производится по двум технологиям: стекло может быть прокатным и тянутым. При *прокатном* способе получения расплавленная стекломасса проходит между двумя охлаждаемыми водой валами. *Тянутое* стекло получается при растяжении специальными машинами остывающей, но ещё вязкой стекломассы. Прокатное и тянутое

стекло легко отличить: прокатное шероховато на ощупь, тянутое – скользкое.



*Рис. 10. Цветное листовое стекло*

*Стекло с цветным покрытием.* Есть два типа такой окраски: оклеивание плёнкой и электрохимический способ. *Оклеивание плёнкой* можно делать как на производстве, так и непосредственно на стройке. Плёнка бывает разной: оксидно-металлической, металлической, полимерной. Плёнкой тонируют окна автомобилей, офисов и т.д. Помимо окраски плёнка выполняет ещё одну важную функцию – защищает стекло от атмосферных и городских газов и дождей. При *электрохимическом способе* придачу стеклу цвета применяют пульверизаторы, которыми распыляют над нагретым (600–700 °С) стеклом раствор соли, образующий плёнку. Соли проникают в разогретую стекломассу и при остывании её полимеризуются. Таким образом, соединение происходит на молекулярном уровне.

*Накладное стекло.* Это двухслойные стёкла, причём бесцветный слой обычно толстый (2–6 мм), цветной – очень тонкий

(0,1–0,2 мм), лишь у так называемого селенового рубина толщина составляет 1 мм. Получается накладное стекло одновременным вытягиванием из стекломасс и наложением друг на друга цветной и бесцветной лент стекла. Используют для этого машины вертикального вытягивания, так легче следить за формированием и состоянием слоёв.

Составы применяют те же, что и для оконного стекла. Окрашивают цветной слой по массе окислами металлов: хрома, меди, кобальта, железа, никеля и др. Обычное стекло окрашивают молекулярными красителями, которые вводят в стекольную шихту, масс. %: для светло-голубого цвета – 0,5 CuO; для темно-голубого – 2,0–2,5 CuO; для зеленого – 0,1–0,5 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; для желтого – 0,5–1,0 угля [5, 10, 28, 46, 54, 55].

Для получения красного стекла чистого тона (селенового рубина) и ярко-желтого стекла используют составы, содержащие В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZnO, а в качестве красителей применяют селен и сернистый кадмий: для красного – 1 % селена и 2 % CdS, а для желтого – 0,2 и 2 % соответственно [5, 28, 46].

Необходимо, чтобы коэффициенты линейного расширения основного и накладного слоя стекла были почти одинаковы, иначе при остывании цветной слой будет покрываться сетью трещинок. К температурному и газовому режимам при варке предъявляются повышенные требования, чтобы оксиды не вступали в реакцию с газами и не выгорали. Например, фтор и сульфиды легко улетучиваются.

В строительстве для облицовки применяют накладное стекло с более толстым цветным слоем, в световых же проёмах и для витражей – с тонким [28, 45]. На цветном стекле не должно быть пузырьков размером более 0,8 мм, собранных вместе (это называется мошкой) [45].



Применяется также обработка стекла безобжиговыми лаковыми красками. Так как эти краски наносятся на холодные поверхности, они никак не диффузируют в стекло, поэтому такая окраска не устойчива. Более устойчивы силикатные или минеральные краски. Спектр таких красок разнообразен, ярок, и с их помощью можно создать настоящее художественное полотно [28, 45, 53].

**Узорчатое стекло** (рис. 11) – декоративное. Будучи гладким с одной стороны, с другой оно перед затвердеванием прокатывается валиком. Таким образом наносится узор или рисунок глубиной 0,5–1,5 мм. Это стекло бывает как прозрачным, так и матовым или же окрашенным [56]. Узорчатое стекло, согласно ГОСТ 5533-2013, применяется в остеклении оконных проемов и межкомнатных дверей, в создании мебели, разделительных перегородок, витражей для внутреннего и внешнего декора домов, в выпуске рам для окон и картин, в производстве декоративных аквариумов и интерьерных украшений. Светотехнические свойства узорчатого стекла представлены в таблице 5 [32].



*Рис. 11. Виды узорчатого стекла*

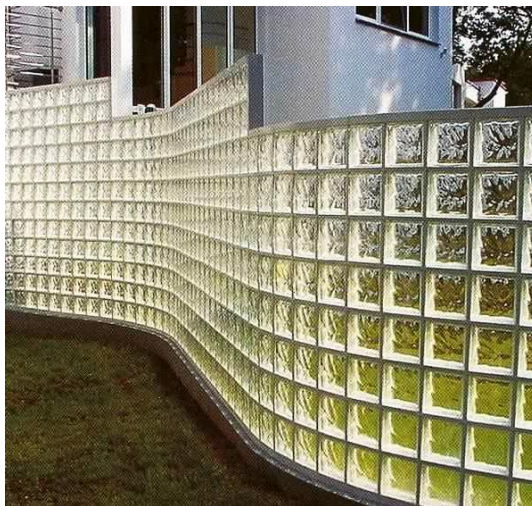
Таблица 5

*Светотехнические свойства узорчатого стекла*

Свойство	Значение показателя
Светопроницаемость стекла, %:	
- бесцветного	80
- цветного с оксидно-металлическим покрытием:	
оранжевым	47–45
желтым	50–55
голубым	60–65
синим	30–40
зеленым	35–45
сиреневым	50–60
Светорассеивание, %	20–40

**Марблит** (рис. 12) – непрозрачное, утолщенное, окрашенное в массу или глушеное стекло, вырабатываемое способом проката. Служит для облицовки внутренних стен, перегородок жилых и общественных зданий, магазинов, а также для отделки мебели [5]. Марблит обычно вырабатывают толщиной 5–7 или 8–10 мм; его наружная лицевая сторона может быть полированной, узорчатой, необработанной: шероховатой («кованой») или огненно-полированной. Обратная сторона имеет мелкую продольную нарезку или рифления для закрепления листа при облицовке. Из марблита изготовляют облицовочные плитки и плиты от 100×100 до 1000×2500 мм [5].

Марблиты изготавливают разных цветов и преимущественно глушеными: желтые (молочные), черные, серые, кремовые, зеленые, розовые, мраморовидные и др. [5]. Для этого используют следующие красители в количестве от 0,2 до 1,5 масс. %: Se, CdS, CdCO<sub>3</sub> (красные, оранжевые, розовые стекла); CuO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CoO (зеленые, голубые, синие); Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (фиолетовое); уголь (черное) [5]. Химические составы марблита различных цветов приведены в таблице 6 [5, 27, 45, 57].



**Рис. 12. Перегородка из марблита**

**Таблица 6**

**Химический состав марблита, %**

Цвет стекла	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	CaO	ZnO	Na <sub>2</sub> O	Сверх 100 %						
							CuO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	CdS	Se	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Молочно-белый	64,8	4	7,6	7,1	—	16,5	—	—	—	—	—	—	—
Черный*	65,3	2,8	2	6,6	—	18,5	—	—	4,8	—	—	—	—
Красный**	66	—	5	—	10	8	—	—	—	—	1,2	0,8	—
Желтый	64,93	3,97	7,55	7,1	—	16,45	—	—	—	—	1	0,2	—
Кремовый	69,7	2,87	7,12	3,75	1,06	15,5	—	—	—	—	—	—	—
Салатный	64,93	3,97	7,55	7,1	—	16,45	0,4	0,1	—	—	—	—	—
Синий	64,93	3,97	7,55	7,1	—	16,45	—	—	—	—	—	—	0,1
Голубой	64,93	3,97	7,55	7,1	—	16,45	1	—	—	—	—	—	—
Фиолетовый	64,93	3,97	7,55	7,1	—	16,45	—	—	2	—	—	—	—
Серый	64,93	3,97	7,55	7,1	—	16,45	—	0,2	0,1	—	—	—	—
Коричневый	64,93	3,97	7,55	7,1	—	16,45	—	—	—	—	—	—	1

Примечания: \*Краситель входит в 100 %.

\*\*Содержит 8 % K<sub>2</sub>O и 3 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Светотехническое стекло** предназначается для изменения направления и спектрального состава светового потока. По типу изменения направления светового потока светотехническое стекло подразделяют на *преломляющее* (линзы для маяков и светофоров, автомобильные фары), *отражающее* (сферические, параболические, гиперболические зеркала), *рассеивающее* (плафоны и колпаки светильников и т.д.). Преломление и отражение света достигается формой изделий, а рассеяние – либо матированием их поверхностей, либо глушением, для чего в состав стекла добавляют 3–7 % соединений фтора или фосфора [58].

Таблица 7

*Составы светотехнического стекла, мас. %*

Стекло	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ZnO	PbO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	F	Дополнительные компоненты (вводят в шихту сверх 100 %)
Молочное	64,3	9,2	–	2,7	–	–	–	1	16,3	6,5	–
Опаловое	59,3	12,7	–	1	–	–	10	3	11	3	–
Бесцветное (для линз Френеля)	71,5	0,2	–	8	2,3	–	–	1	17	–	–
Фарное	74,1	1,3	–	7	2,1	–	–	–	15,5	–	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Бесцветное термически стойкое	80,1	1,5	12,4	0,5	–	–	–	–	5	0,5	NaCl – 1
Красное сигнальное (селеновый рубин)	68,5	–	3,5	–	–	13	–	8	7	–	CdS – 1,5 CdCO <sub>3</sub> – 0,75 Se – 0,3
Зеленое сигнальное	72	1	–	6	4	–	–	–	17	–	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,04 CuO – 3,4

Цветное светотехническое стекло подразделяют на 5 групп [8, 58]: красное, желтое, зеленое, синее, лунно-белое. Для окрашивания применяют селен, соединения кадмия, меди, кобальта, хрома. Цветное светотехническое стекло используется главным образом для транспортной сигнализации.

Для производства светотехнического стекла применяют составы, мас. % [59]:  $\text{SiO}_2$  – 72–75;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1–2;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 7–16;  $\text{K}_2\text{O}$  – 2–4;  $\text{CaO}$  – 3–8;  $\text{MgO}$  – 1–4;  $\text{B}_2\text{O}_3$  до 5. Состав  $\text{B}_2\text{O}_3$  вводят в стекло для повышения термостойкости.

Составы цветных стекол для точных светофильтров чрезвычайно разнообразны. Некоторые типовые составы светотехнического стекла приведены в таблице 7 [32].

К этому виду стекол также относят стекло, предназначенное для поглощения или пропускания ультрафиолетового, инфракрасного и рентгеновского излучения, для поглощения  $\gamma$ -лучей и тепловых нейтронов [60].

## 2.4. Кроны, флинты

**Крон** (кронглас) – тип бесцветного оптического стекла, отличающийся большими (более 50) значениями коэффициента средней дисперсии (числа Аббе) при высоких ( $\sim 1,5$ ) показателях преломления. В зависимости от химического состава (табл. 8), показателя преломления и коэффициента дисперсии стекла такого типа подразделяют на *легкие кроны* (ЛК), *фосфатные кроны* (ФК), *кроны* (К), *баритовые кроны* (БК), *тяжелые кроны* (ТК), *сверхтяжелые кроны* (СТК) [61–63].

**Флинт** (флинтглас) – тип бесцветного оптического стекла, отличающийся малыми (менее 50) значениями коэффициента средней дисперсии (числа Аббе) при сравнительно высоких ( $\sim 1,55$ – $1,6$ ) показателях преломления. В зависимости от коэффи-

циента дисперсии и показателя преломления флинты делят на различные типы: *флинты (Ф)*, *легкие флинты (ЛФ)*, *тяжелые флинты (ТФ)*, *тяжелые баритовые флинты (ТБФ)* [61, 63, 64]. Основой выпускаемых в настоящее время оптических стёкол типа флинтов (Ф) и тяжёлых флинтов (ТФ) также является тройная система из окислов кремния, свинца и калия, а некоторые марки флинтов содержат двуокись титана.

Таблица 8

**Химический состав кронов**

Типы кронов	Содержание компонентов, %												
	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	ZnO	F	MgO	PbO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Легкие (ЛК)	53,3	16,2	16,2	8,8	0,2	—	—	5,3	—	—	—	—	—
Фосфатные (ФК)	—	3,0	12,0	10,0	0,5	—	—	—	4,0	—	—	70,5	—
Кроны (К)	62,0	8,1	10,5	—	0,2	9,2	7,5	—	—	1,3	1,2	—	—
Баритовые (БК)	49,5	4,8	7,6	—	0,2	21,6	12,5	—	—	2,6	1,2	—	—
Тяжелые (ТК)	32,7	13,2	—	3,1	1,6	45,9	3,5	—	—	—	—	—	—

Типичные составы силикатных флинтов представлены в таблице 9 [62].

Таблица 9

**Составы силикатных флинтов, мас. %**

Оксид	Типы флинтов			
	Баритовые (БФ)	Легкие (ЛФ)	Флинты (Ф)	Тяжелые (ТФ)
SiO <sub>2</sub>	65,21	75,77	73,34	57,33
PbO	13,70	14,76	19,65	40,12
BaO	6,45	—	—	—
ZnO	5,75	—	—	—
K <sub>2</sub> O	7,29	9,25	6,77	1,34
Na <sub>2</sub> O	1,51	—	—	1,02
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,22	0,24	0,19

Как и баритовые кроны, баритовые (БФ) и особые (ОФ) флинты, а также кронфлинты (КФ) могут содержать окись цинка и окись сурьмы. В состав боросиликатных флинтов типа ТБФ входят окислы редкоземельных элементов. Показатель преломления современных флинтов может превосходить 1,9 [65].

## 2.5. Тарное стекло

**Тарным стеклом** называют стеклянные банки и бутылки, используемые для упаковки и хранения различных продуктов в пищевой, химической, медицинской и парфюмерной промышленности (рис. 13) [44].



*Рис. 13. Стеклянная тара*

Стеклянную тару классифицируют следующим образом:

- по размеру горла;
- цвету стекла;
- типу венчика;
- назначению.

По *размеру горла* тару подразделяют на *узкогорлую* (с внутренним диаметром горла до 30 мм) и *широкогорлую* (свыше

30 мм) [32]. Узкогорлая тара (бутылки) используется, как правило, для розлива вина, водки, коньяка, пива, ликеров, шампанских вин, настоек, соков, безалкогольных напитков, минеральных вод и растительных масел. Выпускается узкогорлая тара емкостью преимущественно 50, 200, 250, 330, 500, 700 и 1000 мл [66, 67], вырабатывается из бесцветного, полубелого, темно-зеленого и коричневого стекла (ГОСТ 32131-2013). Широкогорлая тара (банки и бутылки) предназначена для розлива молока и молочных продуктов, расфасовки консервированных продуктов, подлежащих герметичной укупорке, хранению и транспортированию [66, 67], вырабатывается из прозрачного и полубелого стекла (ГОСТ 5717.2-2003, ГОСТ 5717.1-2014), емкость – 250–3000 мл. Тарные стекла должны быть химически устойчивы, механически прочны и термически стойки [68].

Требования *по физико-химическим свойствам* к стеклянной таре в зависимости *от вида изделий* различны. Наиболее высокие требования по механической прочности предъявляются к бутылкам для розлива шампанских вин. Они должны выдерживать в течение 60 с внутреннее давление не менее: 1,4 МПа – для шампанского резервуарного выпуска; 1,7 МПа – для шампанского тиражного выпуска. Бутылки для пива, минеральных вод должны выдерживать давление 0,8 МПа (ГОСТ 32131-2013. Бутылки стеклянные для алкогольной и безалкогольной пищевой продукции. Общие технические условия). Требования по механической прочности, предъявляемые к широкогорлой таре, не так высоки: в зависимости от емкости изделий они должны выдерживать давление 0,3–0,5 МПа (ГОСТ 5717.1-2014. Тара стеклянная для консервированной пищевой продукции. Общие технические условия).

*Термостойкость* стеклянной тары оценивается *по диапазону перепада температур*, который она выдерживает, не разрушаясь, и последовательности смены температур. Бутылки для розлива



шампанских вин должны выдерживать перепад температур от 25–70 до 47–20 °С, а для остальных пищевых жидкостей – 70–35 °С. Широкогорлая консервная тара должна выдерживать перепад 40–100–60 °С [66, 67, 69]. По химической устойчивости стекла для изготовления узкогорлой тары должны быть не ниже третьего гидролитического класса [45].

Одним из средств повышения механической прочности и эксплуатационной надежности стеклянной тары является нанесение на ее поверхность пленочных защитно-упрочняющих покрытий [45]: неорганических, органических и кремнеорганических. При их нанесении резко увеличивается гидрофобность поверхности, что обеспечивает снижение разупрочняющего действия поверхностно-активных сред, прежде всего влаги воздуха, а также защиту поверхности изделий от абразивного воздействия окружающих тел. Изделия с нанесенными защитными покрытиями обладают более высокими механическими свойствами: сопротивление внутреннему давлению возрастает на 6–20 %; сопротивление давлению по корпусу – на 10–30 %, а по высоте изделий – до 15 %. За счет увеличения механической прочности примерно в 1,5–2 раза уменьшаются потери изделий при транспортировании [66, 67].

В химические составы тарных стекол (табл. 10) преимущественно входят  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  (ГОСТ 52022-2003). Кроме них, с целью улучшения их выработочных и физико-химических свойств вводят, масс. % [45, 66, 67]:  $\text{MgO}$  – до 3–3,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – до 3–5 (иногда до 5–7).

В зависимости от заданного цвета стекла лимитируется содержание оксидов железа.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  содержится, масс. %: в бесцветных стеклах – до 0,1; в полубелых – до 0,5; в окрашенных – до 1,5–2. Окрашенные стекла могут содержать  $\text{MnO}$  до 1–2 масс. %. В последнее время часть  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  заменяют на  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  [45, 66, 67].

Таблица 10

Марки и химический состав тарного стекла

Группа стекла (цвет)		Марка стекла	Содержание оксидов, масс. %													
			SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			CaO + MgO		Na <sub>2</sub> O или Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O (в пересчете на Na <sub>2</sub> O)		SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
										Номинальное	Предельное отклонение		Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение
Бесцветное		БТ-1	72,0	+1,5 -2,5	2,5	+1,0 -1,3	0,1	11,0	±1,5	14,0	±0,9	0,5	-	-	Номинальное	Предельное отклонение
			72,5	±1,0	1,4	±0,6	0,1	12,5	±0,8	13,2	±0,8	0,5	-	-	-	-
			71,6	±1,7	3,0	±1,3	0,5	11,0	±1,5	14,0	±0,9	0,4	-	-	-	-
Полубелое		ПТ	71,0	+2,5 -3,0	3,5	+1,5 -2,0	0,8	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	-	-	0,2	+0,1 -0,15
			69,0	+2,5 -3,0	4,2	+1,5 -2,0	-	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	1,5	+0,5 -0,3	-	-
			71,4	+2,5 -3,0	3,3	±1,5	0,5	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	-	-	-	-
Зеленое		ЗТ-1	71,0	+2,5 -3,0	3,5	+1,5 -2,0	0,8	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	-	-	0,2	+0,1 -0,15
			69,0	+2,5 -3,0	4,2	+1,5 -2,0	-	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	1,5	+0,5 -0,3	-	-
			71,4	+2,5 -3,0	3,3	±1,5	0,5	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	-	-	-	-
Коричневое		КТ	71,4	+2,5 -3,0	3,3	±1,5	0,5	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	-	-	-	-
			71,4	+2,5 -3,0	3,3	±1,5	0,5	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	-	-	-	-
			71,4	+2,5 -3,0	3,3	±1,5	0,5	11,0	±1,5	14,0	±1,0	0,3	-	-	-	-

Стекло́нная тара должна быть хорошо отформована, поверхность изделий должна быть гладкой: не допускаются резко выраженные морщины, складки, кованность и другие дефекты [66, 67]. Боковые и донные швы должны быть гладкими, их высота не должна быть более 0,3 мм (ГОСТ 5717.1-2014. Тара стеклянная для консервированной пищевой продукции. Общие технические условия). Особые требования предъявляются к оформлению горла изделий (ГОСТ 10117.2-2001; ГОСТ 32131-2013). Поверхность венчика горловины должна быть гладкой, без заусенцев и выступов. Переход от торца венчика горловины к внутренней его полости должен быть закруглен.

На поверхности и в толще изделий не допускаются свиль, инородные включения и непровар, открытые и продавливаемые пузыри, а также загрязнения, не удаляемые моющим раствором [66, 67].

После использования упакованного продукта тара после мойки может снова быть использована для упаковки продукта. Такая тара называется *тарой многократного использования*. Неиспользуемая вторично тара называется *тарой однократного использования* [12].

При наличии тары многократного использования удастся значительно уменьшить количество вырабатываемой тары, а следовательно, расход сырьевых материалов и топлива, однако возврат пустой тары на заводы пищевой промышленности связан со значительными транспортными расходами. При однократном использовании тары нет необходимости собирать, мыть и транспортировать пустую тару, а также появляется возможность использовать тару с уменьшенной толщиной стенки, что может быть выгодно производителю, но наносит ущерб окружающей среде, ведет к необоснованному расходу сырья и трудозатрат [12].

## 2.6. Электротехническое, термометрическое стекло

**Электротехническое стекло** – стекло, обладающее определенными электрическими свойствами и применяемое в электротехнике и электронике в качестве изоляционного и конструкционного материала [70]. Электротехническое стекло условно делят на стекло *электровакуумное* и *электроизоляционное*, или *изоляторное*.

Электроизоляционное стекло применяют для изготовления изоляторов линий электропередач (рис. 14), герметичных вводов и разъемов, конденсаторов; стеклянную ткань и стеклопластики – для изоляции деталей электрических машин и устройств [70, 71]. В тонкой стеклянной изоляции выпускается микропровод. Для электроизоляции используют бесщелочные и малощелочные алюмосиликатные стекла, обладающие высокими электросопротивлением и влагостойкостью, электрической и термической прочностью [72].



*Рис. 14. Изоляторы для линий электропередач*

Классификация электротехнических стекол по назначению приведена в таблице 11 [75, 76]. Там же представлены основные свойства, требуемые для этих стекол, и область их применения.

Таблица 11

**Основные типы электротехнических стекол**

Тип стекла	Область применения	Требуемые свойства
Конденсаторные	Диэлектрик конденсаторов в фильтрах, импульсных генераторах, колебательных контурах высокочастотных устройств	Повышенная диэлектрическая проницаемость, высокая электрическая прочность, малый тангенс угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg}\delta$ )
Установочные	Установочные детали, изоляторы (телеграфные, антенные, опорные и т.д.), бусы, платы	Отличные электроизоляционные свойства при высокой термо- и химической стойкости
Ламповые	Колбы (баллоны) и ножки осветительных ламп, различных электровакуумных приборов	Спаиваемость с металлами (W, Mo и др.), необходимые значения термического коэффициента линейного расширения и температуры размягчения
Порошковые	Стеклянные припои, эмали, пресованные фасонные детали	Низкая температура размягчения, необходимые значения термического коэффициента линейного расширения
Стекловолокно	Текстильные материалы, световоды	Низкие вязкость и поверхностное натяжение
Ситаллы	Платы, установочные детали, изоляторы и др.	Высокие электроизоляционные свойства, прочность, термостойкость

Для изготовления стеклянных изоляторов применяют стекла состава, масс. %:  $\text{SiO}_2$  – 72–77;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,3–2,7;  $\text{CaO}$  – 0,8–9,5;  $\text{MgO}$  – 0,2–3,9;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 9,5–15,3;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0–4 и  $\text{SiO}_2$  – 63,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 15,5;  $\text{CaO}$  – 13;  $\text{MgO}$  – 4;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2 [44]. Известно электротехническое стекло, содержащее, масс. % [73]:  $\text{SiO}_2$  – 42,84–44,31;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4,69–7,04;  $\text{BaO}$  – 19,08–24,35;  $\text{CaO}$  – 17,22–19,24;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 3,45–5,42;  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  – 5,1–7,26. Электротехническое стекло с повышенной влагустойчивостью и сниженным коэффициентом термического расширения имеет состав, масс. % [74]:  $\text{SiO}_2$  – 44,0–47,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2,0–4,0;  $\text{BaO}$  – 2,0–4,0;  $\text{CaO}$  – 8,0–13,0;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 10,0–12,0;  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  – 5,0–7,0;  $\text{TiO}_2$  – 20,0–22,0. Пределы изменения физико-химических и механических свойств электротехнических стекол приведены в таблице 12 [76].

Таблица 12  
Пределы изменения физико-химических и механических свойств электротехнических стекол

Параметр	Типы стекол				Стекло-эмали
	Щелочные свинцово-алюмосиликатные [35–65 % (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )]	Щелочные кальций-алюмосиликатные [65–75 % (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )]	Щелочные алюмосиликатные [70–85 % (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )]	Мало- и бесщелочные алюмоборосиликатные [75–95 % (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )]	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2200–3800				
Температура стеклования, °C	360–420	430–500	430–450	600–800	150–600
Температура отжига, °C	425–460	500–570		480–890	–
Температура размягчения, °C	580–660	670–750		690–1250	–
Прочность при сжатии, МПа	200–500				
Прочность при растяжении, МПа	20–100				
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	1–3				
TKP, 10 <sup>-7</sup> °C <sup>-1</sup>	85–95	80–100	30–60	8–38	40–150
Стойкость к термударам, °C	60–70	60–115	120–150	≥700	–
Теплопроводность, Вт/(м·°C)·10 <sup>3</sup>	0,7–1,55	1,05–1,25	1,05–1,25	1,2	–
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°C)	0,3–1,0				
ρ, Ом·м	10 <sup>12</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>15</sup> –10 <sup>16</sup>	–
TK-100, °C	250–380	130–300	160–400	350–600	130–400
ε <sub>г</sub>	8,2	7,0	4,8	–	–
tgδ при 10 <sup>3</sup> –10 <sup>6</sup> Гц	(5–250)·10 <sup>-4</sup>				
Электрическая прочность при толщине 0,2 мм, МВ/м	310	450	–	480	–

**Термометрическое стекло** (ГОСТ 1224-71) предназначено для изготовления термометров с пределами измерения от  $-200$  до  $+650$  °С [77]. Из термометрических стекол изготавливают различные термометры, термоконтакты, предназначенные для замыкания и размыкания цепи электрического тока с целью поддержания заданной температуры, ртутные переключатели, применяемые также для замыкания и размыкания цепи электрического тока и сигнализации или выключения реле под действием магнитного поля [32].

Термометрические стекла делятся на три класса [32]:

- 1) высококремнеземистые: кварцевое, викор;
- 2) боросиликатные: щелочные и бесщелочные;
- 3) свинцовосиликатные.

Наибольшее применение в производстве термометров находит стекло состава, масс. %:  $\text{SiO}_2$  – 67,5;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 2;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  +  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2,5;  $\text{CaO}$  – 7;  $\text{ZnO}$  – 7;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 14 [40]. Обычно в состав термометрических стекол вводят только один щелочной оксид. Капилляры термометров, изготовленных из таких стекол, обеспечивают точное измерение температуры после многочисленных нагревов и охлаждений [12]. Согласно ГОСТ 1224-71, термометрическое стекло должно изготавливаться следующих марок (табл. 13) [78]:

- 360 – для термометров с верхним пределом шкалы 360 °С;
- 500 – для термометров с верхним пределом шкалы 500 °С;
- 650 – для термометров с верхним пределом шкалы 650 °С.

Таблица 13

*Состав термометрических стекол, масс. % (ГОСТ 1224-71)*

Марка стекла	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{B}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{ZnO}$	$\text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
360	67,5	2,5	2,0	14,0	7,0	7,0	–	–
500	72,5	5,5	12,8	8,8	0,4	–	–	–
650	60,0	23,5	6,0	–	7,0	–	4,0	–
Стекло молочного цвета	68,0	8,5	–	14,5	2,0	1,5	–	5,5

Термометрические стекла должны обладать повышенной термической и химической стойкостью, а также (как и химиколaborаторные стекла) не должны кристаллизоваться при термической обработке на стеклодувной горелке. Физико-химические свойства термометрического стекла указаны в таблице 14 [78].

Таблица 14

**Физико-химические свойства термометрического стекла (ГОСТ 1224-71)**

Свойства	Марка стекла		
	360	500	650
1. Термометрические постоянные:			
а) депрессия для отожденного стекла в термометрах после нагревания до 100 °С, не более	0,05	0,05	0,01
б) повышение положения нулевой точки в термометрах в процессе естественного старения в течение года при температуре 20±10 °С, °С, не более	0,04	0,03	0,02
в) смещение нулевой точки в термометрах из состаренного стекла после контрольного старения их, °С, не более, при температуре:			
200 °С	0,30	—	—
300 °С	0,50	0,40	—
360 °С	0,70	—	—
400 °С	—	0,80	0,20
500 °С	—	1,60	0,40
600 °С	—	—	0,80
650 °С	—	—	1,00
2. Коэффициент объемного расширения в интервале температур от 0 до 100 °С, 10 <sup>-7</sup> ·°С <sup>-1</sup>	от 235 до 250	от 153 до 168	от 80 до 95
3. Термическая устойчивость, °С, не менее	100	120	200
4. Химическая стойкость:			
а) щелочестойкость:			
потери массы образца в смеси 1 н раствора углекислого натрия и 1 н раствора гидрата окиси натрия, мг/см <sup>3</sup> , не более	1,5	1,7	2,0
б) кислотостойкость:			
потери массы образца в 20,4 % раствора соляной кислоты, мг/см <sup>3</sup> , не более	0,01	0,01	0,15
в) водостойкость:			
расход 0,01 н раствора соляной кислоты, пошедшей на титрование см <sup>3</sup> /г, не более	0,4	0,1	0,1



## 2.7. Электровакуумное стекло

**Электровакуумное стекло** – основной конструкционный материал в электровакуумном приборостроении и производстве источников света. Из него изготавливают электроннолучевые и рентгеновские трубки (рис. 15), электронные лампы (рис. 16), фотоумножители (рис. 17), счетчики частиц, лампы накаливания, газоразрядные (рис. 18, *а*) и галогенные лампы (рис. 18, *б*), импульсные источники света и т.д. [70], делают оболочки, держатели и изоляторы электродов («ножки»), а также герметичные выводы электровакуумных и полупроводниковых приборов с металлическим корпусом.



*а)*

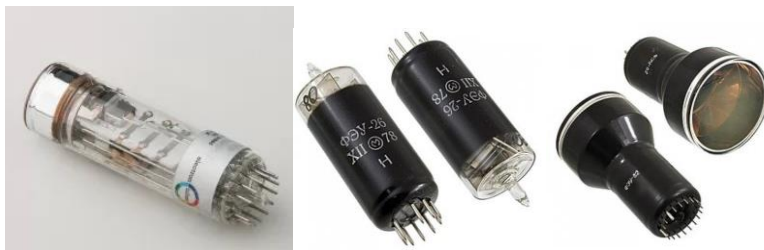


*б)*

*Рис. 15. Электроннолучевая (а) и рентгеновская (б) трубки*



*Рис. 16. Электронная лампа*



*Рис. 17. Фотоумножители*



*а)*



*б)*

*Рис. 18. Лампы из электровакуумного стекла:  
а – газоразрядная; б – галогенная*

Электровакuumные стекла должны иметь высокие диэлектрические характеристики и (во избежание растрескивания спаев) согласованный с металлами (или стеклами) коэффициент теплового расширения (КТР) [72, 79].

По значению КТР и, следовательно, возможности спаивания с соответствующими металлами электровакuumные стекла делят на следующие группы ( $\alpha \cdot 10^7$  град<sup>-1</sup>): *кварцевую* (6–10), *вольфрамовую* (37–40), *молибденовую* (47–50), *титановую* (72–75), *платинитовую* (84–92), *железную* (110–120) [71] (табл. 15).

В качестве электровакuumных используют бромсиликатные, алюмосиликатные, щелочные и бесщелочные стекла, содержащие окислы щелочноземельных металлов, свинца и др. [8]. Для изготовления мощных источников света применяют кварцевое и высококремнеземное (кварцоидное) стекло (94–96 % SiO<sub>2</sub>). Для получения тонких пленок используют легкоплавкие бесщелочные боратные и боросиликатные стекла. Из стекол изготавливают некоторые типы корпусов интегральных схем [70].

По принятому условному обозначению для электровакuumного стекла цифры после буквы С (стекло) показывают значение среднего ТКТР в интервале температур 20–300 °С, умноженное на 10<sup>7</sup>, а через дефис – порядковый номер разработки стекла [75].

Особое место среди электровакuumных стекол занимает кварцевое, отличающееся чрезвычайно низкими тангенсом угла диэлектрических потерь tgδ и относительной диэлектрической проницаемостью ε<sub>r</sub>, высоким удельным сопротивлением, стойкостью к воздействию кислот, прозрачностью в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра [75].

Кварцевые стекла широко применяют при изготовлении высокоинтенсивных источников света, фотоэлементов и фотоумножителей, оптических квантовых генераторов и др.

Таблица 15

Химический состав электровакуумных стекол

Группа стекла	Марка стекла	Содержание оксидов в стекле, масс. %												
		SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	ZnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	R <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	F-
Кварцевая	C5-1	He менее 99,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		57,6	—	—	—	25,	—	7,4	8,0	—	2,0	—	—	—
Вольтрамовая	C37-1 (№ 40)	70,0	27,0	—	—	—	—	—	—	1,4	1,0	0,6	—	—
	C38-1 (3C-9)	68,8	26,5	—	—	1,6	—	—	—	2,5	0,6	0,6	—	—
	C38-2	71,0	24,0	—	—	—	1,0	—	—	2,0	2,0	—	—	—
	C39-1 (№ 17)	71,0	13,5	5,0	6,0	—	—	—	—	3,0	1,5	—	—	—
	C39-2	60,0	4,0	—	—	23,5	—	8,5	4,0	—	—	—	—	—
	C40-1 (3C-11)	74,8	18,0	—	—	1,4	—	—	—	4,2	1,6	—	—	—
	C41-1	60,5	—	—	—	13,5	—	9,5	7,5	—	—	—	TiO <sub>2</sub> 9,0	—
	C47-1 (№ 46)	68,5	17,2	—	5,0	2,5	—	—	—	6,8	—	—	—	—
	C48-1 (3C-8)	66,5	23,0	—	—	3,0	—	—	—	3,7	3,8	—	—	—
	C48-2	66,3	20,2	—	—	3,5	—	—	—	3,0	5,0	0,2	—	—
Молибденовая	C48-3	54,0	—	—	6,0	18,5	8,0	13,5	—	—	—	—	—	—
	C49-1 (3C-5Na)	67,5	20,3	—	—	3,5	—	—	—	8,7	—	—	—	—
	C49-2 (3C-5K)	68,2	19,0	—	—	3,5	—	—	—	4,8	4,5	—	—	—
	C50-1	25,0	30,0	—	—	20,0	25,0	—	—	—	—	—	—	—
	C50-2	7,0	35,0	—	—	23,0	—	6,3	14,2	—	—	—	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 14,5	—
	C52-1	68,7	19,0	—	—	3,5	—	—	—	4,4	4,4	—	—	—
	C52-2	63,3	18,0	—	—	8,0	3,0	—	—	3,6	3,6	0,5	—	—

Продолжение табл. 15

Группа стекла	Марка стекла	Содержание оксидов в стекле, масс. %												
		SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	ZnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	R <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	F-
Титановая	C66-2	59,0	5,0	—	—	2,0	16,0	6,0	—	—	5,0	1,0	MnO 6,0	—
	C72-4	63	4,5	—	—	1,5	12,0	7,0	—	2,0	5,0	1,0	4,0	—
Платинитовая	C84-1	3,0	53,0	—	—	24,0	—	6,0	—	14,0	—	—	—	—
	C86-1	73,6	—	—	—	—	—	5,5	3,8	17,1	—	—	—	—
	C87-1 (3C-4)	75,0	—	6,0	—	4,0	—	—	—	5,8	9,2	—	—	—
	C88-1 (№ 713)	67,5	—	—	—	5,0	12,0	—	—	7,0	7,0	0,6	—	0,9
	C88-2	64,5	2,0	—	3,0	4,0	5,0	7,0	—	14,5	—	—	—	—
	C89-1 (№ 2)	71,9	—	—	—	—	2,0	5,5	3,5	16,1	1,0	—	—	—
	C89-2 (№ 23)	69,6	2,8	—	—	4,0	—	6,9	—	9,0	7,7	—	—	—
	C89-4 (№ 55)	70,5	—	2,0	—	1,5	—	5,5	3,5	15,0	2,0	—	—	—
	C89-5	72,5	—	—	—	1,5	—	5,5	3,5	15,0	2,0	—	—	—
	(№ 55 увиолевое)													
	C89-6 (C88-13)	69,5	2,0	—	—	—	2,0	5,5	3,5	11,0	6,5	—	CeO <sub>2</sub> 2,0	—
	C89-9	66,0	2,0	—	—	—	15,0	—	—	5,0	10,0	—	—	—
	C90-1 (БД-1)	69,5	—	—	—	—	5,0	5,5	3,5	12,5	4,0	—	—	—
	C93-2 (C88-1)	67,5	—	—	—	5,0	12,0	—	—	7,0	7,0	0,6	—	0,9
	C94-1	59,8	—	10,5	—	3,6	2,3	5,5	2,5	5,5	9,0	0,5	—	0,8
	C95-2 (№ 23)	68,5	2,8	—	—	4,0	—	7,0	—	10,0	7,7	—	—	—
	C95-3*	64,5	—	—	—	3,2	3,0	2,0	—	7,8	8,6	—	SrO 10,0	0,9

Окончание табл. 15

Группа стекла	Марка стекла	Содержание оксидов в стекле, масс. %												
		SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	ZnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	R <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	F
Железная	C120-1	45,5	–	23,0	–	–	15,0	–	–	5,0	11,0	0,5	–	–
Переходная	C54-1 (№ 35) C82-1 (№ 36)	54,0 71,0	28,0 –	– –	– –	5,5 3,0	– –	– 13,0	– –	9,5 11,7	1,5 1,3	– –	– –	1,5 –
–	Пирекс 13В	80,5 63,5	12,0 –	– –	– –	2,0 15,2	– –	0,5 13,3	– 4,0	4,0 2,0	1,0 –	– –	– –	– 2,0
–	Стекло № 1 Львовского завода	75,25	–	–	–	–	–	8,95	–	15,8	–	–	–	–

\*Кроме указанных компонентов, в состав входят, масс. %: CeO<sub>2</sub> – 0,2; TiO<sub>2</sub> – 0,4.

## 2.8. Химико-лабораторное стекло

Химико-лабораторное стекло является одним из важных видов технического стекла, применяемого для изготовления лабораторной посуды (тонкостенных стаканов и колб, толстостенных цилиндров и воронок, пробирок и бюреток и др.) (рис. 19), приборов и аппаратуры (теплообменников, трубопроводов, дистилляционных колонок, насосов для перекачивания агрессивных жидкостей и т.д.) [80].



*Рис. 19. Посуда из химико-лабораторного стекла*

Химико-лабораторное стекло должно обладать высокой стойкостью к действию различных химических реагентов, высокой термической стойкостью и малой способностью в кристаллизации, что дает возможность обрабатывать стекло на стеклодувной горелке [9]. Большинство марок химико-лабораторного стекла, имеющих коэффициент термического расширения  $88\text{--}90 \cdot 10^{-7}$ , выдерживает перепад температур в  $120\text{--}140\text{ }^{\circ}\text{C}$  [81]. По составу

промышленные химико-лабораторные стекла можно разделить на 4 категории [80]:

- 1) натриевокальциевосиликатные;
- 2) боросиликатные и алюмоборосиликатные с пониженным содержанием щелочей;
- 3) алюмосиликатные безборные или малоборные;
- 4) кварцевые.

Первая категория стекол характеризуется содержанием 13–20 % щелочных окислов, преимущественно окиси натрия, 5–10 % окиси кальция и 1,5–4 % окиси алюминия. В составе некоторых из них имеется 3–4 %  $B_2O_3$  [80].

Ко второй категории относятся стекла, содержащие от 6 до 18 %  $B_2O_3$  и 4–10 % окиси натрия, а также частично окислы элементов второй группы, главным образом  $BaO$  или  $ZnO$ . Некоторые из них содержат до 5–6 %  $Al_2O_3$  [80].

Третью группу составляют стекла с пониженным содержанием щелочей, в которых борный ангидрид частично или полностью замещен окисью алюминия, количество которой колеблется в широких пределах: от 5 до 20 %. Кроме того, для этих стекол характерно наличие элементов второй группы: магния, кальция, бария [80].

В четвертую категорию входят стекла, содержащие свыше 95 % кремнезема.

Следует отметить, что в последние годы разработан специальный тип циркониевых стекол, отличающихся повышенной щелочеустойчивостью. В их состав входят 12–18 %  $ZrO_2$  [80].

Согласно ГОСТ 21400-75, химико-лабораторное стекло, независимо от состава, подразделяется также на четыре категории:

- ХУ-I – химически устойчивое I класса;
- ХУ-II – химически устойчивое II класса;



ТУ – термически устойчивое;

ТУК – термически устойчивое кварцевое стекло [80].

В таблице 16 приведены важнейшие составы отечественных стекол для химико-лабораторных изделий и химической аппаратуры [81]; в таблице 17 обобщены данные о свойствах некоторых химико-лабораторных стекол, производимых в России и за рубежом [32].

Таблица 16

*Составы стекол для химико-лабораторных изделий, масс. %*

Марка стекла	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ZnO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F	ZrO <sub>2</sub>
№ 23	68,6	2,5	3,46	0,52	8,36	0,8	–	–	9,66	6,10	–	–
№ 29	68,6	–	3,7	0,2	7,5	3,0	–	3,5	10,0	3,0	0,5	–
Ампульное	69,8	8,0	11,8	–	5,2	–	–	–	5,2	–	–	–
Нейтральное НС-1	72,5	6,5	4,0	–	7,0	–	–	–	8,0	2,0	–	–
Термометрическое 16	67,5	2,0	2,5	–	7,0	–	7,0	–	14,0	–	–	–
13-в малощелочное	63,5	–	15,5	–	13,0	4,0	–	–	2,0	–	2,0	–
ЗС-5 электровакуумное	68,2	19,0	3,5	–	–	–	–	–	4,8	4,5	–	–
Ц-32 циркониевое	68,4	–	4,6	–	6,7	2,5	–	–	14,7	–	–	3,1
Пирекс	79,65	12,2	1,93	0,17	0,46	0,17	–	–	3,68	1,74	–	–
Кварцевое	99,95	–	0,01	–	0,03	0,01	–	–	–	–	–	–

Таблица 17

**Свойства химико-лабораторных стекол**

Марка	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^7$	Температура размягчения, °С	Потери в весе при кипячении, мг на 100 см <sup>2</sup> поверхности			
				в дистиллированной воде 5 ч	в течение 3 ч		по DiN 12122 в растворе 1 н NaOH + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
					в 1 н растворе H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	в 2 н растворе NaOH	
№ 23	2,48	89	580±0,8	0,3–0,8	0,2–0,4	55–59	–
№ 29	2,54	89,3	565	0,2–0,7	0–0,3	46–59	36–40
Ц32	2,53	88,6	590	0,4–0,6	0,4	28	37
КС34	2,53	91	–	0,5	0,4	35	33–35
Термостойкое	2,25	33,2	620	0,7	0,4	90	–
№ 13	2,60	50	680	–	–	–	–
T16	2,47	50	680	0,6–0,9	1–1,5	75–79	–
T28	2,49	40	645	0,4	0,3–0,6	79–83	–
Ц14	–	87,1	–	–	–	10,2	–
Ц23	–	65	710±10	–	–	9,8	–
Ц26	–	57,3	730±10	–	–	11,0	–
Uninost	8,495	98	530	–	–	–	II гидролит. класс
Palex	2,45	64,9	582	–	–	–	58,6
G20	2,40	49	570	–	–	–	89
Murano 1922 N	2,39	48	–	По DiN 12111 – I гидролитический класс			
№ 51-A	2,36	48	574	По DiN 12111 – II гидролитический класс			
Multal	2,54	50	670	Водоустойчивость I гидролитический класс			
Sial	2,39	50,6	590	–	–	–	72–90

Стекло № 23 (состав разработан акад. В.В. Тищенко) отличается весьма хорошей устойчивостью к кислотам и воде, но ме-

нее устойчиво к щелочам, очень хорошо обрабатывается на стеклодувной горелке, при нагревании до размягчения и выводе из пламени оно долго сохраняется в рабочем состоянии и легко позволяет производить формовку различных изделий [81].

*Стекло № 29* (разработано кафедрой стекла Ленинградского технологического института им. Ленсовета в 1952 г., сейчас кафедра стекла и общей технологии силикатов СПбГТУ). Разработка состава велась с целью выявления материала, способного заменить дорогостоящую борную кислоту и буру, которые вводятся в шихту для получения в стекломассе борного ангидрида  $B_2O_3$ . В результате установлено, что таким материалом является окись бария, которая вводится в стекломассу в виде тяжелого шпата ( $BaSO_4$ ) или минерала витерит ( $BaCO_3$ ). Стекло этого состава устойчиво к воздействию кислоты, щелочи и воды, хорошо обрабатывается на стеклодувной горелке [81].

*Ампульное стекло* предназначается для изготовления ампул, в которых хранят водные растворы лекарств. Специфические условия службы медицинских стекол вызывают необходимость ограничить до минимума содержание щелочных окислов в стекломассе. В ампульном стекле не должно быть окислов, образующих ядовитые соли ( $PbO$ ,  $As_2O_3$ ,  $Sb_2O_3$ ). На стеклодувной горелке это стекло обрабатывается хорошо [81].

*Стекло нейтральное НС-1* обладает высокой устойчивостью к стерилизации паром в автоклаве при давлении 2 атм. Из этой марки стекла вырабатываются главным образом стеклянные трубки, которые идут на изготовление ответственных медицинских стеклянных изделий (ампул, флаконов, цилиндров для шприцев и т.п.). Обрабатывается на стеклодувной горелке хорошо [81].

Для повышения химической устойчивости внутренней поверхности стеклянных изделий, применяемых в медицине, эти

поверхности обрабатывают кремнеорганическими соединениями (силиконизация), а также производят термическую обработку минеральными солями [81].

*Стекло Термометрическое 16*, как и другие термометрические марки, должно обладать наименьшим термическим последствием, т.е. после каждого нагревания должно сохранять наименьшее остаточное расширение, а при длительном хранении не должно изменяться с уменьшением объема. На стеклодувной горелке стекло марки 16 обрабатывается хорошо [81].

*Стекло 13-в малощелочное* – повышенной термостойкости (состав разработан в ГНИИС). Из этого стекла вырабатываются водомерные трубы, а также трубы, предназначенные для транспортирования горячих жидкостей или в целях дезинфекции подлежащие систематической промывке горячими моющими растворами либо продувке водяным паром. Трубы из этого стекла выдерживают внутреннее гидравлическое давление до 50–60 атм [81].

*Стекло ЗС-5 (С49-2) электровакуумное* применяется для изготовления электровакуумных изделий и при спаивании с молибденом. Основным требованием к этому типу стекла является наличие строго определенного коэффициента термического расширения, что очень важно для прочного и надежного спаивания стекла с металлическим проводником, являющимся обязательной частью любого электровакуумного прибора [81].

*Стекло Ц-32 циркониевое*. Состав предложен Государственным институтом стекла в целях создания более щелочустойчивых стекол. Содержит двуокись циркония, которая вводится в состав через минерал циркон  $ZrSiO_4$ . Стекло не кристаллизуется, обладает высокой водостойчивостью, хорошо обрабатывается на горелке [81].

*Стекло «Пирекс».* Высокое содержание кремнезема и малое количество щелочей обеспечивают этому типу стекла низкий коэффициент термического расширения и, соответственно, высокую термическую устойчивость. Стекло это часто называют термостойким, и действительно, при испытании образцов оно выдерживает перепад температур около 300 °С. Изделия из этого стекла с толстым дном и тонкими стенками менее термостойки. При обработке «Пирекса» на стеклодувной горелке происходит кристаллизация, при температуре ~650 °С на поверхности появляется кристаллическая пленка толщиной ~0,5 мм, затем (при 1020–1130 °С) толщина пленки снижается, а при 1280 °С стекло вновь становится прозрачным [81].

*Кварцевое стекло* является самым ценным в практике лабораторной работы, так как отличается высокой термической стойкостью, огнеупорностью, инертностью по отношению к ряду химических реагентов (кроме плавиковой и фосфорной кислот) [8]. Прозрачное кварцевое стекло пропускает все лучи – от ультрафиолетовых до инфракрасных. Диэлектрические свойства кварцевого стекла весьма высоки. Однако изготовление аппаратуры, изделий и отдельных деталей из кварцевого стекла связано с трудностями, из которых главной является высокая температура плавления (более 2000 °С) и размягчения (1650 °С). Вследствие большой вязкости расплава удаление растворившихся в стекломассе газов также представляет значительные затруднения [81].

*Электродное стекло.* В различных областях науки, промышленности, сельского хозяйства, здравоохранения определение кислотности или щелочности среды проводят с помощью стеклянных электродов. Имеется много разработанных составов для электродного стекла. В среднем они содержат 50–60 % кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ), 10–12 % окиси лития ( $\text{Li}_2\text{O}$ ), 12–18 % окиси цезия ( $\text{Cs}_2\text{O}$ ), 18–20 % окиси лантана ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ). Корпуса электродов изго-

тавливаются из стекла, близкого по коэффициенту термического расширения к электродному. Коэффициент термического расширения корпусного стекла –  $98,5 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Наиболее распространено для корпусов электродов стекло К-1, состав которого, масс. %:  $\text{SiO}_2$  – 61,4;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 3,6;  $\text{BeO}$  – 2,4;  $\text{CaO}$  – 8,1;  $\text{MgO}$  – 0,6;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 8,0;  $\text{K}_2\text{O}$  – 12,0;  $\text{ZrO}_2$  – 3,9 [81].

## 2.9. Медицинское стекло

Медицинское стекло (рис. 20) – обобщенное название разнообразных изделий из стекла, предназначенных для хранения и упаковки лекарственных средств, инъекционных и бактериологических растворов или являющихся предметами ухода за больными [82].



*Рис. 20. Изделия из стекла, применяемые в медицине*

К медицинскому стеклу относятся (табл. 18): аптекарская посуда; флаконы для антибиотиков; ампулы, шприцы и другие предметы ухода за больными; трубки, являющиеся полуфабрикатами для изготовления различных изделий [82].

Таблица 18

**Номенклатура изделий, изготавливаемых из медицинских стекол**

Марка стекла	Производимые изделия
ХТ	Шприцы
ХТ-1	Шприцы (может быть использовано для изготовления бутылок для хранения крови, трансфузионных и инфузионных препаратов и ампул)
НС-1	Ампулы, флаконы, пробирки, детали для приборов
НС-1А	Ампулы, флаконы, пробирки
НС-2 НС-2А	Бутылки для хранения крови, трансфузионных и инфузионных препаратов, аэрозольные баллоны
НС-3	Ампулы, флаконы, пробирки, шприцы
АБ-1	Ампулы, флаконы, пробирки, штанглазная посуда
МТО	Флаконы, банки, предметы ухода за больными
СНС-1	Ампулы, пробирки
ОС, ОС-1	Флаконы, банки

Изделия из медицинского стекла характеризуются *разнообразием формы и размеров*; вместимость тары – в пределах от 2 до 25000 мл, флаконов – от 9 до 25 мл, ампул – от 1 до 60 мл, трубок (дрота) – от 7 до 50 мм в диаметре [83].

Основным требованием, предъявляемым к медицинскому стеклу, является *высокая химическая устойчивость* к соответствующим реагентам. Стекла не должны взаимодействовать с содержащимися в них лекарствами. Это определяет особенности составов стекол. Щелочи, выделяющиеся из обычного стекла при воздействии на него растворов различных препаратов, портят медикаменты, вызывая образование осадка и хлопьев [80]. Кроме того, растворы в ампулах подвергаются стерилизации при 100–130 °С, следовательно, ампульное стекло должно быть стойким к растворам и при нагревании.

Согласно ГОСТ 19808-86, медицинское стекло изготавливается следующих марок (см. табл. 18):

ХТ, ХТ-1 – химически и термически стойкое;

НС-1, НС-1А, НС-2, НС-2А, НС-3 – нейтральное;

СНС-1 – светозащитное, нейтральное;

АБ-1 – щелочное;

МТО – медицинское тарное обесцвеченное;

ОС, ОС-1 – оранжевое тарное.

Для производства стеклянной тары используют кислотные и щелочные соединения: кремнезем (диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ ), борный ангидрид  $\text{B}_2\text{O}_3$ , оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , известняк  $\text{CaCO}_3$ , доломит  $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ . В качестве вспомогательного сырья используют компоненты, необходимые в технологии варки стекла: красители (оксиды металлов); окислители и восстановители (для создания специальной окислительно-восстановительной среды); обесцвечиватели и осветлители – для получения бесцветных стекол [84].

Таблица 19

*Химический состав медицинских стекол*

Марка стекла	Содержание в массовых долях, %								
	$\text{SiO}_2$ $\pm 0,50$	$\text{Al}_2\text{O}_3$ $\pm 0,20$	$\text{B}_2\text{O}_3$ $\pm 0,25$	Сумма $\text{CaO}$ , $\text{MgO}$ $\pm 0,30$	$\text{Na}_2\text{O}$ $\pm 0,25$	$\text{K}_2\text{O}$ $\pm 0,20$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\pm 0,30$	$\text{MnO}_2$ $\pm 0,50$	$\text{BaO}$ $\pm 0,20$
МТО	73,00	2,50	–	10,00	14,50	–	–	–	–
ОС	73,00	2,00	–	10,00	15,00	–	–	–	–
ОС-1	73,00	2,50	–	10,00	14,50	–	–	–	–
АБ-1	73,00	3,00	–	9,50	13,50	1,00	–	–	–
НС-1	73,00	4,50	4,00	8,00	8,50	2,00	–	–	–
НС-1А	74,00	4,60	4,50	6,10	8,70	2,10	–	–	–
СНС-1	67,00	4,10	5,20	6,30	7,50	2,00	2,90	5,00	–
НС-2 НС-2А	73,00	3,50	2,50	8,00	11,00	2,00	–	–	–
НС-3	72,80	4,50	6,00	6,90	8,10	1,70	–	–	–
ХТ	74,00	5,00	8,00	1,20	5,00	2,80	–	–	4,00
ХТ-1	72,00	6,00	10,50	0,80	6,70	1,80	–	–	2,20



Химический состав медицинского стекла некоторых марок представлен в таблице 19 [84]. Физико-химические свойства медицинских стекол должны соответствовать требованиям ГОСТ 19808-86 (табл. 20).

Таблица 20

**Физико-химические свойства медицинских стекол**

Наименование показателя	Норма для марки									
	МТО	ОС-1	АБ-1	НС-1	НС-1А	НС-1	НС-2 НС-2А	НС-3	ХТ	ХТ-1
Термическая стойкость, °С, не менее	125	125	130	150	150	140	145	150	190	170
Коэффициент линейного теплового расширения в интервале температур 20–400 °С $\alpha \cdot 10^7$ град <sup>-1</sup>	89–93	90–94	84–88	68–72	68–72	68–72	78–82	63–67	50–54	54–57
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,47–2,49	2,46–2,48	2,46–2,48	2,44–2,46	2,42–2,44	2,52–2,54	2,44–2,46	2,42–2,44	2,39–2,41	2,37–2,40
Водостойкость, мг Na <sub>2</sub> O на 1 г стекла, не более	0,600	0,650	0,300	0,060	0,065	0,060	0,150	0,050	0,020	0,025
Щелочестойкость, мг/дм <sup>3</sup> , не более	85	90	90	85	85	90	85	100	110	135

## 2.10. Кварцевое стекло

**Кварцевое стекло, плавленый кварц** – однокомпонентное стекло из чистого оксида кремния, получаемое плавлением природных разновидностей кремнезема: горного хрусталя, жильного кварца и кварцевого песка, а также синтетического диоксида кремния [85]. Различают два вида промышленного кварцевого стекла: *прозрачное* (оптическое и техническое) и *непрозрачное* [86]. Непрозрачность кварцевому стеклу придает большое количество распределённых в нём мелких газовых пузырьков (диа-

метром от 0,03 до 0,3 мкм), рассеивающих свет. Оптическое прозрачное кварцевое стекло, получаемое плавлением горного хрусталя, совершенно однородно, не содержит видимых газовых пузырьков. Непрозрачное кварцевое стекло часто служит сырьём для производства термостойкого огнеупорного материала [45].

Кварцевое стекло обладает высокой термостойкостью, огнеупорностью, химической и радиационной стойкостью, оптической прозрачностью в широком диапазоне длин волн, высокими электроизоляционными свойствами [85]. Основные физико-механические свойства кварцевого стекла, которые и определяют сферу его применения, представлены в таблице 21 [89].

Таблица 21

**Физико-механические свойства кварцевого стекла**

Свойства	Значение
<b>Физические</b>	
Молярная масса	60,0844 г/моль
Плотность	2,201 г/см <sup>3</sup>
Предел прочности	~50 Н/мм <sup>2</sup>
Удельная электрическая проводимость при 20 °С	10 <sup>-14</sup> -10 <sup>-16</sup> Ом <sup>-1</sup> м <sup>-1</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь при температуре 20 °С и частоте 10 <sup>6</sup> Гц	0,0025–0,0006
Прочность по шкале Мооса	5,3-6,5
Модуль упругости	73,2 ГПа
<b>Термические</b>	
Температура размягчения	1400 °С
Температура кипения	2230 °С
Температура плавления	1665 °С
Удельная теплоёмкость	1052 Дж/(кг·К)
Теплопроводность	1,38 Вт/(м·К)
Тепловое расширение	0,54×10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>
Интервал трансформации	1130 °С
<b>Оптические</b>	
Диапазон прозрачности	160–3500 нм
Показатель преломления	1,46
Угол Брюстера	55,58°

Используют кварцевое стекло для создания оптических волокон, применяют для изготовления лабораторной посуды, тиглей, оптических приборов, изоляторов (особенно для высоких температур), изделий, стойких к температурным колебаниям [87, 88], термостойких огнеупорных материалов [45]. Незначительное количество отрезков кварцевого стекла используется для изготовления линз Френеля.

## Глава 3

### **ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА, СОРТИРОВКА И ТРАСПОРТИРОВКА ОТХОДОВ СТЕКЛА**

Технология обращения с отходами стекла включает: сбор, транспортировку, обработку (которая в зависимости от получаемой продукции может включать: сортировку, сепарацию, очистку от примесей, отмывку), дробление, помол, получение конечной продукции.

Конечной продукцией при переработке стеклобоя является стеклопорошок различных фракций, а также стеклоизделия и стройматериалы [90]. Среди компонентов ТБО рециклинг стеклобоя считается особенно выгодным. Однако отделение стеклобоя от других твердых бытовых и промышленных отходов — основная трудность при вторичном ее использовании.

В настоящее время существует несколько методов заготовки отходов стекла:

- сбор и сортировка на месте их образования;
- выделение стекла из смешанных отходов на специализированных предприятиях;
- селективный сбор в контейнеры от населения и на территориях общественных и бытовых предприятий [91, 92].

#### **3.1. Сбор отходов стекла на предприятиях**

Стеклобой образуется на всех без исключения предприятиях и составляет значительную часть ТБО. Сбор отходов стекла в

крупных городах осуществляется в основном специализированными предприятиями [94]. Однако не все предприятия стекольного производства принимают на переработку стеклобой со стороны.

Огромный опыт по сбору и переработке стеклобоя накоплен за рубежом [93]. В некоторых европейских странах (например, в Венгрии) стеклобой собирают организации-заготовители вторсырья (макулатуры, резины, отходов текстиля и древесины). Для сбора стеклобоя в местах его возможного образования устанавливают специальные контейнеры. Применяется и передвижной способ сбора стеклобоя – регулярный объезд предприятий и городских жителей. Кроме того, в Венгрии используется такой экономически оправданный способ сбора стеклобоя, как установка крупногабаритных контейнеров предприятиями-приемщиками стекла. Широко применяются передвижные механизированные приемные пункты: стекло не только собирают, но и вручную сортируют по цвету и измельчают [93].

В Германии фирмы, занятые сбором стеклобоя, поставляют его непосредственно на стекольные заводы, проводя предварительную обработку с целью очищения от примесей и получения требуемого размера частиц. Такой стеклобой полностью готов для введения в шихту [93, 95].

В Великобритании рециклингу ежегодно подвергается 16130 тыс. т вышедшей из употребления стеклянной тары, что является результатом выполнения директивы Евросоюза по упаковочным отходам и успешной информационной работы по привлечению населения к программам вторичного использования ресурсов. Внедрению системы сбора стеклянной тары способствуют соревнования между школами, настенные плакаты, установление премий за сбор вторичного сырья, широкое освещение этих мероприятий в средствах массовой информации [93].

В США сбором и переработкой стеклобоя занимаются фирмы, производящие стекло, которые оборудуют пункты сбора и обеспечивают первичную обработку стеклобоя. Установки для его сортировки и переработки, как правило, монтируются непосредственно на стекольных заводах. Аппараты, разработанные специалистами транснациональной компании *Owens-Illinois* – крупнейшего мирового производителя стеклянной тары, состоят из стандартных модулей, быстро и легко монтируются и могут дополняться новыми модулями. Только в США *Owens-Illinois* эксплуатирует 60 таких перерабатывающих производств. Они поставляют для изготовления новых стеклянных контейнеров около 1 млн т измельченного стеклобоя в год [93].

### **3.2. Сбор отходов стекла от населения**

Сдавать стеклянные бутылки, стеклобой в пункты приема для дальнейшей переработки необходимо по целому ряду причин [54].

1. Стекло практически не подвергается биологическому разложению: время разложения простой стеклянной бутылки из-под газировки – 1000 и более лет. Понятно, что без утилизации и переработки вся наша планета за короткий период наполнилась бы стеклянными отходами.

2. Стеклянные изделия хрупкие: разбитое стекло, попавшее в окружающую среду, представляет угрозу и для животных, и для людей.

3. Засоренная стеклом почва неблагоприятна для роста растительности.

4. Повторное использование стеклянной тары и стеклобоя позволяет экономить природные (исчерпаемые и невозобновимые) ресурсы. Например, использование 10 % стеклянного боя

способствует экономии газа на 3 %. Если предприятие, производящее стеклянную продукцию, будет использовать как сырье только бой стекла, то снизит расход газа на 30 %.

5. Повторное использование стеклянной тары и стеклобоя позволяет экономить более 1 т таких применяемых в производстве материалов, как известняк, сода, песок.

6. В России переработке подвергается относительно небольшая доля стеклянных отходов. Но и она обеспечивает сохранение около 10000 га земли и спасения их от превращения в огромные свалки.

7. Стеклянные тары и стеклобой – полностью перерабатываемый материал, т.е. вторичная переработка стекла является безотходной, что крайне важно для защиты окружающей среды.

8. Сдача стеклянной тары в приемные пункты людям оплачивается.

Процесс сбора «бытового» стекла заключается в установке специальных контейнеров (рис. 21), маркированных цветом и соответствующими символами, в которые жители домов выбрасывают пустые бутылки и прочую стеклотару. Согласно статистическим данным, в Германии специальными контейнерами для стеклотары оборудовано более 97 % придомовых территорий. Разработаны машины-автоматы, которые принимают тару у населения, сортируют ее по цвету и измельчают. Они оборудованы микропроцессорами, блоками памяти, лазерными сканирующими устройствами, считывающими универсальный код, нанесенный на этикетки бутылок для учета поступающей стеклотары. Производит их фирма *Environmental products* (США) [93].

Наряду с контейнерным способом сбора стеклобоя в некоторых странах получила распространение поквартирная его заготовка. Эту систему сбора стеклобоя и других отходов предложили специалисты Уэльской архитектурной школы в Великобрита-

нии. Система предусматривает установку в кухонных помещениях сборника, выполненного по типу стандартной секционной кухонной мебели. Он имеет четыре пластмассовых мешка: для бумаги, стекла, металлов и остальных отходов. Основная трудность, по мнению специалистов, связана с необходимостью увеличения площади кухни, поэтому внедрение этой технологии возможно только при строительстве новых зданий. Поквартирный сбор стеклотары проводится также в Австралии (г. Сидней) при участии фирмы *AQI Ltd*. Жителей, участвующих в сборе стеклотары, заранее оповещают рекламным листком и письмами с указанием даты сбора [96].



*Рис. 21. Контейнеры для раздельного сбора отходов*

Значительную роль в утилизации отходов стекла играют пункты приема стекла. Они предъявляют определенные требования к качеству принимаемых отходов стекла. От состояния боя зависит цена, по которой его будут готовы принять. Сдаваемый стеклобой должен быть полностью сухим. Перед сдачей отходов стекла в пункт приема необходимо провести ряд соответствующих подготовительных действий:



- влажные отходы стекла хорошо высушить;
- проверить отходы стекла на отсутствие мусора и элементов из других материалов: посторонние включения в сырье должны отсутствовать, не допускаются примеси пластика, камня, металла и других материалов.

Сдаче в пункты приема стеклобоя не подлежат: лампочки; витражи; цельные окна; посуда; зеркала; стекло, состоящее из нескольких слоев; бой каленого стекла; битое стекло с инородными предметами (камень, пластмасса, железо и т.д.).

В России цена на бой стекла в пунктах приема значительно разнится и зависит от сорта и вида стекла (табл. 22), при этом большую ценность имеет сырье одного цвета, кроме того, как правило, чем больше объем сырья, тем выше его цена. Эрклез, цветное кусковое стекло, получаемое в результате чистки стеклоплавильных печей, стоит значительно дороже.

Таблица 22

*Средняя стоимость различных видов стеклобоя*

Вид стеклобоя	Средняя стоимость, руб./т
Бесцветный	2000–5000
Полубелый тарный	1800–5000
Полубелый листовой	2000–5000
Зеленый	2000–5000
Коричневый	2000–5000
Смешанный (микс)	1500–2300
Эрклез	12000–19000

Промышленные организации, занимающиеся переработкой стекла, ведут закупки в большом количестве и по достаточно высокой стоимости, тогда как частники принимают сырье у населения в малом количестве (несколько килограммов) и по более низкой цене (менее 1000 руб. за 1 т качественного стеклобоя).

### 3.3. Извлечение отходов стекла из отвалов

Зачастую извлечение отходов стекла и других вторичных материальных ресурсов с мусорных свалок и полигонов ТБО производится вручную (рис. 22). В Республике Беларусь, например, за минимальную оплату на сортировке мусора заняты люди, которые находятся под 15-дневным арестом. За восьмичасовой рабочий день бригаде из 20 человек удаётся вытянуть около 2 т перерабатываемого сырья [97].

В европейских странах (например, Беларусь, Польша, Швейцария) на мусорных свалках установлены линии сортировки поступающих отходов. Мусор попадает на движущийся транспортер, а работники полигона в перчатках и респираторах перебирают его. У каждого своя задача: один вылавливает пленку, другой отвечает за ПЭТ-бутылки, третий – за картон и бумагу. ВМР сортируются в специально отведенные контейнеры [98].



*Рис. 22. Ручное извлечение вторичных материальных ресурсов на полигоне ТБО*

Немецкой компанией Günther Envirotech разработана автоматическая сортировочная установка Splitter для разделения твердых бытовых отходов (рис. 23), состоящая из нескольких параллельных валов [99].



**Рис. 23. Линия сортировки SPLITER**

Особенностью этого устройства является движение в двух направлениях, что позволяет разделять мусор по физическим свойствам: весу, форме и размерам.

Кубовидные тяжелые части отбрасываются по направлению движения шнеков, а длинные легкие – по направлению движения валов. Основной мелкий мусор просыпается сквозь щели между валов. Вначале он попадает на конвейер с магнитным сепаратором для отделения железных компонентов, затем на конвейер для отделения неметаллического мусора, который транспортируется непосредственно в сборные контейнеры. Остальной поток мусора направляется по конвейерам в «звездочное» сито, где вновь идет деление на крупную и мелкую

фракции и отделение металлических частиц. Оставшийся материал и является конечным продуктом, который соответствует высококалорийной фракции и используется в виде топлива либо складывается для других целей.

При сепарации твердых бытовых отходов на линиях сортировки стекло извлекается следующими методами:

- «мокрой» сепарацией в циклонах;
- пневматическим отделением в восходящем потоке воздуха по скорости витания;
- сепарацией в метателях с отражательной плитой по упругости и баллистическим свойствам [100].

### **3.4. Сортировка отходов стекла**

Стекланные изделия производятся на основе одинаковых компонентов. Однако в некоторые изделия из стекла (например, в окна, лампочки) добавляются разные примеси, поверхность многих изделий обработана также различными специальными покрытиями, поэтому переработке подлежит только стекло бутылок и банок.

К основным *видам перерабатываемых стекланных отходов* относят:

1) *стеклотару*: стекланные банки и бутылки. Обычно люди собирают и сдают бутылки в специализированные пункты приема, затем осуществляется рециклинг стеклотары с целью ее повторного использования: ее моют, обрабатывают дезинфицирующими растворами, после чего стеклотара вновь может быть использована в качестве емкости для напитков;

2) *стеклобой* (разбитые стекланные емкости) классифицируется в зависимости от цвета (ГОСТ 34035-2016): ПСТ – полубелый тарный стеклобой; ЗС – зеленый стеклобой; БС – бесцвет-

ный стеклобой; ПСЛ – полубелый листовой стеклобой; КС – коричневый стеклобой; СС – смешанный стеклобой.

Согласно ГОСТ 34035-2016, стеклобой бывает 1 и 2 сорта.

Для разных сортов стеклобоя нормируется содержание цветных типов стекла:

- для 1 сорта стеклобоя марок ПСТ, БС, ПСЛ содержание других типов ЗС и КС допускается не более 0,5 %, для 2 сорта – не более 4 %;
- для 1 сорта стеклобоя марок ЗС и КС содержание типов ПСТ, БС, ПСЛ разрешено не более 10 %, для 2 сорта – не более 20 %;
- для 1 сорта стеклобоя КС разрешено содержание боя ЗС не более 7 %, для 2 сорта – не более 15 % (и наоборот).

Дополнительно ГОСТ 34035-2016 допускает содержание в стеклобое примесей армированного стекла, триплексов, металла, зеркал, фарфора, бетона, кирпича, шлака, песка в пределах от 0,2 до 5 % (в зависимости от компонента).

Линейные размеры кусков стеклобоя 1 сорта должны быть от 10 до 50 мм. Допускается содержание в партии стеклобоя кусков размером: более 50 мм – не более 5 %, менее 10 мм – не более 1 %. Размер кусков стеклобоя 2 сорта не нормируют, масса кусков – не более 2 кг [101].

Процесс сортировки отходов стекла состоит из предварительной сепарации и сортировки стеклобоя по цвету.

П.Дж. Марш (*Black Clawson Fibreclaim, Inc.*) предложил метод выделения стеклянного боя из отходов, содержащих стекло вместе с частицами металла и другими устойчивыми к нагреву материалами [102]: смесь подвергается резким температурным воздействиям (повышению или понижению температуры), что вызывает разлом и растрескивание стекла, в то время как структура других компонентов не меняется. Перед последующей меха-

нической обработкой (предпочтительно, даже перед термической обработкой) смесь просеивается или обрабатывается другим методом для отделения мелких частиц. После механической обработки смесь снова просеивается для выделения проходящих через сито мелких стеклянных частиц, в то время как предметы нестеклянного происхождения, сохранившие свои размеры и структуру, остаются на сите.

Процесс, разработанный К-Б. Уэббом (*Carpco, Inc.*), предназначен для отделения стекла от отходов электростатическим методом с применением высокого напряжения [102]. Отходы подвергаются сортировке для выделения фракции 3–37 мм, просушиваются до содержания влаги не более 2 %, направляются на воздушный сепаратор для отделения легких частиц, затем подвергаются магнитному разделению для отделения железосодержащих частиц. После этого с помощью вибрационного транспортера масса подается на верхнюю часть вращающегося заземленного барабана и последовательно подвергается ионным бомбардировкам за счет коронного разряда на электродах и воздействию электростатического поля, создаваемого статическим электродом. Стекло остается на поверхности барабана, другие примеси отделяются в статическом поле.

Процесс Б.В. Мори (*Occidental Petroleum Corporation*) предназначен для выделения очищенного стекла из твердых отходов, которые разделяются на фракцию с преобладанием органических материалов и фракцию с преобладанием неорганических примесей, причем обе фракции содержат стекло [102]. Фракция с преобладанием неорганических материалов далее разделяется на обогащенную стеклом массу, неорганические материалы и органические компоненты (последние отделяются в первую очередь). Фракция с преобладанием органических материалов сначала тонко измельчается и просеивается

для удаления грубых частиц, затем остаток подвергается повторному просеиванию для удаления наиболее мелких частиц. Оставшаяся промежуточная фракция после удаления слишком крупных и слишком мелких частиц подвергается пенной флотации для отделения стекла, пригодного для повторного использования.

Б.В. Мори и У.Р. Уайт также описывают процесс, в котором стекло отделяется от массы неорганических примесей такого же размера флотацией с использованием в качестве эффективного флотационного агента, по крайней мере, одного амина, содержащего минимум один алкильный заместитель [102]. Предпочтительно использовать первичные амины и смеси первичных и вторичных аминов.

Б.В. Мори описан и процесс для выделения стекла из городских отходов [102]. Он включает измельчение и воздушную сепарацию отходов, при которой удаляется верхний взвешенный слой (размер частиц стекла – менее 6 мм); значительную долю собранной фракции составляют частицы менее 20 мм. Полученная фракция просеивается для обогащения стеклянными частицами, очищается и обогащается на пневматическом столе, в результате чего выделяется мелкозернистый продукт с малым содержанием органических примесей и размером частиц менее 6 мм при значительной доле частиц размером менее 20 мм.

В процессе Дж. Шимойзака, А. Коносу, К. Марита, А. Сугие, К. Ишиока (*Yamamura Glass Co., Ltd.*, Япония) для отделения стекла от примесей используется наклонный барабан со спиральной перегородкой, идущей по внутренней поверхности барабана [102]. Поток воды перетекает через спиральную перегородку по внутренней поверхности при ее движении сверху вниз. Отходы стекла подаются во вращающийся с высокой скоростью барабан. Разделение осуществляется методом противо-

тока: вода подается в верхнюю часть барабана, отходы стекла с примесями – в нижнюю часть.

Под действием спиральной стенки вращающегося барабана отходы направляются вверх и вступают в контакт с движущимся навстречу потоком воды. Частицы отходов находятся в воде во взвешенном состоянии. Из-за разницы в сопротивлении напору воды частицы стекла под действием спиральной стенки перемещаются вверх и выгружаются из барабана, в то время как примеси захватываются водой и выходят с противоположной стороны.

Помимо вращающегося барабана, устройство обладает приспособлениями для подачи воды и загрузки отходов. Спиральная перегородка имеет переменную высоту, барабан – ровную внутреннюю поверхность, на которой расположена спиральная перегородка, имеющая вид скрученной ленты. Когда барабан вращается на роликах, отходы стекла подаются питающим устройством в нижнюю часть барабана и под действием спиральной стенки перемещаются из нижней части в верхнюю. Барабан открыт с обеих сторон. В него посредством устройства подается вода с образованием потока, движущегося от верхней части барабана к нижней.

Барабан оснащен также дополнительным устройством для создания сильного динамического потока, который поддерживает в виде суспензии частицы посторонних предметов, имеющих тенденцию осаждаться на дно потока. Поток воды из этого устройства направлен перпендикулярно к поверхности барабана. Привод на роликах имеет регулятор скорости. Спиральная стенка барабана имеет высоту 15–40 мм. Вода должна обеспечивать поток, способный переносить инородные предметы в нижнюю часть барабана над спиральной перегородкой.



Барабан вращается со скоростью 80–300 м/мин (линейная скорость по окружности). Битое стекло подается в барабан посредством питающего устройства. Отходы попадают на поток воды. Посторонние предметы, не обладающие повышенной хрупкостью, не разрушаются и не подвергаются деформации, в то время как частицы стекла крошатся под действием удара при подаче из питающего устройства в барабан. По этой причине инородные предметы (крышки, пробки и т.п.) сохраняют свою пространственную форму и имеют малый удельный вес, так что легко всплывают на поверхность и уносятся потоком. Это же происходит с крышками и упаковками из пластмасс и другими предметами с небольшим удельным весом.

Металлические крышки и прокладки имеют большую тенденцию к погружению, но они все-таки более плавучи по сравнению с осколками стекла, кроме того, обладают способностью застревать между частицами стекла и оседать вместе с ними на внутренней поверхности барабана.

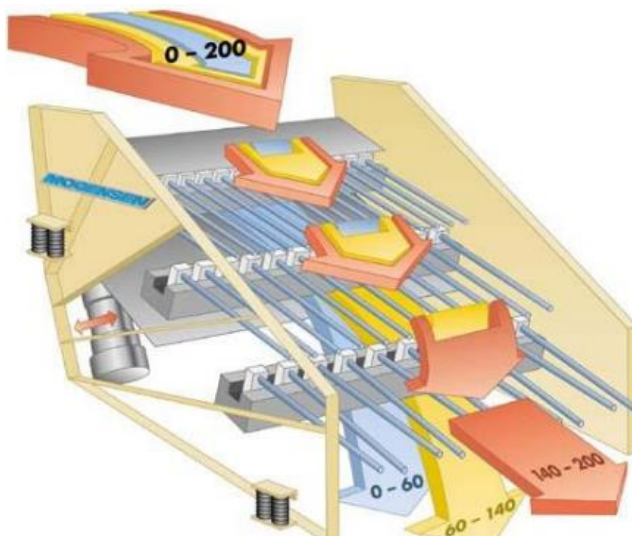
По мере продвижения стекла в верхнюю часть оно очищается и выгружается через верхнюю часть барабана. Ленточные транспортеры с отверстиями для стока воды в приемники принимают и транспортируют выгружаемые отходы и очищенное от примесей стекло. Вода подается в устройства с помощью насосов.

Пример линии сортировки отходов стекла представлен на рисунке 24 [103]. На этапе предварительной сепарации происходит удаление крупных частиц черного металла, крупногабаритных предметов, органического материала, раздавливание металлических пробок от бутылок, дробление материала, удаление мелких металлических частиц (черного и цветного металла), предварительное просеивание (рис. 25), ручная сортировка, отсеивание пробок (рис. 26), классификация материала [103].

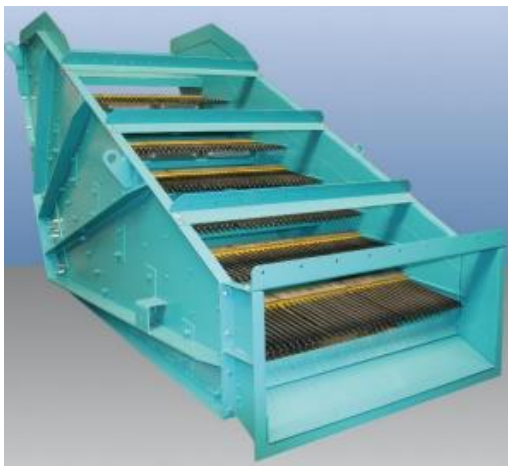


**Рис. 24. Линия сортировки отходов стекла:**

1 – подача; 2 – устройство отделения камней, керамики и фарфора;  
3 – устройство отделения черных металлов; 4 – устройство отделения цветных металлов; 5 – устройство отделения пробок и крышек; 6 – устройство удаления бумаги и пластика

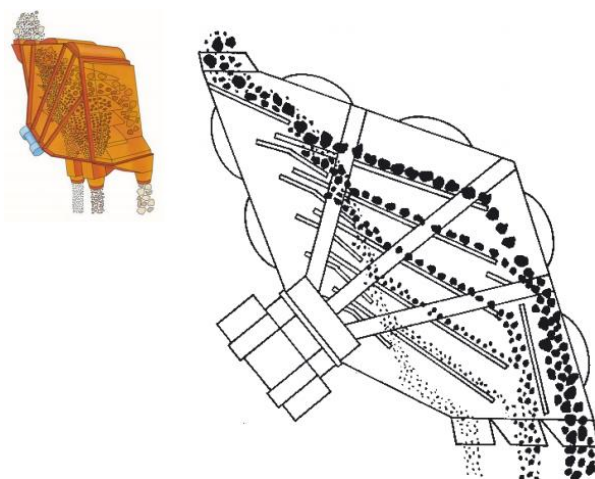


**Рис. 25. Схема работы виброспрунгового грохота для предварительного просеивания стеклобоя**



*Рис. 26. Сито для удаления пробок из стеклобоя*

Классификация отходов стекла производится на грохотах (рис. 27) с разделением потока на три фракции: меньше 8 мм; 8–16 мм; 16–50 мм.



*Рис. 27. Принцип работы грохота для классификации*

Часто сортировка стекла производится вручную, но это медленный и опасный процесс. Для того чтобы увеличить объемы использования стеклобоя производителями стекла, за рубежом все шире применяют автоматизированные системы сортировки стекольного боя по цвету.

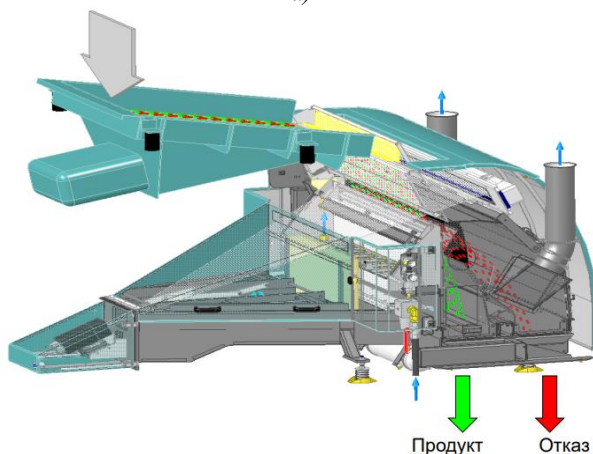
Компанией *Mogensen GmbH* (Германия) разработаны автоматизированные оптоэлектронные системы для классификации различных типов стекла, предназначенного для вторичной переработки. Установка *MikroSort® AX* (рис. 28) разработана специально для сортировки больших объемов сильно загрязнённого пустотелого стеклобоя в диапазоне зернистости 5–60 мм и отвечает многим требованиям, предъявляемым к сортируемому материалу [3, 93].

Как правило, требуется, чтобы стеклобой, предназначенный для вторичной переработки, подвергался мокрой очистке только в редких случаях, но из-за хранения под открытым небом он часто является влажным. Кроме того, стеклянные отходы содержат прилипший мелкий материал, бумагу, металлические и органические остатки. При получении конечного продукта должны быть учтены цветовые нюансы: отделены керамические осколки от белого стекла с бумажными этикетками, белое стекло от светло-зелёного и т.д. [3, 93].

Чтобы удовлетворить всем этим требованиям, процесс сортировки разбит на несколько этапов. Сначала стеклянный бой подается ковшовым загрузчиком в приемный бункер, откуда вибропитателем направляется в ковшовый элеватор и затем на грохот. Более крупный материал отделяется на верхней сетке, в то время как более мелкий (менее 8 мм) проходит через сетку. Частицы крупнее 8 мм направляются на электромагнитный питатель, который создает равномерный слой, состоящий из единичных кусков стекла, и направляет их к системе сортировки *MikroSort® AX*.



а)



б)

**Рис. 28. Установка MikroSort®AX (Mogensen GmbH, Германия):**

а – общий вид; б – схема работы

Стекло сканируется в виде «завесы» шириной около 1,2 м оптической системой с высоким разрешением для удаления с помощью специального устройства сжатым воздухом на другой конвейер кусков, например, коричневого стекла, составляющего

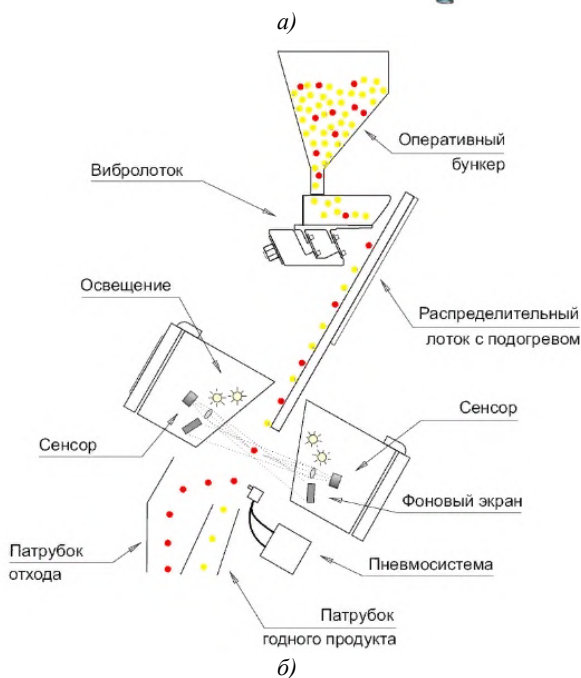
в общем потоке около 30 %. Для анализа и оценки полученных данных используется технология на основе быстрых параллельных процессоров. Выделенные два отдельных потока подаются на конвейерные ленты и разгружаются в бункера запаса. В зависимости от материала, гранулометрического состава и количества отбраковки можно проводить сортировку со скоростью от 8 до 10 т/ч [93].

Установка *MikroSort® AX* имеет 16 различных программ, которые позволяют выполнить множество других манипуляций, включая сортировку массовых промышленных стекол и оптического стекла, для того чтобы получить фракцию бесцветного стекла и отделить смешанное цветное стекло от бесцветного. При этом применение систем *MikroSort® AX* не ограничивается стекольной промышленностью. Их можно использовать и для классификации таких материалов, как металлы, пластмасса, руда, древесина, керамика и др. [93].

Корпорация *S+S (Separation and Sorting Technology GMBH, Германия)*, ведущий мировой разработчик и производитель систем детекции, сепарации и сортировки, предлагает системы сепарации стекла, основанные на рентгеновской трансмиссии, которые классифицируют и сортируют различные виды стекла на основе его химического состава: отделяют примеси, содержащие определенные металлы, а также включения определенного цвета [93].

Сепарация (извлечение) механических примесей осуществляется следующими способами: металлические (магнитные) включения извлекаются при помощи магнитных сепараторов; включения из цветного металла, керамики и т.п. выделяются из общей массы стеклянных отходов на установках грохочения [104]. Могут использоваться комбинированные фотосепараторы (рис. 29), которые позволяют разделять стекло и пластики по цвету, магнитным и немагнитным металлическим включениям, в автоматическом режиме

удалять различные металлосодержащие примеси, а также примеси другого цвета из потока сыпучих материалов.



**Рис. 29. Фотосепаратор «Чжихуа» (компания TAINO):**  
*a* – общий вид; *б* – принцип работы

Эффективность фотосепаратора зависит от однородности материала, поступающего на сортировку, поэтому все конструкции оснащаются многоуровневыми транспортными системами и многоступенчатыми лотками. Процесс сканирования включает в себя два этапа: разделение по цвету и разделение по светоотражающей способности (плотности) стекла.

Бой стекла одного сорта подаётся в строго определённый лоток. После процесса первичного сепарирования частицы подаются ко второму сканеру, который выполняет разделение стекла одного сорта на фрагменты примерно одинаковых размеров в плане. Все сканеры этого уровня оснащаются встроенным инфракрасным источником, а также осветительными приборами на базе экономичных LED-светильников. Это позволяет своевременно определять посторонние частицы (металл, пластик и проч.), которые попали в сканирующее устройство. При использовании цветных сканеров необходимости в этом нет, поскольку разные величины оптической плотности позволяют отсоединить посторонние материалы от стекла ещё на первой стадии разделения [105].

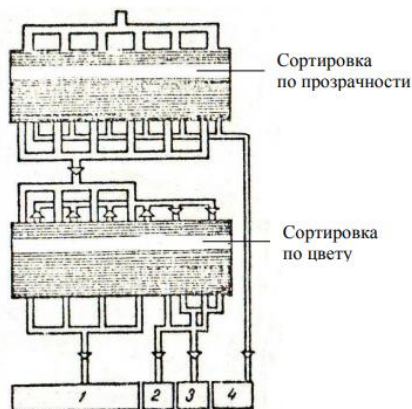
Неидентифицированные частицы стеклобоя по транспортёрам отправляются на повторное сепарирование, после которого эффект отделения составляет 99,9 %. В дальнейшем через эжекторную насадку, которая расположена в нижней части фотосепаратора, отсортированные частицы перемещаются в приёмную камеру. Недостатком фотосепараторов является необходимость их тщательного регламентного обслуживания, а также частая очистка оптических поверхностей сканеров: при их загрязнении процент брака резко увеличивается.

Фирма *Sortex Company of North America* (США) запатентовала установку для сортировки стеклобоя *по прозрачности*, которая предназначена для удаления из него частиц керамики, камней и т.п. материалов [96]. Она представляет собой камеру, в которой в



затемненной коробке с щелью размещен источник света (например, флуоресцентная труба). Свет от источника, проходящий через щель, фокусируется линзой на светочувствительных элементах, в качестве которых могут быть использованы фотодиоды, регистрирующие интенсивность светового потока. Система фотодиодов обеспечивает высокую разрешающую способность в плоскости щели. При прохождении частицы между источником света и фотодиодами ослабляется световой поток, попадающий на фотодиоды. В зависимости от степени ослабления, регистрируемой автоматическими датчиками и приборами, производится сортировка частиц по прозрачности.

Наибольшую известность получила фотометрическая установка для сортировки стеклобоя *по цвету*. Частицы стекла из бункера по желобу поступают на транспортер и под действием собственного веса падают в фотометрические камеры, в каждой из которых в центре размещена лампа, а по периферии – несколько фотоэлементов, против которых установлены экраны. Каждый фотоэлемент снабжен системой линз, улавливающих отраженный от частиц стекла свет, и электрически связан токопроводами с пультом управления, который, в свою очередь, соединен токопроводами с воздушными клапанами. Свет, отраженный от частицы, воздействует на фотоэлемент, а возникающий сигнал, определяемый оптическими свойствами частицы стекла, передается на пульт управления. Если величина сигнала ниже заданного значения, то дается команда на открывание клапана, который подает воздух в сопло. Воздушная струя воздействует на траекторию движения частицы, отклоняя ее. Таким образом, частицы бесцветного и цветного стекла собираются по разные стороны от перегородки. На рисунке 30 представлена блок-схема потоков стеклобоя, выделенного из бытовых отходов, процесса его сортировки по прозрачности и цвету и получаемые при этом продукты [96].



**Рис. 30. Сортировка стеклобоя (Sortex, США):**  
1 – прозрачное стекло (55 %); 2 – желтое стекло (13 %);  
3 – зеленое стекло (14 %); 4 – захоронение

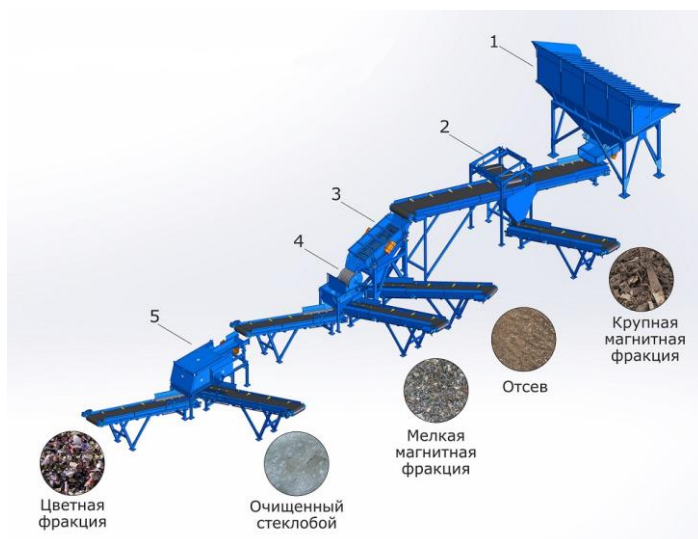
Более производительный процесс сортировки стекла по цвету, основанный на другом принципе, предложен фирмой *Occidental Petroleum Corp.* (США) [96]. Он основан на использовании различных магнитных свойств зеленого (парамагнитные), янтарного (нейтральные) и бесцветного (диамагнитные) стекла при воздействии на него сильного магнитного поля, имеющего градиент в направлении, перпендикулярном направлению движения стекла.

Измельченное стекло подается в наклонный лоток, совершающий продольное колебание, под действием которых частицы движутся вниз вдоль лотка. Лоток находится между полюсами магнита, которые у одного края лотка расположены ближе друг другу, чем у другого, создавая градиент напряженности поля. Лоток наклонен под углом  $6\text{--}20^\circ$  в сторону зоны более сильного магнитного поля.

При совместном воздействии магнитных и гравитационных сил парамагнитные и нейтральные частицы зеленого и янтарного стекла движутся к нижнему продольному краю лотка: зеленые частицы устремляются в зону с большей напряженностью магнитно-

го поля, а янтарные – перемещаются вдоль лотка под действием гравитационных сил. Диаманитные бесцветные частицы движутся в зону меньшей напряженности магнитного поля, к верхнему продольному краю лотка. Разделительная стенка у нижнего конца лотка позволяет отбирать с одной ее стороны бесцветное стекло, а с другой – смесь янтарного и зеленого. Если лоток наклонен вдоль продольной оси в противоположную сторону, то можно отделять смесь бесцветного и янтарного стекла от зеленого [96].

НПО «ЭРГА» разработана и изготовлена типовая линия ВМС-1 (рис. 31) для переработки дробленого стеклобоя с непрерывной производительностью до 7 т/ч [106]. Она укомплектована магнитными сепараторами, которые обеспечивают извлечение черных и цветных металлов различной крупности, в линию интегрированы приемные бункеры, виброгрохот и конвейеры.



**Рис. 31. Линия переработки стеклобоя ВМС-1:**

- 1 – приемный бункер с колосниковой решеткой;  
2 – подвесной сепаратор СМПА; 3 – виброгрохот ГВ;  
4 – барабанный сепаратор БСМ; 5 – вихретоковый сепаратор СМВТ

Разработанные на НПО «ЭРГА» комплексные линии переработки позволяют эффективно очищать стеклобой любой загрязненности. Данные линии комплектуются в зависимости от условий сепарации и задач заказчика и могут включать [106]:

- приемные бункеры и вибропитатели – для усреднения и регулировки производительности, а также для распределения равномерной нагрузки по рабочей поверхности;

- подвесные магнитные сепараторы ручной или автоматической разгрузки типа СМНР, СМПА – для удаления крупных металлических включений;

- шкивные магнитные сепараторы типа СМБ – с целью извлечения крупных и средних сильномагнитных включений;

- вибрационные грохоты одно- и двухдечные типа ГВ – позволяют классифицировать стеклобой по крупности с возможностью дальнейшего вывода в отходы мелких классов ( $-5+0$  мм) и доизмельчения более крупных ( $-100+20$  мм);

- барабанные магнитные сепараторы типа БСМ и СМБМ – для удаления мелких сильномагнитных и слабомагнитных примесей;

- вихретоковые сепараторы типа СМВТ – для удаления крупных и мелких цветных металлических включений;

- металлодетекторы типа ДСМ – выполняют контроль качества стеклобоя на наличие случайно попавших посторонних примесей.

### **3.5. Транспортировка и подготовка к переработке отходов стекла**

Стекланный бой можно транспортировать всеми видами транспорта в соответствии с правилами перевозок, действующими на данном виде транспорта (ГОСТ 34035-2016. Упаковка стеклянная. Бой для стекловарения. Общие технические условия).

Перед загрузкой транспортные средства должны быть чистыми и сухими. Допускается, по согласованию с потребителем, применять крытые вагоны. На практике перевозка отходов стекла осуществляется: на машинах типа КамАЗ, оснащенных весами (прямо на кузове) для взвешивания и клешней для загрузки стеклобоя; самосвалами с прицепом; полуприцепами (еврофурами) вместимостью 20 т; по железной дороге в хорошо зачищенных полувагонах с нижними разгрузочными люками (по данным компании VSS [107], общий объем внутрироссийских железнодорожных перевозок стеклобоя в апреле-мае 2017 г. составил 26 тыс. т (287 поставок)). Некоторые компании осуществляют перевозку на машинах с гидролифтом (рис. 32).



*Рис. 32. Грузовая машина с гидролифтом*

Стеклобой складывается насыпью в коробки, биг-бэги или другие емкости (рис. 33), а тара паллетируется: берут поддон, на который кладут лист картона, 1000 бутылок выкладывают в 5 рядов в высоту и заматывают полиэтиленовой пленкой (рис. 34).



*Рис. 33. Способы упаковки стеклобоя для перевозки транспортом*



*Рис. 34. Паллета со стеклотарой*

Для перемещения поддонов-паллетов необходима тележка (или погрузчик).

В апреле-мае 2017 г. поставщиком грузов стеклобоя и тары стала 61 фирма. Наибольшие объемы перевозок приходятся на следующие предприятия-отправители: ООО «ТК Стеклоинвест-групп», ООО «ЯВТ», ООО «ХТТ». Получателями грузов стали 35 предприятий, наибольшие объемы приходятся на ООО «Алекс Трейд», ООО «Стеклотех»; АО «КМС». В июне-августе 2017 г. [108] общий объем внутрироссийских железнодорожных перевозок стеклобоя составил 43651 т. Поставщиками стеклобоя стали 67 фирм, получателями – 40 предприятий.

На перерабатывающее предприятие стеклобой поставляют партиями, состоящими из боя одного цвета и одного сорта (ГОСТ 34035-2016). Каждая партия при этом сопровождается документом, содержащим:

- наименования страны и организации, поставляющих бой;
- юридический или фактический адрес организации;
- условное обозначение боя для стекловарения с указанием количества примесей;
- массу партии;
- дату отгрузки.

Допускается также иная информация, подтверждающая качество стеклобоя.

На предприятии партию дополнительно проверяют на соответствие заявленному качеству: отбирая пробы, устанавливают качество и количество примесей, сорт, цвет и размер фракции.

Стеклобой хранят на специальных площадках с твердым покрытием и/или в отдельных отсеках, исключаяющих его загрязнение или смешивание по цвету и сорту.

На перерабатывающем предприятии стеклобой дополнительно сортируется по размеру и цвету, из него извлекаются посторонние предметы:

- металлические включения убираются с помощью магнитов;
- другой мусор (керамика, бумага, пластик и проч.) – на грохотах.

Очищенный стеклобой дробится шредерами: размер частиц зависит от оборудования и потребностей дальнейшего производства.

Последующий процесс проводится в соответствии с целями и задачами организаций: одни только сортируют и дробят стекло, другие – переплавляют сырье и изготавливают определенную продукцию.



## Глава 4

### **ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ СТЕКЛА**

Переработка отходов стекла необходима как для защиты экологии нашей планеты и экономии природных ресурсов, так и для удешевления производства стеклянных изделий и материалов [109]. Современные предприятия для переработки стекла в основном используют:

- автоматические системы сортировки стеклобоя по цвету и оттенку;
- емкости для сортированного боя;
- мойки для грязного боя с остатками бумаги;
- разные виды фильтрующих сит;
- электромагнитное и вакуумное оборудование;
- дробилки;
- ленточный конвейер;
- упаковочные системы [110–112].

Использование оборудования для переработки стекла зависит от того, что требуется получить после переработки. Например, для производства вторсырья не нужно использовать дробильные установки, и специалисты осуществляют бой отходов стекла вручную, но чтобы измельчить стеклобой на фракции нужного размера, необходимо применять специальное оборудование для дробления, которое можно выбрать из множества установок как зарубежного, так и российского производства [110–112].

Срок работы оборудования, использующегося для переработки отходов стекла, зависит от размеров боя, подающегося на вход, а также от размеров, которые должны получиться на выходе. Если на вход подается фракция размером около 300 мм, а в результате должен получиться кусочек в 50 мм, то процесс дробления состоит из нескольких шагов: специалисты утверждают, что 7–8-кратное дробление является оптимальным [111, 112].

При утилизации отходов стекла предпочтительнее использовать технологии, которые не влияют отрицательно на природу, не требуют больших энергетических затрат, поэтому популярны современные перерабатывающие системы сортировки и последующего расплавления стекла по инновационной «газовой» технологии [113, 114].

#### **4.1. Очистка отходов стекла от загрязнений**

**Мойка бутылок** – одна из важнейших операций при фасовке пищевых жидкостей, от эффективности которой зависят качество продукции и режим работы всей линии розлива. Это сложный физико-химический процесс. Как правило, сила прилипания (адгезии) загрязнения к поверхности бутылок превышает силу сцепления между частицами загрязнений (силу когезии), поэтому смыв загрязнений затруднен и происходит постепенно, без пленочного срыва загрязнений [115].

Весь процесс мойки бутылок можно разделить на два этапа:

- 1) поверхностное взаимодействие загрязнения и моющего раствора;
- 2) разделение неоднородной системы, состоящей из двух фаз: загрязнение и стекло.

Первый этап, в свою очередь, включает две стадии:

- взаимодействие смываемого вещества и жидкости (набухание), в ходе которого на поверхности бутылок образуется насыщенный раствор или концентрированная суспензия;
- перенос растворенного или суспендированного вещества в моющую жидкость путем диффузии.

Решающими факторами, обуславливающими хорошее качество мойки, являются:

- температура моющих растворов и воды;
- концентрация моющего раствора;
- продолжительность мойки;
- гидродинамическое воздействие струи моющего раствора и воды при внутреннем и наружном шприцеваниях банок;
- частота заполнения банок моющими растворами и др.

Температурный режим в моечных машинах во избежание термического боя бутылок должен предусматривать постепенное нагревание и последующее постепенное охлаждение. Нагревание и охлаждение бутылок проводят ступенчато при перемещении их из одной зоны в другую; максимально допустимый перепад температур в соседних зонах не должен превышать: 30...35 °С – при нагревании; 25 °С – при понижении температуры. Предельная температура моющих жидкостей обычно не более 85 °С. Массовая доля щелочных растворов колеблется в пределах 0,5–2,0 % [115].

Фирма *Raute Precision* предлагает запатентованную технологию *Krysteline* [116]. Процесс относительно прост, но достаточно уникален из-за использования имплодера. Отходы стекла с помощью питателя подаются в имплодер через магнитный сепаратор, защищающий машину от металлических частиц большого размера. Затем материал проходит через головной грохот к электромагнитному сепаратору и далее к станции вакуумной сепарации и сушилке.

Обрабатываемый материал рециркулирует в цикле до тех пор, пока частицы стекла не будут соответствовать требуемым размерам. Загрязнения, содержащиеся на стекле, удаляются в сушилке и на ситах грохота, этикетки и пробки удаляются в вакуумной станции или же сгорают в сушилке, земля (почва) высушивается и в виде пыли также удаляется из стекла на стадии вакуумной сепарации. Отходящие газы проходят через специальный фильтр, поэтому выбросы пыли очень низкие.

Освобожденный от посторонних включений стеклобой подвергается промывке в скруббер-бутаре (рис. 35).



*Рис. 35. Скруббер-бутара*

Скруббер-бутара – бочечный или барабанный грохот-дезинтегратор с моющей (скруббер) и сеющей частью (бутара), а также с системой размыва и орошения, используемый для дезинтеграции исходного компонента. Мойка оборотной тары затруднена, так как требуются жесткие температурные режимы и активные детергенты. Машины для мойки стеклотары изготавливают в зависимости от типоразмера банок.

Современные *машины для мойки бутылок* можно классифицировать [115]:

- *по назначению* – универсальные и специализированные (для определенной отрасли промышленности);
- *способу мойки* – шприцевальные, отмочно-шприцевальные и отмочно-шприцевальные с механической обработкой бутылок ершами и щетками;
- *кинематическим признакам* – конвейерные (цепные и бесцепные), барабанные и карусельные;
- *количеству отмочных ванн* – одно-, двух- и многованные;
- *конструкции транспортирующего органа* – машины с цепным и бесцепным транспортером бутылконосителей, барабанные или роторные (с горизонтальной осью вращения барабана), карусельные (с вертикальной осью вращения барабана);
- *характеру движения транспортирующего органа* – машины прерывистого движения (циклические) и машины непрерывного движения;
- *степени механизации* – с ручной загрузкой и выгрузкой бутылок, с ручной загрузкой и автоматической выгрузкой бутылок, с автоматической загрузкой и выгрузкой бутылок;
- *месту расположения устройств для загрузки и выгрузки бутылок* – одно- и двусторонние.

Наибольшее распространение получили отмочно-шприцевальные машины с цепным транспортером бутылконосителей.

Современные бутылкомоечные машины независимо от марки имеют следующие *основные элементы* [115]:

- механизмы загрузки и выгрузки бутылок;
- бутылконосители;
- механизм перемещения бутылконосителей;
- устройство для отбора этикеток;
- шприцевальные устройства;

- привод;
- подогреватели раствора в ваннах.

В таблице 23 представлены технические характеристики некоторых машин для мойки стеклянной тары.

Таблица 23

*Техническая характеристика машин для мойки тары*

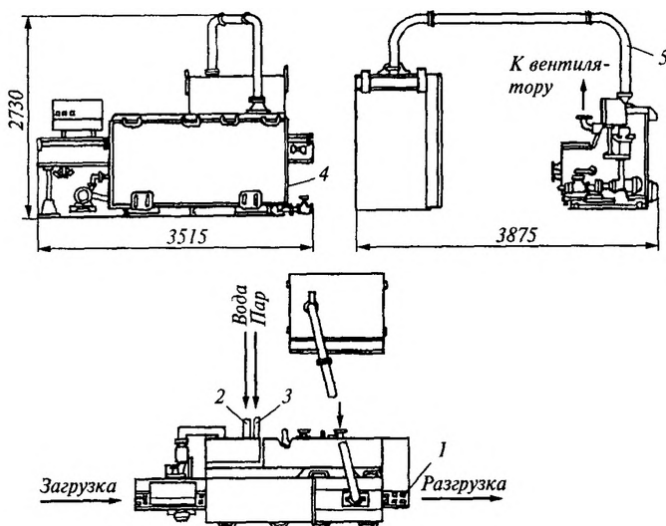
Показатель	СП-60М	И2-КАМ-6	АММ-6
Производительность, шт./мин	50	100	6000
Температура воды, °С:			
- моющей	45–50	70–75	
- ополаскивающей	50–55	50–55	
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	7,1	6,55	6
Давление пара, МПа	0,4–0,5	0,4–0,5	
Расход пара, кг/ч	–	550	260–450
Насос:			
- подача, м <sup>3</sup> /ч	–	–	
- развиваемое давление, МПа	–	–	
- мощность, кВт	7,5	2×7,5	
Электродвигатель привода:			
- мощность, кВт	0,8	1,7	31
- частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1350	950	
Габаритные размеры, мм:			
- длина	6400	5000	8100
- ширина	2500	2800	5350
- высота	2740	2740	2750
Масса, кг	8100	6500	5950

Современные бутылкомоечные машины материалоемки. Установлено, что габаритные размеры, масса машины, приведенные затраты существенно зависят от правильно выбранного числа зубьев звездочки и шага цепи бутылконосителей, количества гнезд в бутылконосителе и других факторов, которые необходимо учитывать при проектировании [115].

Качество вымытых бутылок определяют по следующим показателям: физической чистоте, бактериальной чистоте и отсутствию остатков моющего раствора в бутылке. Моечные машины должны обеспечивать:

- чистоту отмываемого объекта;
- исключение боя или деформации (для жестяных банок) тары;
- минимальный расход воды и энергии;
- механизацию погрузочно-разгрузочных работ;
- простоту и надежность в эксплуатации, безопасность обслуживания [115].

**Моечно-сушильная машина «Тайфун» А9-КМС** (рис. 36) предназначена для мойки и сушки наполненных стеклянных банок [115]. Цепной транспортер 1 представляет собой спаренную вертикально-замкнутую цепь с фрезерованными с одной стороны внутренними пластинками, на которых стоят банки. Привод транспортера осуществляется от электродвигателя через ременную передачу, редуктор и цепную передачу.



**Рис. 36. Моечно-сушильная машина «Тайфун» А9-КМС:**

1 – цепной транспортер; 2 – коммуникации воды; 3 – коммуникации пара;  
4 – станина; 5 – коммуникации воздуха

Станина 4 представляет собой сварную каркасную металлоконструкцию, на которой монтируются все узлы и механизмы. Нижняя часть станины служит баком рециркуляционной воды. Для мойки банок в машине используется рециркуляционная вода, а для ополаскивания их – проточная вода. Подача рециркуляционной воды осуществляется насосом.

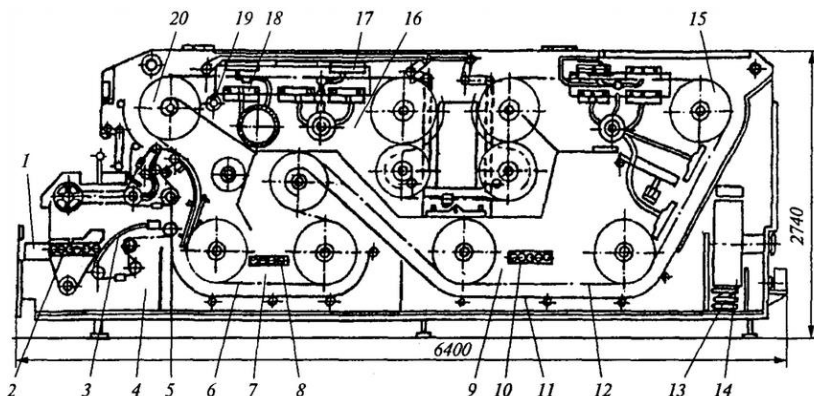
Для предварительного обогрева холодных банок, поступающих на мойку, перед моющими коллекторами установлен П-образный коллектор, через отверстия которого пар попадает на поверхность банки, несколько обогревает ее, тем самым предотвращая термический бой в зоне интенсивной мойки. В коллектор подводится водопроводная вода, предварительно нагретая до 15–20 °С. Нагрев рециркуляционной воды в ванне происходит в барботере, через отверстия которого пар попадает в ванну с водой. В целях предварительного нагрева и отмочки банок пар поступает непосредственно в коллектор для пара. Для отсоса паров из камеры мойки машина комплектуется центробежным вентилятором, место установки которого зависит от условий в цехе. На сварном основании установлены нагнетатель воздуха и электродвигатель. Воздух от нагнетателя через глушитель звука и воздуховод попадает к насадкам, закрепленным на крышке корпуса машины.

Узел электрооборудования машины состоит из трех электродвигателей: привода водяного насоса, привода нагнетателя, привода транспортера. После предварительного подогрева моющей воды до нужной температуры кнопкой «Пуск» включают электродвигатель насоса рециркуляционной воды, электродвигатель нагнетателя и транспортера. Одновременно с этим подают водопроводную воду. Поступающие из автоклава загрязненные банки попадают на приемную часть транспортера, затем с помощью дополнительной звезды раздвигаются на определенный шаг и



перемещаются транспортером вглубь машины. Рециркуляционная вода очищается от загрязнений при проходе через фильтр.

Машины типа СП (СП-60М, СП-70, СП-72) (рис. 37) предназначены для мойки стеклянной тары.



**Рис. 37. Машина типа СП:**

- 1 – транспортер; 2 – валковый накопитель; 3 – механизм загрузки; 4 – корпус;  
5 – механизм выгрузки; 6 – двухцепной транспортер;  
7 – первая ванна (предварительного подогрева);  
8, 10, 13 – теплообменник; 9 – вторая ванна (с моющим раствором);  
11 – направляющие; 12 – носители; 14 – механизм удаления этикеток;  
15, 20 – звездочки; 16 – верхняя ванна; 17 – насадки с оборотной водой (90 °С);  
18 – насадки с чистой проточной водой (60 °С); 19 – насадки с паром

Основой машины типа СП является корпус 4 с открытой загрузочно-разгрузочной частью, с боковыми люками и задней дверкой для обслуживания. В нижней части корпуса расположены две отмочные ванны для моющего раствора и воды, а в верхней части – ванна для оборотной воды шприцевания стеклотары [115]. Машины типа СП по принципу действия являются цепными, отмочно-шприцевальными с ритмично-прерывистым движением основного транспортера с носителями.

Банки в машину подаются транспортером 1, затем поступают на валковый накопитель 2, где происходит деление банок по чис-

лу гнезд в носителе. Со стола загрузки банки захватываются планками-толкателями механизма загрузки 3 и заталкиваются в гнезда носителей 12, шарнирно прикрепленных к цепям двухцепного транспортера 6. Носители 12 с банками входят в первую ванну (предварительного подогрева) 7 с водой температурой 40–45 °С. На петле перехода от первой ванны 7 во вторую 9 вода из банок выливается в первую ванну 7, а банки поступают во вторую ванну 9 с моющим раствором температурой 70–90 °С.

В дальнейшем носители с банками движутся вверх по наклонной направляющей и по выходу из ванны 9 шприцуются моющим раствором (в основном для снятия этикеток). Загрязненные банки, пройдя зону предварительного нагрева паром, попадают в зону интенсивной мойки струями воды, далее в зону ополаскивания чистой водой и поступают на сушку струями нагнетаемого из насадок воздуха.

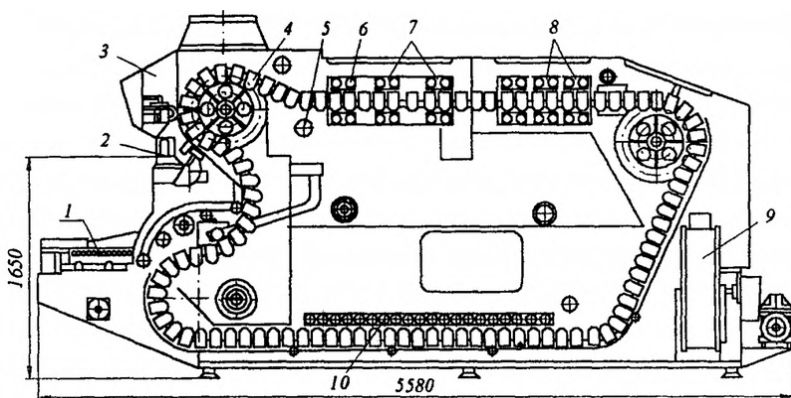
Сушка производится путем сдува капель влаги за счет энергии нагнетаемого воздуха. На верхнем участке основного транспортера банки подвергаются внутреннему и наружному шприцеванию: из насадок 17 – оборотной водой с температурой 90 °С, из насадок 18 – чистой проточной водой с температурой 60 °С. После чистового ополаскивания банки обрабатываются паром из насадок 19. Чистые банки попадают в механизм выгрузки 5 и выводятся из машины.

Вода после предварительного и чистового ополаскивания собирается в верхней ванне 16 и, пройдя фильтр, насосом подается снова на предварительное ополаскивание. Вода в ванне 7 предварительного подогрева стеклотары нагревается теплообменником 8, а в ванне 9 с моющим раствором – теплообменниками 10 и 13. В машине СП-60М в первой ванне предварительного подогрева теплообменник отсутствует, а подогрев воды осуществляется путем подачи оборотной воды из верхней ванны.

Механизм удаления этикеток 14 представляет собой вращающийся сетчатый барабан, внутри которого размещен лоток для сбора этикеток. Моющий раствор с этикетками засасывается насосом из второй ванны 9 внутрь барабана. Этикетки присасываются к внутренней поверхности сетки барабана, поднимаются вверх, где сдуваются в лоток. Воздушный поток создается вентилятором, установленным в задней части машины. По мере наполнения лоток периодически очищают вручную.

Основной цепной транспортер приводится в движение от звездочек 20, которые вращаются с помощью храпового механизма. Звездочками 15 осуществляется натяжение цепей основного транспортера. Для предотвращения выпадания банок из носителей на нижней ветви основного транспортера установлены направляющие 11.

**Моечная машина И2-КАМ-6** (рис. 38) предназначена для мойки новых и оборотных стеклянных банок вместимостью 0,2 л [115].



**Рис. 38. Моечная машина И2-КАМ-6:**

- 1 – привод загрузки; 2 – привод выгрузки; 3 – корпус; 4 – цепи с банконосителями; 5 – позиция обработки паром; 6 – позиция обработки водопроводной водой; 7 – позиция обработки горячей оборотной водой; 8 – позиция обработки раствором щелочи; 9 – механизм удаления этикеток; 10 – трубчатый подогреватель

По принципу действия машина является цепной, отмочно-шприцевальной, с ритмично-прерывистым движением основного транспортера с носителями. Загрузка и выгрузка банок из машины механические.

Корпус 3 представляет собой сварную конструкцию из листовой стали, в нижней части которой имеется ванна для моющего раствора, а в верхней – ванна для горячей воды. На корпусе машины смонтированы механизмы привода машины: загрузки 1 и выгрузки 2 банок, цепи с банконосителями 4, системы шприцевания банок и подогрева раствора и воды в ваннах, смыва этикеток и удаления их из ванны. В корпусе 3 предусмотрены люки для чистки и мойки ванн. Внутри корпуса смонтированы валы со звездочками, по которым обкатываются две втулочно-роликовые цепи. Между цепями подвешены 98 носителей, каждый из которых представляет собой сварную конструкцию с 16 гнездами для банок.

Привод машины осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу к червячному редуктору, от которого через цепную передачу приводится во вращение кривошипный вал. Кривошип через тягу и храповое зацепление периодически проворачивает ведущий вал, который за каждый оборот кривошипного вала протягивает цепи с носителями на один шаг. В конструкции привода предусмотрен вариатор из двух раздвижных дисков, представляющих собой шкив с изменяющимся диаметром. Вариатор позволяет плавно регулировать производительность машины, настраивая ее на производительность линии. Для шприцевания внутренней и наружной поверхностей банок моющим раствором и водой служат шприцевые трубы, жидкость к которым подается насосами.

Для подогрева моющего раствора в отмочной ванне установлен трубчатый подогреватель 10. Водопроводная вода подогрева-

ется барботажем пара непосредственно в воду и после шприцевания сливается в водяную ванну, а избыток воды поступает к коллектору предварительного обмыва, расположенному под столом загрузки.

Механизм загрузки банок состоит из аккумулятора банок, направляющих цепей, стола загрузки банок и двух цепей с планками. Аккумулятор представляет собой стол, выполненный в виде вращающихся в одном направлении валиков. Над валиками расположены устройства, разделяющие движущиеся банки на ручьи, расстояние между которыми равно шагу гнезд в носителях. Банки в носители подаются непрерывно двумя движущимися планками, закрепленными на двух цепях, привод которых осуществляется через предохранительную кулачковую муфту. Цепи движутся по направляющим и звездочкам. Подвод банок в машину и отвод их из машины выполнены с правой стороны, но при необходимости легко могут быть изменены на левую. Банки подводятся к машине и отводятся из нее пластинчатыми транспортерами с отдельными приводными станциями. Банки со стола загрузки подаются в гнезда носителя и находятся в них в течение всего процесса мойки до момента выгрузки из машины.

Носители с банками перед входом в отмочную ванну обмываются водой через коллектор предварительного обмыва. Это необходимо для предварительного подогрева банок. Кроме того, при этом легко смываемые загрязнения удаляются и не загрязняют отмочную ванну. Вода из коллектора предварительного обмыва сливается в канализацию. Затем банки входят в нижнюю ванну с раствором температурой 70–75 °С, проходят зону турбулентного движения моющего раствора и при движении по наклонной направляющей обливаются снаружи щелочным раствором, стекающим после щелочного шприцевания по наклонной стенке ванны.

Носители с банками, выйдя на верхний прямой участок, подвергаются внутреннему шприцеванию и наружному обмыву [115]:

- в шести позициях 8 – раствором щелочи температурой 70–75 °С;
- четырех позициях 7 – горячей оборотной водой температурой 50–55 °С;
- двух позициях 6 – водопроводной водой температурой 50–55 °С;
- в позиции 5 – паром.

Вымытые и простерилизованные банки выгружаются из машины на транспортер выгрузки.

Для удаления этикеток предназначен механизм 9 – вращающийся сетчатый барабан, через который происходит забор жидкости насосом из отмочной ванны. При этом этикетки присасываются к внутренней поверхности барабана и при вращении его сдуваются в специальный лоток. Воздушный поток создается вентилятором, установленным в задней части машины.

При срабатывании той или иной точки блокировки загорается одна из сигнальных лампочек, расположенных на пульте управления, что способствует быстрому определению места неполадки и ее устранению.

**Станок для мойки стеклотары ХР-24** (цифра указывает на количество щёток) (рис. 39) формируется на жёстком сварном каркасе с четырьмя опорными ножками [117].

Стойки каркаса обшиты листовой сталью, образуя резервуар прямоугольной формы. Главный двигатель может быть адаптирован для работы как от сети 220 В, так и 380 В (последнее предпочтительно). В срединной части станка вертикально установлен вращающийся барабан карусельного типа. На диске барабана, с фронтальной его стороны, по линии окружности смонтированы горизонталь-

ные неподвижные валы с закрепленными на них щётками. Эти валы служат для установки (насадки на них) единиц стеклотары и, соответственно, для очистки внутренних стенок бутылки.



**Рис. 39. Станок для мойки стеклотары XP-24**  
(ООО «Евразия Восток»)

С тыльной стороны диска имеются приводы для вращения 24 щёток внешней очистки. Их вращающиеся валы выводятся на фронтальную сторону диска и укрепляются кольцом, что обеспечивает высокую стабильность действия каждой щётки. Диск барабана имеет больший диаметр, чем диаметр кольца, поэтому в сборочном состоянии щётки диска и щётки кольца сопоставляются в шахматном порядке. Оператор устанавливает бутылку на щётку диска, при этом она на своей позиции подвергается вращению от воздействия двух боковых приводных щёток кольца. При вращении барабана каждая позиция, поравнявшись с соплом душевой установки, подвергается впрыску воды под давлением.

По предварительной договорённости устройство может быть адаптировано для очистки бутылок специфической формы. Станок для мойки стеклотары XP-24 оснащается системой электрического управления с несложным кнопочным пультом.

**Бутылкомоечные машины** марки АММ («Пищерем», Украина) широко применяются для мойки новых и оборотных стеклянных бутылок вместимостью 250–500 см<sup>3</sup>. Производительность, бут./ч: АММ-3 – 3000; АММ-6 – 6000; АММ-12 – 12000. По принципу действия машины АММ являются цепными, отмочно-шприцевальными [115]. Загрузочным устройством бутылки перемещаются на накопитель, где делятся на отдельные ручки и загружаются в бутылконосители основного транспортера. Основной транспортер переносит бутылки в щелочную ванну, при прохождении через которую они подвергаются воздействию щелочного раствора. Далее с бутылок сбиваются этикетки, бутылки попадают во вторую щелочную ванну, после второй ванны они поступают в зону их обработки методом шприцевания щелочью, а затем водой с постепенным уменьшением температуры. После операции шприцевания механизм выгрузки выгружает бутылки из бутылконосителей и подает их на отводящий транспортер. С целью исключения термического боя перепады температуры между последующими стадиями мойки не должны превышать: 25–30 °С – на участках повышения; 20–25 °С – в районах понижения [115].

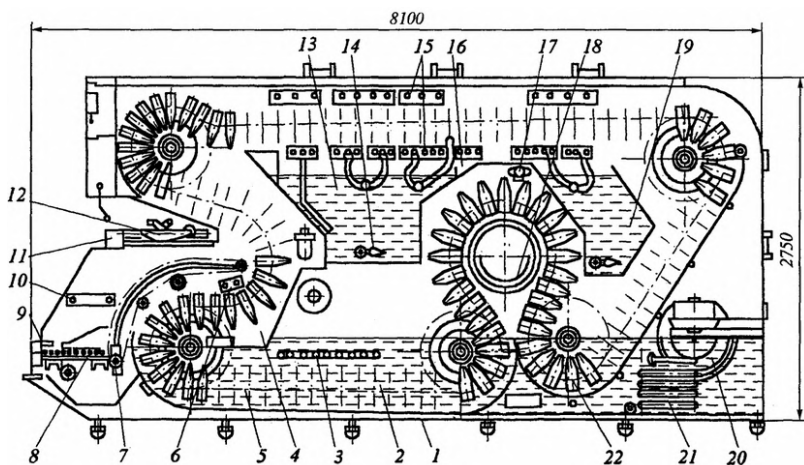
Одной из наиболее распространенных является бутылкомоечная машина БЗ-АММ-6 (рис. 40), технологическая схема которой представлена на рисунке 41 [115].

В сварном корпусе 1 (см. рис. 41) имеются отмочные ванны 2 и 22 и отсеки для теплой воды и щелочного раствора. Внутри корпуса смонтирован транспортер бутылконосителей 5. В передней части корпуса расположены подающий 9 и отводящий 11 транспортеры, накопитель бутылок 8, выполненный в виде многоручьевого рольганга с распределителями, устройство цепного типа для загрузки бутылок 7. На корпусе крепится устройство для выгрузки бутылок 12.





**Рис. 40. Бутылкомоечная машина БЗ-АММ-6**



**Рис. 41. Технологическая схема бутылкомоечной машины АММ-6:**

- 1 – сварной корпус; 2, 22 – отмочная ванна; 3, 21 – подогреватель;  
 4, 16 – поддон; 5 – транспортер бутылконосителей; 6 – трубы;  
 7 – устройство загрузки бутылок; 8 – накопитель; 9 – подающий транспортер;  
 10 – устройство предварительного обмыва; 11 – отводящий транспортер;  
 12 – устройство выгрузки бутылок; 13 – отсек оборотной воды; 14 – барботер;  
 15 – устройство для мойки щелочью и водой;  
 17 – устройство для смыва этикеток; 18 – желоб;  
 19 – отмочный отсек с щелочным раствором; 20 – барабан этикеткоотборника

На левой стороне размещен привод машины, состоящий из электродвигателя, вариатора и червячного редуктора. Здесь же установлены три насосные установки: 1) для смыва отмокших этикеток и создания направленного движения щелочного раствора в отмочной ванне в сторону барабана этикеткоотборника; 2) для мойки бутылок щелочным раствором; 3) для мойки бутылок оборотной водой.

В машине имеются системы мойки бутылок щелочным раствором, горячей, теплой и водопроводной водой. В первой отмочной ванне 2 (щелочной) находится подогреватель 3, а во второй отмочной ванне 22 – подогреватель 21. Особенностью машины является длительная отмочка бутылок в первой отмочной ванне 2 (щелочной), после которой проводится смыв этикеток с бутылок. Этикеткоотборник состоит из желоба 18, вращающегося сетчатого барабана 20, к которому потоком щелочи прижимаются этикетки, вентилятора для сбива этикеток и лотка для их сбора. Подводимые подающим транспортером 9 бутылки поступают на накопитель 8, где обмываются теплой водой, подаваемой из отсека к устройству для предварительного обмыва 10. Устройством 7 бутылки загружаются в гнезда бутылконосителей. Вода из бутылок вместе с легкосмываемыми загрязнениями при движении транспортера бутылконосителей сливается в поддон 4.

Для более эффективного подогрева бутылки перед поступлением в отмочную ванну 2 обмываются снаружи горячей водой, поступающей из поддона 16 в трубы 6. В ванне 2 происходит отмочка загрязнений и этикеток в щелочном растворе. Смытые в устройстве 17 этикетки направляются по желобу 18 к барабану 20 этикеткоотборника и вентилятором сдуваются в лоток. В отмочной ванне 22 и на наклонной ветви транспортера бутылконосителей продолжается отмочка загрязнений в щелочном растворе отсека 19. Установленный в отсеке оборотной воды 13 барботер 14

обеспечивает необходимую турбулизацию потоков воды. На верхней ветви транспортера бутылки подвергаются многократному внутреннему шприцеванию и наружному ополаскиванию щелочным раствором, горячей, теплой и водопроводной водой с помощью устройства для мойки щелочью и водой 15. Вымытые бутылки выгружаются на отводящий транспортер 11. Температура моющих жидкостей регулируется автоматически.

Машинам АММ присущи следующие недостатки [115]:

- они выполнены двухванными, однако первая ванна в них щелочная, и это повышает расход теплоты, несмотря на лучшее качество мойки;
- один отсек оборотной воды 13 (см. рис. 41), что приводит к большому расходу водопроводной воды и допускает вероятность термического боя бутылок при мойке;
- моющий раствор в обеих отмочных ваннах 2, 22 интенсивно перемешивается, вследствие чего уменьшается температура во второй ванне 22 и повышается в первой 2.

Один отсек оборотной воды 13 вызывает необходимость расходовать значительное количество воды для смыва остатков щелочи и однократно использовать горячую воду. Кроме того, установка трубы для второй ступени предварительной обработки бутылок над первой щелочной ванной 2 приводит к разбавлению щелочи, переполнению ванн и уходу раствора в канализацию.

Анализ эксплуатации бутылкомоечных машин позволил выявить *основные направления их совершенствования*:

- повышение единичной производительности машины;
- снижение металлоемкости, определяющей в основном стоимость машины и расходы на ее содержание и ремонт;
- снижение расхода электроэнергии, воды и пара;
- сокращение боя бутылок при мойке [115].

Образование накипи в бутылкомоечных машинах приводит к простоям при ее удалении, а также к перерасходу воды, пара, щелочи, поэтому целесообразно использовать умягченную воду.

Недостаточно эффективно решаются вопросы, связанные с уменьшением загрязнения окружающей среды сточной водой, содержащей щелочь, а также многократно использованным моющим раствором.

Важной проблемой эксплуатации бутылкомоечной машины является и необходимость снижения шума [115]. Это достигается за счет уменьшения скоростей транспортирования бутылок, создания более рациональных конструкций загрузочно-разгрузочных устройств, бутылконосителей и др., установления звукоизолирующих ограждений, оснащения производственных помещений звукопоглощающими материалами и т.д.

## **4.2. Работа с ртутьсодержащими отходами стекла**

Ртуть и ее соединения – вещества с высокой токсичностью (класс токсичности 1) (ГОСТ Р 51768-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Методика определения ртути в ртутьсодержащих отходах. Общие требования, п. 4.1). Одним из самых распространенных источников ртутного загрязнения в городских условиях являются вышедшие из эксплуатации лампы дневного света (люминесцентные) и ртутьсодержащие приборы [118]. Только на предприятиях Москвы ежегодно из 10 млн люминесцентных ламп 6–7 млн выходят из строя. Каждая такая лампа, кроме стекла и алюминия, содержит около 60 мг ртути, следовательно, в 1 млн отработанных ламп находится около 60 кг этого металла. Поэтому отслужившие срок люминесцентные лампы, а также другие приборы, содержащие ртуть, представляют собой опасный источник токсичных веществ. Если

лампы разбиваются, металлическая ртуть испаряется, попадая в атмосферу. При наличии в воздухе закрытых помещений (подъезд жилого дома, школьный подвал и т.п.) паров ртути в концентрации 0,1–0,8 мг/м<sup>3</sup> у людей наблюдаются острые отравления. Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров ртути в воздухе закрытых помещений составляет 0,005 мг/м<sup>3</sup>, в атмосферном воздухе – 0,0003 мг/м<sup>3</sup>, в воде – 0,0005 мг/л, в почве – 2,1 мг/кг [118].

Несоблюдение экологических и санитарно-эпидемиологических требований при сборе, накоплении, использовании, обезвреживании, транспортировании, размещении и ином обращении с отходами производства и потребления, веществами, разрушающими озоновый слой, или иными опасными веществами, влечет наложение административного штрафа (ст. 8.2 КоАП РФ):

- на граждан – от 1000 до 2000 руб.;
- должностных лиц – от 10000 до 30000 руб.;
- индивидуальных предпринимателей – от 30000 до 50000 руб. (или административное приостановление деятельности на срок до 90 сут.);
- юридических лиц – от 100000 до 250000 руб. (или административное приостановление деятельности на срок до 90 сут.).

**Управление ртутьсодержащими отходами** можно разделить на два этапа:

- сбор, хранение и транспортировка отходов в специальных контейнерах к месту переработки;
- непосредственный их рециклинг на специальных установках.

При переработке ламп происходит разделение на стеклобой, люминофор (концентрирующий на своей поверхности ртуть) и металлические компоненты.

**Порядок сбора и накопления отработанных ртутьсодержащих ламп.** Потребители ртутьсодержащих ламп (кроме физических лиц) осуществляют накопление отработанных ртутьсодержащих ламп («Правила обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде», п. 4). Накопление отработанных ртутьсодержащих ламп производится отдельно от других видов отходов.

Не допускается: самостоятельное обезвреживание, использование, транспортирование и размещение отработанных ртутьсодержащих ламп потребителями отработанных ртутьсодержащих ламп; накопление отработанных ртутьсодержащих ламп в местах, являющихся общим имуществом собственников помещений многоквартирного дома, за исключением размещения в местах первичного сбора и размещения и транспортирования до них (Там же, п. 6).

Потребители ртутьсодержащих ламп (кроме физических лиц) для накопления поврежденных отработанных ртутьсодержащих ламп обязаны использовать тару. Органы местного самоуправления организуют сбор и определяют место первичного сбора и размещения отработанных ртутьсодержащих ламп у потребителей ртутьсодержащих ламп (кроме потребителей ртутьсодержащих ламп, являющихся собственниками, нанимателями, пользователями помещений в многоквартирных домах и имеющих заключенный собственниками указанных помещений договор управления многоквартирными домами или договор оказания услуг и (или) выполнения работ по содержанию и ремонту общего имущества в таких домах), а также их информирование.

У потребителей ртутьсодержащих ламп, являющихся собственниками, нанимателями, пользователями помещений в многоквартирных домах, сбор и размещение отработанных ртутьсодержащих ламп обеспечивают лица, осуществляющие управление многоквартирными домами на основании заключенного с собственниками помещений многоквартирных домов договора управления или договора оказания услуг и (или) выполнения работ по содержанию и ремонту общего имущества в таких домах, в местах, являющихся общим имуществом собственников многоквартирных домов и содержащихся в соответствии с требованиями к содержанию общего имущества, предусмотренными «Правилами содержания общего имущества в многоквартирном доме» (утв. Постановлением Правительства РФ от 13.08.2006 г. № 491).

Место первичного сбора и размещения отработанных ртутьсодержащих ламп у потребителей ртутьсодержащих ламп, являющихся собственниками, нанимателями, пользователями помещений в многоквартирных домах, определяется собственниками помещений в многоквартирных домах или по их поручению лицами, осуществляющими управление многоквартирными домами на основании заключенного договора управления или договора оказания услуг и (или) выполнения работ по содержанию и ремонту общего имущества в таких домах, по согласованию с соответствующей специализированной организацией (Там же, п. 8–8.2). Сбор отработанных ртутьсодержащих ламп у потребителей отработанных ртутьсодержащих ламп осуществляют специализированные организации (Там же, п. 9).

**Порядок транспортирования отработанных ртутьсодержащих ламп.** Транспортирование отработанных ртутьсодержащих ламп осуществляется в соответствии с правилами перевозки опасных грузов (РД 3112199-0199-96. Руководство по организации перевозок опасных грузов автомобильным транспортом). Для

транспортирования отработанных ртутьсодержащих ламп используется тара, обеспечивающая герметичность и исключаящая возможность загрязнения окружающей среды (Там же, п. 11). В местах сбора, размещения и транспортирования отработанных ртутьсодержащих ламп (включая погрузочно-разгрузочные пункты и грузовые площадки транспортных средств), в которых может создаваться концентрация ртути, превышающая гигиенические нормативы, предусматривается установка автоматических газосигнализаторов на пары ртути (Там же, п. 12). Зоны возможного заражения необходимо снабдить средствами индивидуальной защиты органов дыхания, доступными для свободного использования в аварийных ситуациях.

**Порядок размещения (хранения и захоронения) отработанных ртутьсодержащих ламп.** Размещение отработанных ртутьсодержащих ламп в целях их обезвреживания, последующей переработки и использования переработанной продукции осуществляется специализированными организациями (Там же, п. 13). Хранение отработанных ртутьсодержащих ламп производится (Там же, п. 13, 14):

- в специально выделенном для этой цели помещении, защищенном от химически агрессивных веществ, атмосферных осадков, поверхностных и грунтовых вод;
- в местах, исключаяющих повреждение тары.

Допускается хранение отработанных ртутьсодержащих ламп в неповрежденной таре из-под новых ртутьсодержащих ламп или в другой таре, обеспечивающей их сохранность при хранении, погрузо-разгрузочных работах и транспортировании (Там же, п. 15). Не допускается совместное хранение поврежденных ламп и неповрежденных ртутьсодержащих ламп. Хранение поврежденных ртутьсодержащих ламп осуществляется в таре. Разме-



шение отработанных ртутьсодержащих ламп не может осуществляться путем захоронения (Там же, п. 16–18).

**Порядок обезвреживания и использования отработанных ртутьсодержащих ламп.** Обезвреживание отработанных ртутьсодержащих ламп проводится специализированными организациями, осуществляющими их переработку методами, обеспечивающими выполнение санитарно-гигиенических, экологических и иных требований. В случае возникновения у потребителя отработанных ртутьсодержащих ламп аварийной ситуации, в частности боя ртутьсодержащей лампы (ламп), загрязненное помещение должно быть покинуто людьми и должен быть организован вызов специализированных организаций для проведения комплекса мероприятий по обеззараживанию помещений (Там же, п. 19, 20).

Обезвреживание ртутного загрязнения может быть выполнено потребителями отработанных ртутьсодержащих ламп (кроме физических лиц) самостоятельно с помощью демеркуризационного комплекта, включающего в себя необходимые препараты (вещества) и материалы для очистки помещений от локальных ртутных загрязнений, не требующего специальных мер безопасности при использовании. Использование отработанных ртутьсодержащих ламп осуществляют специализированные организации, ведущие их переработку, учет и отчетность по ним. Полученные в результате переработки ртуть и ртутьсодержащие вещества передаются в установленном порядке организациям – потребителям ртути и ртутьсодержащих веществ (Там же, п. 21).

Первоочередной задачей при переработке отработанных ртутных ламп является их **демеркуризация** (извлечение ртути).

*Способы демеркуризации* ртутьсодержащих отходов можно разделить на две группы: *термические* и *бестермические* [119]. При использовании того или иного способа демеркуризации

необходимо учитывать, что в отработанных лампах ртуть в основном находится не в виде металла, а в виде атомов, сорбированных стеклом и люминофором.

**Термические способы демеркуризации** отработанных ртутных ламп основаны на нагреве колб до 450–550 °С (в вакууме или при атмосферном давлении), отгонке ртути с последующим улавливанием и конденсацией её паров (температура кипения ртути +357 °С). Можно выделить три разновидности термической технологии демеркуризации ртутных ламп [120]:

1) *термообработка в инековой трубчатой печи* (снабжена электронагревателем) при температуре 500–550 °С (технология Всероссийского института вторичных ресурсов, ныне ФГАУ «НИИ “Центр экологической промышленной политики”»); технологический газ перед конденсацией паров ртути подвергается дожиганию при температуре 800–900 °С (обеспечивается полное сгорание органических соединений до СО и Н<sub>2</sub>О); производительность – 150–750 ламп/ч (установки типа УДЛ);

2) *термовакuumная технология с использованием стационарной камеры* демеркуризации (снабжена электронагревателем) периодического действия (технология ФИД-Дубна): давление паров ртути в камере – не более 0,01 мм рт. ст.; производительность – до 200 ламп/ч (установка типа УРЛ (рис. 42));

3) *термохимическая технология периодического действия*: целые лампы нагревают, выдерживают 25 мин при температуре, обеспечивающей десорбцию ртути, и резко охлаждают путем контакта горячей лампы в смесителе с раствором серосодержащего реагента (реже используют йодсодержащий реагент); происходит термическое разрушение колбы, а ртуть связывается (технология Сэлта); производительность установки – до 180 ламп/ч (рис. 43).



*Рис. 42. Установка термической демеркуризации УРЛ-2М*



*Рис. 43. Установка демеркуризации линейных люминесцентных ртутных ламп «Сэлта-1»*

При термической демеркуризации отработанных ртутных ламп применяют три принципиально различных *способа улавливания паров ртути* [121]:

1) конденсация ртути с помощью охлаждения (до 35–40 °С) технологического газа водой (с доизвлечением ртути из газов адсорбцией на активном угле);

2) конденсация ртути с помощью криогенной вакуумловушки (при температуре – 196 °С) – криогенная конденсация;

3) химическое связывание ртути путем обработки ее паров реагентами (в частности, перевод ртути в малотоксичный нерастворимый сульфид).

Предпочтительной является технология термообработки отработанных ртутных ламп в шнековой трубчатой печи [119]: она малочувствительна к исходному сырью, надежна в работе, может работать в непрерывном режиме и легко позволяет реализовать обогащение демеркуризованного материала с целью его комплексного использования. Термовакuumная технология наиболее пригодна для «чистых» отходов: термометров, тонометров, ignitронов (ртутных вентилей) и т.п.; эффективность процесса снижается в присутствии органических материалов (мастики, гетинакса): за счет термического разложения они, как и ртуть, переходят в газовую фазу, увеличивая давление газа в камере (давление паров ртути в камере не должно превышать 0,01 мм рт. ст.). Недостатки термовакuumной технологии – периодичность действия, невысокая надежность узлов уплотнения камеры демеркуризации. Термохимическая технология также не может работать в непрерывном режиме; главный недостаток этой технологии – появление сточных вод.

Продукт термической демеркуризации отработанных ртутных ламп в основном представлен стеклобоем (~ 95 %) [121]. Демеркуризованный стеклобой без последующего обогащения, по

существу, является отходом производства, поскольку его вторичное использование затруднено из-за повышенного содержания люминофоров и токсичных элементов (Pb, Zn и др.). После удаления люминофоров и выделения металлов методами обогащения стеклобой можно использовать для изготовления керамических изделий, стеклогранулята, для добавки к стекломассе при производстве стекла, в дорожном строительстве, производстве строительных материалов и др. Кроме того, обогащение демеркуризованного стеклобоя позволяет извлечь для повторного использования цветные металлы. Хранение (захоронение) необогащенного демеркуризованного стеклобоя оказывает негативное влияние на окружающую природную среду, поскольку приводит к загрязнению грунтовых вод и почвы – в лежалых отходах содержание оловянно-свинцового припоя, люминофора и остатков мастики существенно ниже, чем в свежих отходах [122].

В основу сепарации положена технологии обогащения демеркуризованного стеклобоя, разработанная в институте ВИВР (ныне НИЦПУРО – Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами). Производительность обогатительной установки определяется реальной производительностью установки демеркуризации ртутных ламп. Обогатительная установка может быть использована в комбинации с любой установкой термической демеркуризации или с несколькими такими установками, может обслуживать несколько обогатительных установок, на которых выделяют из демеркуризованного стеклобоя коллективный концентрат цветных металлов [123]. Комбинированные обогатительно-металлургические установки обеспечивают комплексную переработку отработанных и бракованных люминесцентных и дугоразрядных ртутных ламп, способствуя защите окружающей среды от загрязнения и ресурсосбережению (вовлечению в производство дополнительного ко-

личества цветных металлов и стеклобоя). Технология обеспечивает вторичное использование (по массе) около 97 % отработанных ртутных ламп [121].

Выбор технологической схемы обогащения определяется составом и свойствами сырья и задачами обогащения, а также зависит от кондиций на продукты обогащения. Вещественный состав отходов термической демеркуризации ртутных ламп (в трубчатой печи) незначительно отличается от состава исходного сырья, поступающего на демеркуризацию (в основном отличается содержанием люминофора, мастики и ртути). Содержание люминофора достигает 1,5 %, обугленных остатков мастики – 0,9 % (т.е. содержание этих компонентов снижается примерно в 2 раза), содержание ртути – не более 2,1 мг/кг (допустимая санитарная норма). В то же время содержание ртути в тонких классах крупности достигает 0,0003 мг/м<sup>3</sup>. По гранулометрическому составу демеркуризованный стеклобой – продукт крупностью 40 мм, при этом выход класса 10 мм – не более 75 % [123].

Все металлические компоненты ламп после демеркуризации в основном находятся в свободном состоянии (кроме медно-никелевых выводов, которые преимущественно находятся в сростках со свинцовым стеклом). Алюминиевые цоколи концентрируются в классе 40 мм, медно-никелевые выводы и свинцовое стекло – в классе 20 мм, латунные штырьки и вольфрамовые спирали – в классе 5 мм, зерна свинцового припоя – в классе 2 мм; люминофор сосредоточен в классе 0,25 мм [123].

При обогащении демеркуризованного стеклобоя можно использовать различия разделяемых компонентов в магнитных и электрофизических свойствах, аэродинамических свойствах и в крупности [122]. Технологическая схема включает последовательные операции аэросепарации, грохочения, дробления и магнитной сепарации. Операцию дробления исходного сырья вво-

дить не следует, т.к. ценные компоненты в основном «раскрыты», количество сростков невелико (как правило, в сростках находятся медно-никелевые выводы со свинцовым стеклом). В итоге обогащения продукта демеркуризации можно получить пять концентратов цветных металлов (суммарный выход около 5 %) и обезвреженный стеклобой (содержит менее 0,1 % металлов). Отходами обогащения являются люминофорсодержащие хвосты (выход менее 3 %). Извлечение металлических компонентов – около 90 % [124].

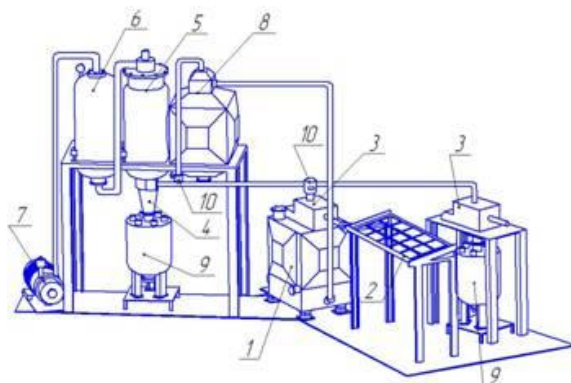
При обогащении демеркуризованного стеклобоя целесообразно выделить пять концентратов цветных металлов [125]:

- 1) алюминиевый (извлечение цоколей 92 % при содержании около 50 %);
- 2) медно-никелевый (извлечение выводов 78 % при содержании 35 %);
- 3) медно-цинковый (извлечение латунных штырьков 93 % при содержании 28 %);
- 4) оловянно-свинцовый (извлечение припоя 48 % при содержании 15%);
- 5) свинцовый (извлечение ножек около 75 % при содержании 84 %).

Вольфрамовые спирали теряются в стеклобое (70 %) и в свинцовом стекле (20 %). Получение вольфрамового концентрата возможно с помощью электросепарации стеклобоя (класс 20 мм, выделенный из легкой фракции аэросепарации), но нецелесообразно ввиду малого содержания вольфрама [124].

Помимо термических способов демеркуризации ртутьсодержащих отходов существуют *бестермические способы демеркуризации*. Из них практическое применение нашел (установка типа «Экотром» (рис. 44)) способ, основанный на отделении люминофора и ртути с помощью аэросепарации при одновременном

вибровоздействию; процесс осуществляется в противоточном режиме движения стекла и воздуха [120, 126].



**Рис. 44. Установка «Экотром-2»:**

- 1 – пневмовибрационный сепаратор; 2 – узел загрузки;  
3 – пневмоударный измельчитель; 4 – циклон; 5 – фильтр тонкой очистки;  
6 – адсорбер; 7 – газодувка; 8 – промежуточный сборник стеклянного боя;  
9 – транспортно-технологический сборник люминофора;  
10 – перекрывной кран

Выдувание люминофора из дробленого до 8 мм материала осуществляется в пневмовибрационном сепараторе 1 (см. рис. 44); в демеркуризованной установке с помощью компрессора создается разрежение (в зоне загрузки 5–8 кПа). Люминофор улавливается в циклоне (95 %) и рукавном фильтре (5 %); воздух от ртути очищается в адсорбере 6 с помощью активированного угля, импрегнированного серой. Содержание ртути в уловленном люминофоре ~ 0,8 %. Люминофор и отработанный сорбент (а также обтирочная ветошь) смешиваются с цементом и водой от уборки помещения и обрабатываются серой (перевод ртути в сульфид).

Цементно-люминофорную смесь затаривают в металлические бочки и отправляют на переработку (получение вторичной



ртути). Производительность установки – до 1200 ламп/ч. Поскольку продукт демеркуризации прошел операцию дробления до крупности 8 мм, из него выделяют только алюминиевые цоколи (с помощью виброгрохочения). При этом алюминиевый концентрат во вторичную цветную металлургию направляться не может – необходима его предварительная термическая демеркуризация [127, 128].

Бестермические способы не всегда обеспечивают тонкую очистку отходов от ртути. Основная причина состоит в том, что ртуть сорбируется стеклом колб и металлами, а десорбция протекает наиболее эффективно лишь при нагреве. В ряде бестермических процессов (при химической демеркуризации) появляются сточные воды [120].

Установки для удаления ртути включают узел сепарации смеси паров ртути с воздухом и твердыми примесями, снабженный вертикально расположенным корпусом, линией подачи очищаемого воздуха, линией отвода очищенного воздуха, линиями для сбора конденсата ртути и твердых примесей [129]. Недостатками таких установок являются унос мелкодисперсного порошкообразного люминофора вместе с адсорбированной в нем ртутью и невозможность очистки лампового боя от люминофора.

Известна установка для утилизации люминесцентных ламп, снабженная виброузлом сепарации легкой фракции (люминофора) от более тяжелой смеси фракций (лампового боя), который подключен к линии подачи сжатого воздуха для продувки виброузла и к линии улавливания легкой фракции с системой воздухоочистки [130]. Недостатками установки являются сравнительно высокие энергозатраты на сепарирование люминофора, обусловленные значительными энергозатратами при работе виброузла.

Установка для переработки отработанных люминесцентных ламп [131] содержит узел разрушения люминесцентных ламп,

узел виброобработки смеси фракций (лампового боя, цоколей люминофора), в котором также сепарируется легкая фракция (люминофор) из смеси более тяжелых фракций (стеклобоя с цоколями), линия продувки узла виброобработки, а также система вытяжной вентиляции, снабженная средствами воздухоочистки. Узел виброобработки жестко соединен с вибратором и подключен к линиям ввода и отвода фракций, а также снабжен сборником фракций и разгрузочным узлом. Недостатками установки являются сложность конструкции и высокие энерго- и трудозатраты при утилизации отработанных ртутных ламп, а также недостаточно надежная очистка от люминофора стеклобоя и использованного в установке воздуха.

Разработаны установки, позволяющие снизить эксплуатационные энерго- и трудозатраты при утилизации отработанных ртутьсодержащих ламп с исключением заражения окружающей среды ртутными выбросами [132–134].

В предпочтительных вариантах выполнения установка содержит три дробильно-сепарационных устройства, два из которых являются основными и расположены параллельно продольной оси установки, а третье – резервное устройство – расположено за основными: вдоль продольной оси установки. Система вытяжной вентиляции содержит компрессоры и воздуходувку, при этом нагнетательная линия воздуходувки подключена к санитарному адсорберу. Циклоны и узлы вывода цоколей снабжены сменными сборниками соответственно люминофора и цоколей. Фильтры выполнены рукавными и снабжены устройствами самоочистки, а также сменными сборниками отфильтрованного материала.

Пневмосистема перекачки стеклобоя снабжена компрессором, подключенным со стороны нагнетания к санитарному адсорберу, а со стороны всасывания, через систему очистки воздуха и сборный бункер, – к сборникам стеклобоя дробильно-

сепарационных устройств. При этом система очистки воздуха этой пневмосистемы состоит из последовательно подключенных циклона, фильтра и адсорбера.

Линия очистки и сортировки цоколей состоит из последовательно подключенных к системе вытяжной вентиляции (через циклон и фильтр) шахтной электропечи для термообработки цоколей, холодильника для охлаждения цоколей, конденсатора с влагоотделителем, а также магнитно-вибрационного сепаратора для удаления из цоколей технологических материалов и сепарации очищенных цоколей на стальные и алюминиевые цоколи. При этом узел обезвреживания люминофора снабжен вибросмесителем для смешивания люминофора, а также других ртутьсодержащих материалов с добавками демеркуризирующих веществ. Фильтр линии по обработке цоколей выполнен рукавным и снабжен устройством самоочистки и съёмным сборником, циклон этой линии также снабжен съёмным сборником.

Шведскими учеными разработан комплекс по утилизации ртути, включающий в себя два автономных блока (модуля): компактную дробилку и сепаратор; ртутный супердистиллятор [135]. Основная функция комплекса – переработка ртутьсодержащих отходов, в т. ч. люминесцентных ламп любых типов, приборов с ртутным наполнением (термометров, манометров, игнитронов, ртутных контактов, батареек и т.п.), твердых ртутьсодержащих отходов, вторичной отработанной ртути и проч.

1-й модуль (компакт-дробилка и сепаратор) предназначен для механической переработки люминесцентных ламп различной длины и формы. Продуктами переработки ламп являются стекло с натронной известью (стеклобой), металлический наконечник, флуоресцентный порошок (люминофор).

2-й модуль (ртутный супердистиллятор) используется для переработки ртутных отходов от люминесцентных ламп, кнопоч-

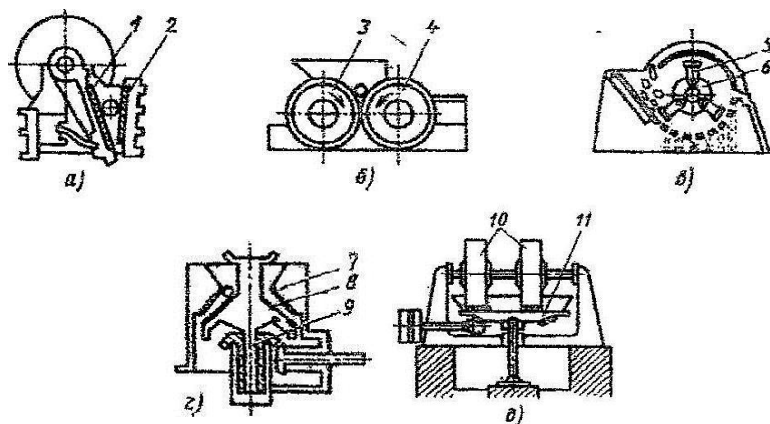
ных батареек и других ртутьсодержащих приборов (градусников, манометров и т.п.) в экологически безопасный шлам и ртуть, имеющую степень чистоты до 99,9999 %, которая может быть использована в любом производстве.

Ртутьсодержащие отходы загружаются в камеру. После выбора соответствующей программы отходы перерабатываются в течение одной полностью автоматизированной операции. Отходы нагреваются, что приводит к испарению ртути. Органические частицы, содержащиеся в газе, окисляются в камере сгорания. Затем газы поступают в эффективно охлаждающие люки, где ртуть конденсируется в свободно перемещающуюся жидкую ртуть. Основные преимущества данного комплекса: экологическая чистота технологического процесса и продуктов переработки; возможность их дальнейшего использования в промышленности; замкнутый цикл, безотходное производство.

#### **4.3. Дробление и помол отходов стекла**

Для измельчения отходов стекла используются следующие типы дробилок (ГОСТ 14916-82. Дробилки. Термины и определения»): щековые, валковые, ударного действия, конусные, бегуны [136] (рис. 45).

*Щековая дробилка* (рис. 46) обеспечивает степень измельчения 5–6 мм [137]. Измельчение осуществляется двумя щеками: одна неподвижна, а другая подвижна. Пространство между щеками является камерой дробления, имеющей клиновидную форму, в которую материал поступает сверху через приемное отверстие. Дробилка проста и надежна в эксплуатации, имеет широкую область применения, компактна, легко обслуживается. Недостатки: высокий шум, вибрация, периодический характер воздействия на материал [138].



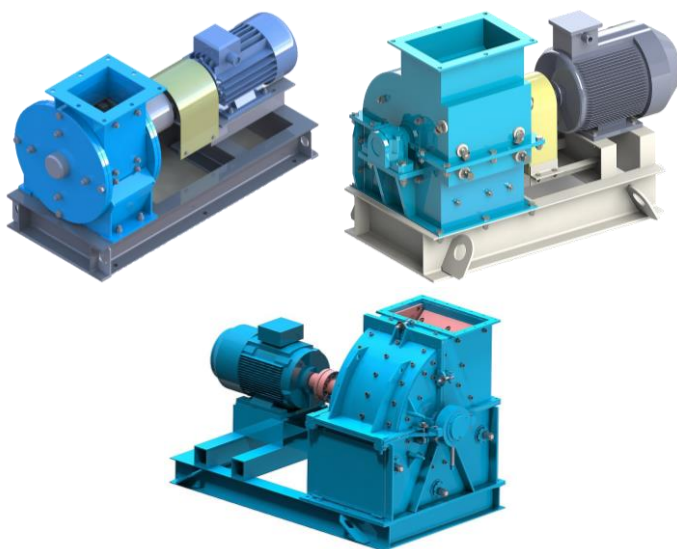
**Рис. 45. Типы дробилок:**

*a* – щековые; *б* – валковые; *в* – ударного действия; *з* – конусные; *д* – бегуны;  
 1 и 2 – подвижная и неподвижная плита (щека); 3, 4 – валки; 5 – молотки;  
 6 – ротор; 7 и 8 – неподвижный (внешний) и подвижный (внутренний) конусы;  
 9 – вертикальный вал; 10 – вращающиеся катки; 11 – чаша



**Рис. 46. Щековые дробилки**

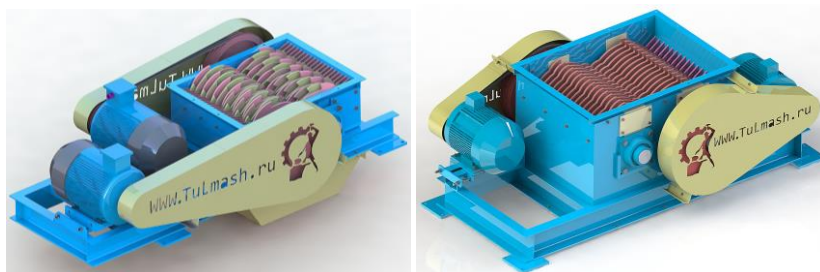
*Дробилки ударного действия* делятся на молотковые и роторные. В *молотковой* дробилке (рис. 47) материал подаётся в по-мольную камеру и за счёт вращения вала с молотками измельчается до размеров меньше зазоров на колосниковой решётке [139]. В ходе дробления требуемая фракция просыпается сквозь зазоры колосников и попадает в выгрузочный короб. Рабочий элемент (ротор) наносит удары по материалу либо билами, либо молотками. Достоинства: высокая степень измельчения, возможность регулирования степени измельчения, универсальность, высокая производительность при малых размерах, низкое потребление энергии при высокой производительности. Недостатки: износ бил ротора, большое пыление, значительный удельный расход энергии.



*Рис. 47. Молотковые дробилки*

Молотковые дробилки применяются для дробления стекла в пыль, что позволяет его использовать для повторного плавления [140].

*Роторно-дисковые измельчители* (рис. 48) могут быть использованы для первичного дробления битого стекла с получением на выходе фракции от 0 до 50 мм. Вращающиеся дисковые роторы нагружаются сырьем из загрузочного бункера. Уже дробленое сырьё в это время проникает в зазоры между дисками и отверстиями в решетке в разгрузочное устройство. Благодаря механизму измельчителя не требуется очищение дисков.



**Рис. 48. Роторно-дисковые измельчители**

Промышленный измельчитель имеет зону измельчения и зону отражателей. Отражатели находятся в зацеплении с дисками, поэтому вследствие вращения дисков происходит самоочищение. Материал может загружаться порционно и постоянно – это основное преимущество промышленных роторных измельчителей. Загружаемое сырьё может подаваться как с ленточных транспортеров, так и цельными биг-бэгами, например со слежавшейся солью. Промышленные измельчители применяются для первого этапа измельчения материалов низкой и средней твердости. Особенности данных машин – высокая производительность при умеренной стоимости и дешевизна эксплуатации [140].

В *конусных дробилках* (рис. 49) раздавливание кусков материала происходит за счет непрерывного нажатия усеченного вертикального конуса, который эксцентрично вращается внутри другого (полого) конуса.



*Рис. 49. Конусные дробилки*

Внутренняя поверхность обоих конусов может быть как гладкой, так и ребристой. Куски материала, попадая в воронку – рабочее пространство конусной машины, измельчаются между внутренней поверхностью полого конуса (внешнего) и внутренней поверхностью усеченного вертикального конуса (внутреннего). Внутренний конус машины, вращаясь как конический маятник, дробит мелкие куски материала раздавливанием, а крупные куски – раздавливанием и изгибом. Достоинства: высокая производительность и степень измельчения. Недостатки: сложность конструкции и большие размеры [141].

Конструктивное исполнение и технические характеристики конусных дробилок находится в широком диапазоне (ГОСТ 6937-91. Дробилки конусные. Общие технические требования):

- ширина приёмного отверстия – до 1500 мм,
- ширина разгрузочной щели на открытой стороне – до 300 мм,
- размер максимального конуса (по 5 %-му остатку на квадратной ячейке): питания – до 1200 мм, продукта – до 390 мм,
- производительность – до 3,420 м<sup>3</sup>/ч,
- мощность главного привода – до 800 кВт,



- масса без комплектующих изделий и запасных частей – до 675 т.

Классификация конусных дробилок [137]:

- крупного дробления (ККД) – в двух исполнениях: с одним приводом, с двумя приводами;
- среднего дробления (КСД) – в двух исполнениях камеры дробления: грубого дробления, тонкого давления;
- мелкого дробления (КМД) – в двух исполнениях камеры дробления: грубого дробления, тонкого давления.

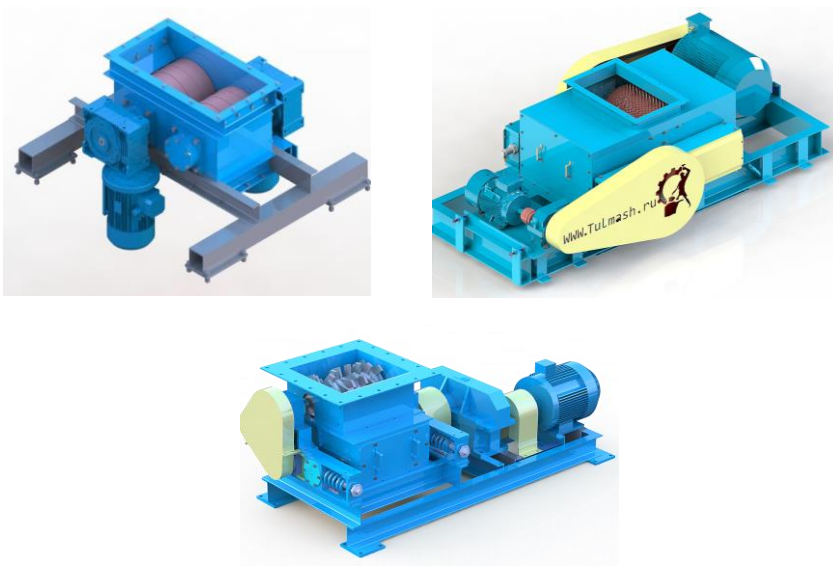
Существует два основных технологических признака для классификации конусных дробилок [142]. ККД, как правило, имеют: неподвижную конусообразную чашу – установлена вершиной вниз; дробящий конус крутой, угол при вершине – около 20°. КСД и КМД имеют: неподвижную конусообразную чашу – установлена вершиной вверх; дробящий конус пологий, угол при вершине – около 100°.

*Валковая дробилка* (рис. 50). Материал подается сверху и затягивается в зазор между двумя вращающимися навстречу друг другу валками. Дробилка имеет простую конструкцию, надежна в эксплуатации, расходует малое количество электроэнергии [115].

Классификация валковых дробилок [143]:

- по количеству рабочих органов: *одновалковые* – дробильные агрегаты, которые имеют один приводной валок: измельчение происходит между рабочим органом и колосниковой решеткой; *двухвалковые* – агрегаты с одним подвижным валком для регулировки степени измельчения материала и одним неподвижным рабочим органом; *трехвалковые* и более – дробильные системы, которые позволяют добиться тонкого измельчения дробимых материалов или же средней степени измельчения материалов с повышенной твердостью;

- по транспортировочной возможности: *мобильные (перемещаемые)* – машины, которые можно транспортировать по надобности: широко распространены в строительстве; *стационарные* – дробилки, которые не могут быть транспортированы куда-либо: их применяют в устоявшихся технологических процессах и линиях (в металлургии, шлакопереработке и т.п.);
- по рельефности рабочих органов: дробильные агрегаты с *гладкой поверхностью рабочих органов*; дробильные системы с *рельефными валками*; дробилки с *зубчатыми рабочими валками*.



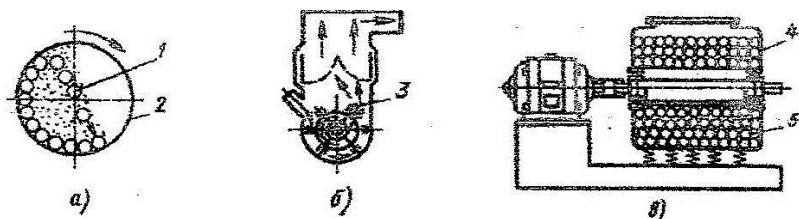
**Рис. 50. Валковые дробилки**

Для измельчения отходов стекла используют мельницы различных типов (рис. 51).

Классификация мельниц [145]:

- по принципу действия (периодического и непериодического действия);

- способу помола (сухой, мокрый);
- циклу работы (открытый цикл и замкнутый цикл);
- форме корпуса (цилиндрические, барабанные, конические, трубчатые);
- форме мелющих тел (шар, цилиндр, стержни, конус).



*Рис. 51. Типы мельниц:*

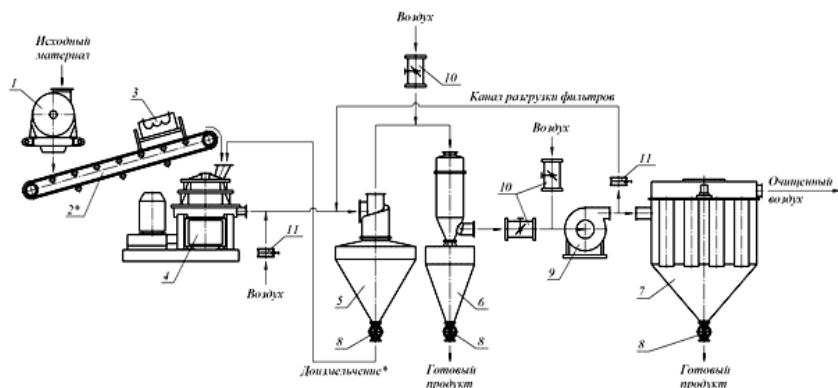
*а – шаровые или барабанные; б – ударные; в – вибрационные;  
1 – шар; 2 – барабан; 3 – молотки; 4 – корпус; 5 – шары*

Традиционный тип мельниц – шаровые. Характерным признаком является корпус, внутри которого находятся материал и мелющие шары. Корпус может вращаться и вибрировать [144].

Существуют современные технологические линии по вторичной переработке стекла [96]. Линия измельчения стекла обеспечивает экономию более 1 т природных ресурсов, применяемых для производства стекла (песка, извести, соды), с учетом того, что оборудование не требует высоких затрат энергоресурсов и практически не загрязняет окружающую среду.

Максимально эффективной в данное время считается линия измельчения стекла, функционирующая посредством газовой технологии, предусматривающей циркуляционное движение теплоносителя для обеспечения расплавления и фильтрации исходного сырья [146]. На рисунке 52 представлена линия измельчения стекла [147], которая включает: загрузочный бункер; конвейер; измельчитель; циклон очистки; сепаратор; пульт управления.

Производительность – до 4 т/ч, исходный материал  $d_{\text{нач}} = 150$  мм, готовый продукт  $d_{\text{кон}} = 160$  мкм.



**Рис. 52. Линия измельчения стекла:**

- 1 – дробилка молотковая МПС-600Р; 2 – питатель ленточный В650\*;  
 3 – магнитный сепаратор; 4 – мельница МЦВ-3 (2 шт.);  
 5 – циклон-бункер ЦБ-4,5; 6 – группа пылеуловителей ПЦ 2,0-2П;  
 7 – фильтр рукавный ФР-6 (2 шт.); 8 – питатель секторный ПС-1В (4 шт.);  
 9 – вентилятор ВР120-28-6,3; 10 – шиберные заслонки Ду200 (4 шт.);  
 11 – шибер герметичный Ду150 (3 шт.)

Принцип действия данного оборудования предусматривает загрузку сырья в измельчитель, где оно после включения водила, оснащенного молотками, под действием центробежных сил дробится об отбойники, после чего в измельченном состоянии поступает в приемную часть под бункером, где из сырья посредством вентилятора удаляется и выводится в специальный пылесборник стеклянная пыль. Скорость вращения устройства регулируется посредством пульта управления.

При вторичной переработке больших объемов (8–10 т/ч) автомобильного и строительного триплекса, осуществляемой на линиях рециклинга в западноевропейских странах, стекло, как правило, проходит две стадии обработки.

На первом этапе в многовалковой установке производится предварительное дробление триплекса, в ходе которого нарушается жесткая структура стекла, и стекло сминается без отделения большинства осколков от пленки. Далее стеклобой складывается. В период этого временного хранения (в течение нескольких дней) с триплекса начинает частично сходить пластиковое покрытие, что положительно сказывается на последующих операциях переработки [148].

На втором этапе отходы стекла проходят через ряд операций [149]:

- повторное дробление триплекса в другой многовалковой дробилке;
- первичную магнитную сепарацию;
- ручную сортировку;
- окончательное измельчение и просев;
- повторную магнитную сепарацию;
- частичное удаление легковесных обрывков пленки с помощью систем аспирации;
- оптическую сепарацию.

Поскольку при окончательном измельчении триплекса в молотковой дробилке образуется много мелких кусочков пленки, которые не удаляются полностью аспирацией и оптической сортировкой, полученный стеклобой не соответствует требованиям по количеству примесей (по ГОСТ 52233-2004, в стеклобое 1 и 2 сорта не допускается наличие триплекса) и не может использоваться для производства флоат-стекла и стеклотары. Подобный стеклобой чаще применяется для изготовления теплоизоляционных материалов на основе стекла, в качестве добавок в краски для дорожной разметки и др. [150].

Малые объемы (5–8 т/сут.) утилизируемого строительного и автомобильного стекла целесообразно перерабатывать на более

простом оборудовании, выполняющем только дробление и просев, например, использовать дробильно-просевную установку (рис. 53–56) [151]. В исходном состоянии стекло триплекс 3 (см. рис. 54) лежит на приемном столе 1, оснащенном механизмом транспортирования 2 с электроприводом 4, который выключен.



Рис. 53. Дробильно-просевная установка (ООО «Стромизмитель»)

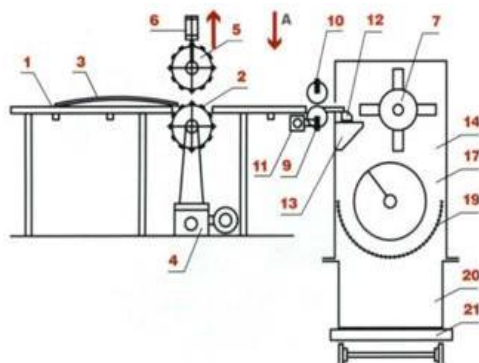
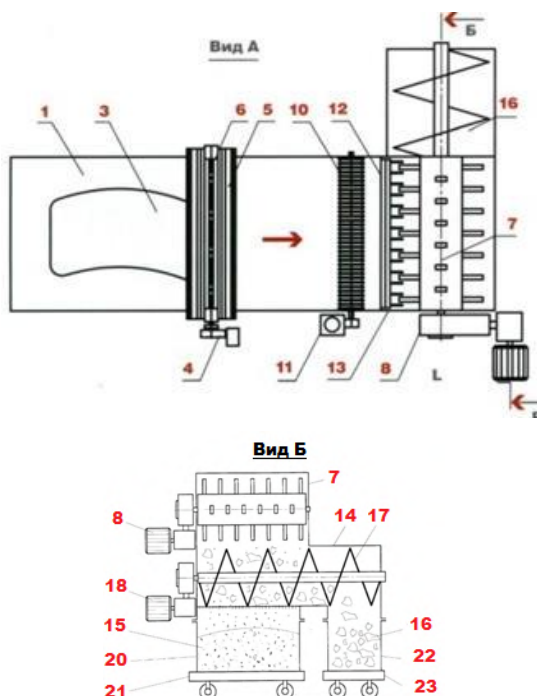


Рис. 54. Установка для утилизации автомобильного и строительного стекла триплекс (начало)



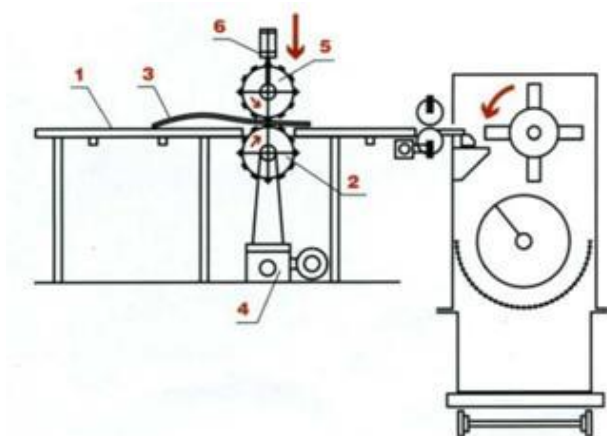
**Рис. 54. Установка для утилизации автомобильного и строительного стекла триплекс (окончание):**

- 1 – приемный стол; 2 – механизм транспортирования стекла; 3 – стекло;  
 4 – электропривод механизма транспортирования; 5 – подвижный ребристый вал;  
 6 – пневмопривод вертикального перемещения ребристого вала;  
 7 – роторная дробилка; 8 – электропривод роторной дробилки;  
 9, 10 – стеклопружиненные роликовые валы узла подачи стекла в роторную дробилку; 11 – электропривод узла подачи стекла; 12 – дробильный брус;  
 13 – ножи для разрезания пленки; 14 – сепаратор разделения фракций;  
 15 – фракция дробленого стекла; 16 – фракция пленки; 17 – винтовой питатель сепаратора; 18 – электропривод винтового питателя; 19 – перфорированное днище винтового питателя; 20 – контейнер дробленого стекла;  
 21 и 23 – транспортные тележки контейнеров соответственно дробленого стекла и отделенной от стекла пленки; 22 – контейнер отделенной от стекла пленки

Если утилизируемое стекло имеет плоскую форму, то регулируемый зазор между стационарно установленным ребристым

валом механизма транспортирования 2 и перемещаемым по вертикали подвижным ребристым валом 5 составляет несколько миллиметров и колеблется в зависимости от толщины перерабатываемого стекла от 5 до 10 мм. Если же стекло имеет изогнутую форму (например, автомобильное или витринное стекло), то перед началом дробления соосно установленный ребристый вал 5 с помощью системы управления и пневмопривода 6, состоящего из двух пневмоцилиндров, приподнимается, обеспечивая возможность захода стекла с криволинейной поверхностью в зазор между ребристыми валами [151].

Работа установки начинается после включения оператором электроприводов всех механизмов и подачи стекла в зазор между ребристыми валами 2 и 5 (см. рис. 55). Плоское стекло триплекс захватывается этими валами и транспортируется к узлу подачи стекла в роторную дробилку 7, управляемую электроприводом 8 (см. рис. 54).



**Рис. 55. Стадия предварительного дробления стекла триплекс:**

1 – приемный стол; 2 и 5 – ребристые валы; 3 – стекло;  
4 – электропривод механизма транспортирования; 6 – пневмопривод

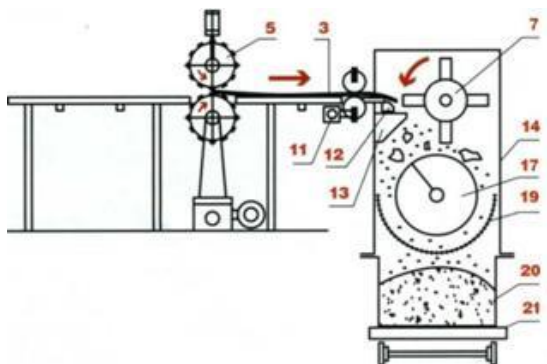


В процессе транспортирования стекло за счет ребристой поверхности валов 2 и 5 (см. рис. 55) сильно растрескивается, превращаясь в полужесткую структуру, состоящую из осколков стекла различной формы, скрепленных между собой склеивающей поливинилбутиральной пленкой [152]. Автомобильное или витринное стекло изогнутой формы также подается в зазор между ребристыми валами 2 и 5, но при этом вал 5 с помощью пневмопривода 6 изначально приподнят и предварительно разрушает стекло (без отделения образовавшихся осколков стекла от пленки) на 10–15 см. При заходе изогнутого стекла в зазор между ребристыми валами по сигналу системы управления пневмопривод 6 опускает ребристый вал 5 на стекло 3 и сминает его, придавая плоскую форму.

Во время операции предварительного разрушения стекла и транспортирования его к роторной дробилке пневмоцилиндры пневмопривода 6 кроме функции сдавливания стекла между ребристыми валами одновременно выполняют функцию пневматических амортизаторов, позволяющих адаптивно взаимодействовать ребрам валов 2 и 5 (см. рис. 54) с поверхностью стекла [152]. После предварительного разрушения стекло 3 по мере транспортирования заходит в зазор между подпружиненными роликовыми валами 9 и 10, вращение на которые передается от электропривода 11 (см. рис. 56).

Подпружиненные роликовые валы 9 и 10 захватывают стекло 3 и подают его дальше в зону дробильного бруса 12 (см. рис. 54). Непосредственное дробление и интенсивное отделение стекла от пленки осуществляется при ударах вращающихся бил дробилки по кромке стекла в зазорах между билами и дробильным брусом. Подпружиненные роликовые валы 9 и 10 надежно удерживают стекло 3 от резкого захвата билами дробилки и стабилизируют подачу стекла в зону дробления [151, 152]. После дробления

стекла и отделения его от пленки пленка разрывается на отдельные кусочки с помощью вращающихся бил и ножей, установленных под дробильным брусом.



*Рис. 56. Стадия окончательного дробления стекла триплекс*

Во время разрыва пленки остатки неотделенного от пленки стекла отделяются. Стеклобой ссыпается в сепаратор 14 (см. рис. 56), в котором чистый стеклобой 15 размером не более 10–15 мм отделяется от обрывков пленки 16 (см. рис. 54), имеющих больший размер, чем частицы отделенного от неё стекла. Частицы стеклобоя 15 проваливаются через отверстия перфорированного днища 19 в контейнер 20, установленный на транспортной тележке 21, а обрывки пленки с помощью винтового питателя 17 транспортируются по ходу вращения винта и выгружаются в контейнер 22, установленный на транспортной тележке 23. По мере заполнения стеклобоем и пленкой контейнеры 20 и 22 откатываются в сторону для разгрузки или заменяются на новые [151, 152].

Таким образом, установка для утилизации автомобильного и строительного стекла триплекс позволяет эффективно разделять дробленое стекло от поливинилбутиральной пленки, а сам рецик-

линг триплекса снижает количество отходов, идущих на свалки, улучшает экологию и позволяет получать ценное вторичное сырье – стеклобой [151, 152].

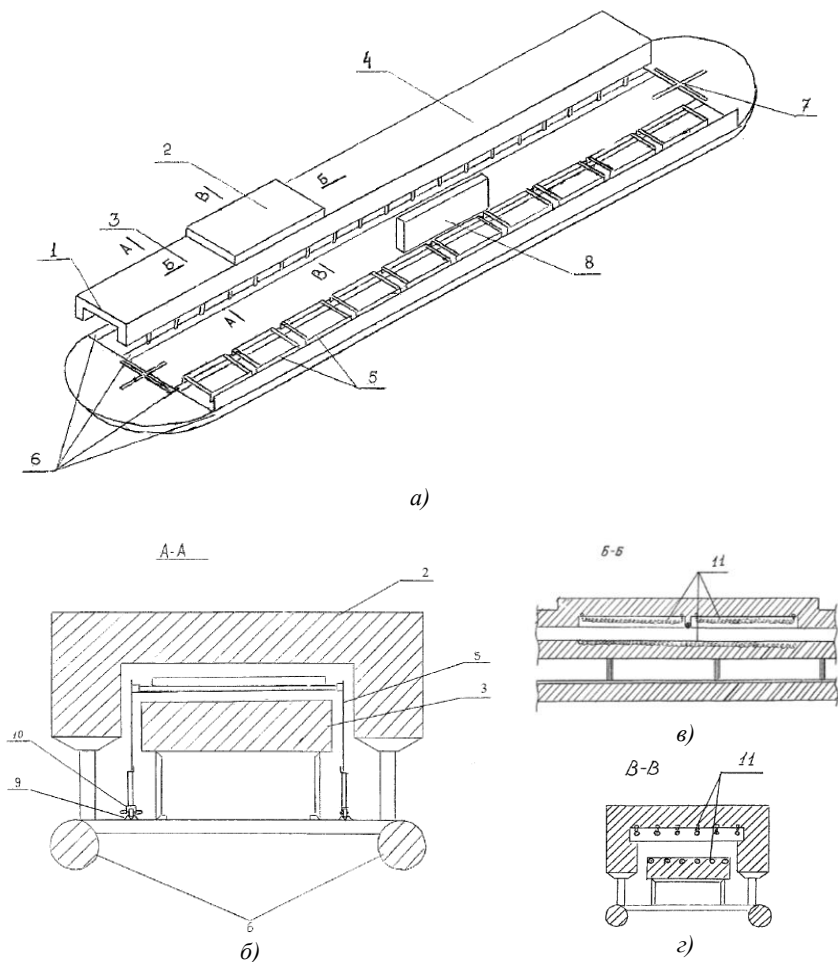
По заказу ОАО «Эй Джи Си “Борский стекольный завод”» разработана другая установка для вторичной переработки малых объемов листового стекла. Установка предназначена для измельчения боя листового стекла, возникающего при погрузочно-разгрузочных операциях на складах и в дилерских центрах завода, и затаривания его в биг-бэги для накопления и последующей отгрузки потребителям. Перед загрузкой в биг-бэги бой листового стекла с помощью подъемно-транспортных механизмов и саморазгружающихся кабелей подается в промежуточный бункер, связанный с аспирационной системой, снижающей пыление. В процессе заполнения биг-бэга, закрепленного на установке затаривания УЗБ-2 [153], вибрационный или качающийся питатель подает стеклобой в роторную или двухвалковую дробилку, из которой он, измельченный до фракции 20–30 мм, поступает в биг-бэг. При необходимости вес заполняемого биг-бэга контролируется оператором по цифровому табло весового терминала.

#### **4.4. Основные направления утилизации отходов стекла**

Вновь обратимся к опыту зарубежных стран.

В Республике Казахстан разработана установка для переработки отходов стекла высокой производительности с целью получения качественных декоративных строительных материалов [154] (рис. 57).

Полученная в результате переработки стекломасса применяется для производства стеклопакетов, стекол для окон, стеклоблоков, изоляционных и других материалов, используемых в строительстве, и иной продукции.



**Рис. 57. Установка для переработки отходов стекла:**

- а – общий вид; б – поперечный разрез зоны предварительного нагрева;  
 в и з – продольный и поперечный разрезы зоны нагрева;  
 1 – рабочий канал; 2 – зона нагрева; 3 – зона предварительного нагрева;  
 4 – зона охлаждения; 5 – тележки; 6 – замкнутое шасси; 7 – упорные механизмы;  
 8 – щит управления; 9 – рельсы; 10 – сальники;  
 11 – электронагревательные элементы

Утилизация вышедшей из употребления стеклянной тары может проводиться как ее вывозом на полигоны в составе твердых бытовых отходов (ТБО), так и ее использованием в качестве:

- вторичного сырья при получении новой стеклянной тары;
- основного сырьевого компонента в производстве различных стройматериалов (например, пеностекла).

В мире основным применением стеклобоя является производство новой тары (банок, бутылок). Это наиболее массовое производство предъявляет наименее жесткие требования к постоянству химического состава стекломассы и позволяет использовать вторичный стеклобой, различающийся по цвету и составу [155].

Средний удельный расход стеклобоя при производстве стеклянной тары составляет: в Великобритании – 15 %; Венгрии – 20 %; США – 30 %, Чехии – 24 %; Германии – 30 %; Нидерландах – 40 % [93, 156].

В Швейцарии компания *Vetropak* эксплуатирует стекловаренную печь производительностью 200 т/сут. зеленого стекла. При этом шихта содержит от 80 до 85 % стеклобоя, а экономия топлива составляет 0,25 % на 1 % перерабатываемого стеклобоя. В некоторых случаях в печах используется до 100 % стеклобоя.

На стеклотарных заводах США отходы стекла в шихте составляют от 30 до 60 % [93, 157].

За последние 20 лет в США, Канаде, Германии разработаны технологии, которые предусматривают использование отходов тарного стекла при строительстве автомобильных дорог [66, 67, 155]. Например, опробован при строительстве автомобильных дорог материал «гласфальшт», разработанный на строительном

факультете университета в Миссури (США). В составе «глас-фальшта» содержатся 60 % молотого стекла, 5 % асфальта, 35 % каменной муки и других наполнителей.

Более 400 млн долл. выделено специалистам инженерного факультета и прикладных наук Колумбийского университета (штат Нью-Йорк, США) на исследования, связанные с проблемой замены каменного наполнителя в бетоне стеклобоем [66, 67, 154, 157].

Измельчённый стеклобой можно использовать в качестве заполнителя в дорожных покрытиях в сочетании с асфальтом и битумным бетоном [114]. Фирма *Glass Fiberglass* (Англия) разработала способ производства стекловолокна из стекольных отходов, позволяющий снизить его стоимость на 30 % [66, 90, 158].

Наиболее значимым направлением использования стеклобоя является *производство пеноматериалов* [109, 113, 155], которые можно применять для изоляции стен, перекрытий, кровли, при изготовлении сэндвич-панелей, для утепления трубопроводов, тепловых и холодильных агрегатов, а также использовать как легкий заполнитель бетона. С конструкционной точки зрения материал может выпускаться в трех принципиально отличающихся видах:

- в блоках (или плитах) (рис. 58, *а*);
- гранулах (строительный песок или гравий) (рис. 58, *б*);
- бесформенных кусках (строительный щебень) (рис. 58, *в*)

[113, 159].

Калифорнийский университет (США) из измельченного смешанного по цвету тарного стекла запатентовал способ производства пеностекла, из которого можно изготавливать кирпич и блоки [159].



а)



б)



в)

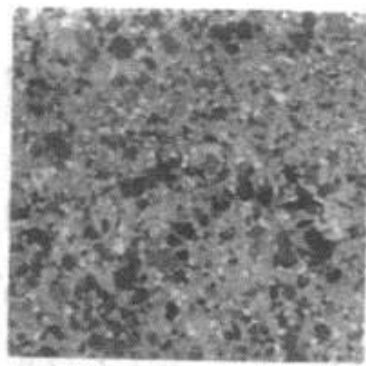
***Рис. 58. Пеноматериалы***

Молотые отходы стекла, смешанные с мономером (полиэфирстиролом или метилметакрилатом), применяют для получения труб, имеющих большую кислотостойкость и прочность, чем бетонные трубы [114]. Стеклобой в сочетании с полимерами или цементами может использоваться для прессования плиток (рис. 59) [114, 160].

На основе стеклобоя получен новый вид облицовочного материала – *стеклокремнезит* строительного назначения [161]. Он выпускается в виде прямоугольных плит различных цветовых оттенков и размеров (толщина 15–20 мм) и является отличным декоративно-облицовочным материалом для внутренней и наружной облицовки зданий и сооружений (рис. 60) [114, 162].



*Рис. 59. Отделочная плитка со стеклобоем*



*Рис. 60. Плитка из стеклокремнезита*

Предложенный школой горного дела в Колорадо (США) новый материал *тиксит* вырабатывают из дробленого стеклобоя (32 %), строительного бутового камня (2 %) и глины (6 %). Плиты из тиксита очень прочны, отличаются низким водопоглощением, красивы по внешнему виду, их производство обходится дешевле, чем производство стандартных пеноматериалов [66, 150].



Ассоциация американских изготовителей стеклотары разработала новый вид белых и цветных кирпичей из старой газетной бумаги и стеклобоя (рис. 61). Масса их на 20 % меньше, чем у обычных кирпичей, а стоимость на 30 % ниже. Кирпичи отличаются огнеупорностью и водостойкостью [163].



*Рис. 61. Кирпичи из бумаги и стеклобоя*

Зарубежные фирмы изучают возможность применения измельченного стекла в сельском хозяйстве для улучшения плодородия почв и в качестве стимулятора роста растений, а также и в птицеводстве. Имеется опыт применения стеклобоя как заполнителя при производстве лакокрасочных материалов, обоевой бумаги, пластмасс, битума, абразивных материалов для стеклянной шлифовальной шкурки на бумажной основе и шлифовальных кругов [164, 165].

Стеклянные бутылки используются умельцами для строительства домов. Так, в 1902 году первый дом из стеклянных бутылок построил в городе Тонопа (США, штат Невада) Уильям Пек (рис. 62) [166, 167]. Дом снесли только в 1980 году, и это свидетельствует о том, что постройка была крепкой.

В 1966–1967 годах двухэтажный дом из стеклянных бутылок различной формы и размеров, а также из красочных камней, привезённых из г. Сочи, построил Ибрагим Джафаров (г. Гянджа,

Азербайджан). В строительстве использовалось 48 тыс. бутылок (рис. 63) [168].



*Рис. 62. Дом из стеклянных бутылок Уильяма Пека (1902 г.)*



*Рис. 63. Бутылочный дом Ибрагима Джафарова (г. Гянджа, Азербайджан)*

Житель поселка Теченский (Аргаяшский район Челябинской области) Хамидулла Ильчибаев использовал около 12 тыс. бутылок из-под шампанского для выполнения фасада жилого дома (рис. 64) [169].

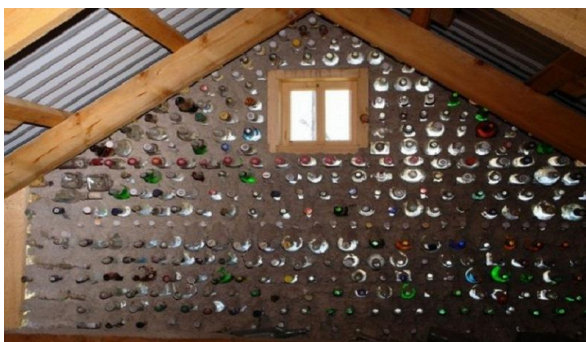


**Рис. 64. Фасад жилого дома, выполненный из бутылок**  
(п. Теченский, Челябинская область)

Жительница Новошахтинска за 14 дней построила дачный домик из 5 тыс. стеклянных бутылок (рис. 65). В планах у нее построить беседку, сарай, душ и парник [170].

Житель Запорожья построил из 8 тыс. бутылок из-под шампанского стеклянный дворец с балконом и флигелем (рис. 66) [170]. Также хозяин создал необыкновенную беседку для отдыха на свежем воздухе (рис. 67) [170].

Каменщик из д. Липово (Смоленская область) построил двухэтажный жилой дом, на создание которого пошло около 35 тыс. стеклянных бутылок (рис. 68). Чтобы дом был теплым, стены сложены особым способом: горлышки бутылок вставлялись между двух противоположно направленных бутылок, это позволило сделать стены шириной 60 см [170].



*Рис. 65. Дачный домик из бутылок (Новошахтинск)*



*Рис. 66. Стекланный дворец с балконом и флигелем (г. Запорожье, Украина)*





*Рис. 67. Беседка из бутылок (г. Запорожье, Украина)*



*Рис. 68. Двухэтажный дом из бутылок (д. Липово, Смоленская область)*

Самое невероятное творение в мире, созданное из бутылок, – храм миллиона бутылок (рис. 69). Это храм Ват Лан Куад, построенный буддийскими монахами на востоке Таиланда. На его создание ушло около 1,5 млн пивных бутылок, которые с удовольствием жертвовали как сами тайцы, так и многочисленные туристы [170].



*Рис. 69. Храм Ват Лан Куад (Таиланд)*

Стеклянные бутылки находят применение вместо сайдинга (рис. 70). С их помощью можно не только оригинально оформить фасад, но и утеплить дом [170]. Стеклянные бутылки часто используются для декорирования стен, заборов, беседок, клумб, садовых дорожек (рис. 71) [170].



*Рис. 70. Фасады домов, отделанные стеклянными бутылками*





*Рис. 71. Использование стеклянных бутылок для декорирования*



Таким образом, использование стеклобоя как вторичного сырья для производства различных материалов и изделий обладает огромными потенциальными возможностями и интересно прежде всего тем, что ресурсы исходного сырья для производства таких изделий постоянно возобновляемы [95].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время одним из направлений технического прогресса стало более широкое использование разнообразных отходов в качестве сырья для выпуска полезной продукции. В данной книге представлены основные классификации стеклоотходов и ряд технических решений (изобретений) использования стеклобоя.

Стеклобой как вторичный сырьевой материал может составлять основу для производства многих полезных и нужных изделий, что открывает новые возможности для решения практических и изобретательских задач.

Все отходы стекла для последующего их рационального использования следует сортировать на группы с учетом бывшего назначения изделия. Собранный и отсортированный таким образом стеклобой должен подвергаться предварительной переработке (на специализированных заводах, мини-заводах), включающей его очистку от загрязнений, дробление (помол), фракционирование. В сравнении с производством нового стекла при переработке отходов стекла экономится до 21 % энергозатрат [110]. Однако серьезнейшей проблемой, которая требует решения, является извлечение и утилизация уже накопленной за десятилетия в отвалах стеклянной упаковки.

Утилизация стеклобоя различных групп – это не только значимое природоохранное мероприятие, но и исключительно важное направление для научных исследований, а также решения актуальных практических задач. Так, использование определенных групп стеклобоя в производстве строительных материалов и изделий способствует повышению качества, удешевлению себестоимости продукции, рациональному использованию отходов.

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

### А

**АРМАТУРА СТЕКЛОПЛАСТИКОВАЯ (АСП)** – арматура со спиралевидным поперечным рифлением, изготавливаемая из стекловолокна и смолы.

**АРМИРОВАННОЕ ЛИСТОВОЕ СТЕКЛО** – стекло, содержащее в толще своей проволочную сетку. Более прочно, чем обычное. При разбивании ударами или растрескивании во время пожара осколки его не рассыпаются, будучи связанными арматурой, поэтому армированное листовое стекло применяют для остекления фонарей промышленных и общественных зданий, кабин подъёмников, лестничных клеток, проёмов противопожарных стен, т.е. когда требуется обеспечить безопасность людей. Вырабатывается методом непрерывного проката между валками с закаткой проволочной сетки, сматываемой с отдельного барабана. *Волнистое армированное листовое стекло* по форме напоминает волнистый асбестоцементный лист. Применяется для устройства перегородок, фонарей, перекрытия стеклянных галерей и пассажей. Армированное листовое стекло выпускают бесцветным (толщиной 5,5 мм) или цветным (толщиной 6 мм), с рельефным или узорчатым рисунком.

### Б

**БЕЗОПАСНОЕ СТЕКЛО** – стекло, которое применяется в основном для остекления наземного транспорта. Выпускается: *трехслойное, трехслойное теплопоглощающее, закаленное, закаленное теплопоглощающее*. Разрушается на мелкие, относительно безопасные, осколки.

### В

**ВИТРИННОЕ СТЕКЛО** – листовое крупногабаритное бесцветное, прозрачное стекло с гладкими поверхностями. Выпускается *неполи-*

*рованными и полированными*, толщиной 6,5–12 мм. Применяется для остекления витрин и витражей общественных, торговых, административных, спортивных зданий.

**ВОЛОКНО СТЕКЛЯННОЕ** – волокно, получаемое из расплавленного стекла. Имеет гладкую поверхность и строго цилиндрическую форму на всем протяжении. Основные виды: *непрерывное* (длина 20 км и более, наименьший диаметр 3–9 мк) и *штапельное* (длина 5–50 см, диаметр менее 1 мк (ультратонкое), 2–3 мк (супертонкое)). Непрерывное и штапельное волокна стеклянные отличаются по химическому составу стекла.

## Г

**ГЛАЗУРЬ** – стекловидное покрытие толщиной 0,15–0,3 мм на керамике, закрепленное обжигом. По химической природе представляет собой щелочные, щелочноземельные и другие алюмосиликатные и алюмоборосиликатные стекла.

## З

**ЗЕРКАЛЬНОЕ СТЕКЛО** – стекло, обработанное шлифованием и полировкой с обеих сторон. Благодаря этому обладает минимальными оптическими искажениями. Современный наиболее распространённый способ производства зеркального стекла состоит в горизонтальной непрерывной прокатке стекломассы между двумя валами, отжиге отформованной ленты в туннельной печи, шлифовке и полировке на механизированных и автоматизированных конвейерных установках. Изготавливается толщиной от 4 мм и выше (в особых случаях – до 40 мм). Для варки зеркального стекла применяют высококачественные материалы, поэтому оно обладает более высоким, чем обычное оконное стекло, светопропусканием, но его механические свойства мало отличаются от механических свойств оконного стекла. Используется главным образом для остекления окон и дверей в общественных зданиях, витрин, для изготовления зеркал.

## К

**КВАРЦЕВОЕ СТЕКЛО** – двуокись кремния ( $\text{SiO}_2$ ). Различают два вида промышленных кварцевых стекол: *непрозрачное* и *прозрачное*. В стеклообразном состоянии получается плавлением при температурах выше  $1700^\circ\text{C}$  наиболее чистых природных разновидностей кристаллического кварца: горного хрусталя, жильного кварца, чистых кварцевых песков. Пропускает ультрафиолетовые лучи, имеет очень высокую температуру плавления, благодаря небольшому коэффициенту расширения выдерживает резкое изменение температур, стойкое по отношению к воде и кислотам. Применяется для изготовления лабораторной посуды, тиглей, оптических приборов, изоляционных материалов, ртутных ламп («горное солнце»), в медицине и др.

**КЕРАМИЧЕСКИЕ КРАСКИ** – окрашенные минеральные вещества (обычно окислы тяжелых цветных металлов или синтетические соединения типа корундов, гранатов, цирконов), стойкие при высоких температурах. В основном представляют собой смеси *флюса* (см.) и окрашивающего соединения. Обычно состоят из 15–20 мас. % пигмента и 80–85 мас. % флюса. Подразделяются на *надглазурные* и *подглазурные*.

**КРОНЫ (кронглас)** – *оптические стекла* (см.), не содержащие или содержащие малое количество окиси свинца.

## Л

**ЛИСТОВОЕ ОКОННОЕ СТЕКЛО** – стекло, наиболее применяемое в строительстве. Вырабатывается из расплавленной стекломассы, главным образом вертикальным или горизонтальным непрерывным вытягиванием ленты, от которой по мере её охлаждения и затвердевания отрезаются от одного конца листы требуемых размеров. Существенный недостаток – наличие некоторой волнистости, искажающей предметы, просматриваемые через него (в особенности под острым углом). См. ОКОННОЕ СТЕКЛО.

## М

**МАРБЛИТ** – прямоугольные или квадратные плиты, изготовленные из глушеного стекла. Наружная поверхность листов обычно полированная, внутренняя – рифленая. Декоративный марблит изготавливается из черного глушеного стекла с кристаллическими переливающимися вкраплениями. Применяется для облицовки фасадов зданий, оформления интерьеров. См. СТЕКЛОМРАМОР.

**МАТЕРИАЛЫ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ** – искусственные камни, в которых сочетаются в различных соотношениях стекловидная и кристаллическая фазы.

**МАТОВОЕ СТЕКЛО** – стекло, получаемое из листового оконного стекла (см.) путем пескоструйной обработки поверхности листа. При помощи трафарета можно получить матово-узорчатый рисунок. Применяют для остекления окон, дверей, перегородок, когда требуется получить рассеянный свет или освещение без сквозной видимости.

**МЕБЕЛЬНОЕ СТЕКЛО** – преимущественно прозрачное листовое неполированное или полированное стекло (ГОСТ 6799-2005). Толщина – 3–9 мм, длина – 300–1800 мм, ширина – 600–800 мм. Может быть цветным или узорчатым.

**МЕДИЦИНСКОЕ СТЕКЛО** – стекло для изготовления специальных инструментов, приборов и стеклянной тары, применяемых в медицине.

## О

**ОБЛИЦОВОЧНОЕ СТЕКЛО** – непрозрачное цветное листовое стекло. Изготавливается путём периодической прокатки стекломассы на литейном столе с последующим отжигом в туннельных печах. Применяется для отделки фасадов и интерьеров жилых и общественных зданий. К облицовочному стеклу относится *марблит* (см.), а также цветное металлизированное стекло.

**ОКОННОЕ СТЕКЛО** – стекло листовое бесцветное, прозрачное с гладкими поверхностями, неполированное и полированное. Выпус-

кают толщиной 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм. Применяют для остекления окон, витражей, дверей, фонарей и других светопрозрачных конструкций зданий и сооружений. См. ЛИСТОВОЕ ОКОННОЕ СТЕКЛО.

**ОКСИДНЫЕ СТЕКЛА ВАНАДИЕВЫЕ** – стекла, получаемые сплавлением при 600–1100 °С окислов ванадия и фосфора в чистом виде или в присутствии BaO, PbO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub>, а также окислов некоторых щелочноземельных и щелочных металлов.

**ОПТИЧЕСКОЕ СТЕКЛО** – высокопрозрачное однородное химически стойкое стекло. Изготавливается с точно задаваемыми оптическими свойствами: показателем преломления (от 1,47 до 2,04) и коэффициентом дисперсии (от 70 до 78). В зависимости от сочетания оптических подразделяют на *кроны* (см.) (малое преломление и повышенная дисперсия) и *флинты* (см.) (с противоположными свойствами). Применяется для изготовления оптических инструментов и приборов.

## II

**ПЕНОСТЕКЛО (вспененное стекло, ячеистое стекло)** – теплоизоляционный материал, представляющий собой вспененную стекломассу.

**Плитки из глушеного стекла** – преимущественно квадратные или прямоугольные (150×150 или 250×140 мм). Изготавливаются методом непрерывного проката или горячего прессования. Могут иметь различный цвет, хотя чаще выпускаются молочно-белыми. Применяют для внутренней облицовки поверхности стен производственных зданий, душевых, санузлов.

**Плитки коврово-мозаичные** – плитки из глушеного стекла в виде ковров, на бумажной основе. Получают методом непрерывного проката или прессования из стеклянного порошка с последующим отжигом. Прокатные плитки выпускают в основном 21×21×4,5 мм, прессованные – 22×22×5 мм. Применяют для наружной и внутренней (реже) отделки зданий.

**ПЛИТЫ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ (стеклокремнезит)** – плиты, изготавливаемые термообработкой гранул стекла в смеси с кремнеземом. Наружную поверхность подвергают огневой полировке, и она приобретает высокие декоративные свойства – имитирует природный камень. Применяют для наружной и внутренней облицовки стен, настилки полов.

**ПОЛУПРОВОДНИКОВОЕ СТЕКЛО** – неорганическое стекло, обладающее электрическими свойствами полупроводников. Известны две группы таких стекол: *халькогенидные* и *оксидные*.

**ПРОКАТНОЕ УЗОРЧАТОЕ СТЕКЛО** – бесцветное и цветное стекло с узорчатой поверхностью, получаемой путём прокатки между двумя валками, один из которых рифлёный. Применяется, когда требуется получить рассеянный свет. С матовым или «морозным» рисунком – для внутренних перегородок, дверных филёнок и остекления лестничных клеток. Изготавливается путём обработки поверхности *оконного* (см.) или *зеркального* (см.) *стекла*. Матовый рисунок получается обработкой поверхности струей песка под шаблон. «Морозный узор» на стекле получают нанесением на поверхность слоя клея, который в процессе сушки отрывается вместе с верхними слоями стекла.

## Р

**РЕЦИКЛИНГ** (англ. *recycling* – рециклирование и утилизация отходов) – повторное использование или возвращение в оборот отходов производства.

## С

**СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЕ СТЕКЛО** – стекло, изменяющее направление или спектральный состав светового потока.

**СДВОЕННЫЕ (ПАКЕТНЫЕ) СТЕКЛА** – стекла с воздушной или светорассеивающей прослойкой (например, из волокна стеклянного (см.)). Обладают хорошими теплоизоляционными свойствами;



изготавливаются путём склейки двух оконных стекол (см.) с прокладной рамкой. Толщина сдвоенных стекол с воздушной прослойкой – 12–15 мм.

**СИТАЛЫ** – стеклокристаллические материалы, полученные объёмной кристаллизацией стекол и состоящие из одной или нескольких кристаллических фаз, равномерно распределённых в стекловидной фазе. Разработаны советским физикохимиком И.И. Китайгородским.

**СМАЛЬТА** – цветное непрозрачное стекло в виде небольших (1–2 см<sup>3</sup>) кубиков и пластинок разной формы, применяемое для мозаичных работ. Получают отливкой или прессованием из окрашенного (при варке) глушеного стекла (иногда дополнительно кристаллизуют), прессованием в горячем состоянии двух слоев стекла с прокладкой между ними тонкой цветной фольги. Применяют для отделки фасадов, изготовления мозаичных панно, картин или как отдельные вставки.

**СОЛНЦЕЗАЩИТНЫЕ СТЕКЛА** – листовые стекла, задерживающие инфракрасные и другие тепловые солнечные лучи. Выпускают *теплопоглощающими* – окрашенными в массу оксидами металлов, и *солнцезащитными* – с покрытиями из оксидов металлов, прозрачными для видимых лучей и поглощающими часть инфракрасного солнечного излучения.

**СОРТОВОЕ СТЕКЛО** – стеклянная посуда (стаканы, кувшины, масленки, изделия на ножке: рюмки и др.), а также изготавливаемые по сходной технологии пепельницы, туалетные приборы, сувенирные изделия.

**СТАЛИНИТ** – марка закаленного высокопрочного стекла, отмеченная советской премией в 1949 г. (названа в честь И.В. Сталина). Термин применяется в архитектуре и строительстве для обозначения различных видов закаленного стекла.

**СТЕКЛО** – материал, получаемый при остывании неметаллического расплава в виде аморфного, изотропного, хрупкого, в той или

иной степени прозрачного тела, обладающий в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел. Не имеет упорядоченной кристаллической структуры и характеризуется изотропным строением и повышенной хрупкостью, при нагревании не плавится как кристаллы, т.е. не имеет определенной точки плавления, а характеризуется интервалом размягчения.

**СТЕКЛО РАСТВОРИМОЕ** – смесь силикатов натрия и калия (или только натрия), водные растворы которых называются *жидким стеклом*. Применяют для изготовления кислотоупорных цементов и бетонов, для пропитки тканей, изготовления огнезащитных красок, силикагеля, канцелярского клея, для укрепления слабых грунтов и др.

**СТЕКЛО СТРОИТЕЛЬНОЕ** – изделия из стекла, применяемые в строительстве для стекления световых проёмов, устройства прозрачных и полупрозрачных перегородок, облицовки и отделки стен, лестниц и других частей здания. К строительным стеклам относят также тепло- и звукоизоляционные материалы из стекла (*пеностекло* (см.), *стеклянная вата* (см.)), *стеклянные трубы* (см.) для скрытой электропроводки, водопровода, канализации и других целей, архитектурные детали, элементы стекложелезобетонных перекрытий и т.д. Большая часть ассортимента строительного стекла служит для остекления световых проёмов: *армированное листовое стекло* (см.), *зеркальное стекло* (см.), *листовое оконное стекло* (см.), рифлёное, узорчатое, двухслойное стекло, пустотелые блоки и др. Тот же ассортимент стекла может быть использован и для устройства прозрачных и полупрозрачных перегородок.

**СТЕКЛОБЛОК** – пустотелое стеклянное изделие, получаемое сваркой двух прессованных полублоков. Обладает хорошим светопропусканием (не менее 50 %), тепло- и звукоизолирующими свойствами, достаточной прочностью (предел прочности на сжатие 4 МПа (40 кгс/см<sup>2</sup>), обеспечивают хорошую освещённость и теплоизоляцию. Выпускаются светорассеивающие, светонаправляющие,

солнцезащитные, цветные стеклоблоки. Применяют для заполнения наружных световых проемов зданий, устройства светопрозрачных перегородок, остекления лестничных клеток и т.п. Укладка блоков в проёмы производится на строительном растворе в виде панелей, перевязанных металлическими переплётками.

**СТЕКЛОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРА** – характеризует переход низко- или высокомолекулярных аморфных веществ при охлаждении в твердое или стеклообразное состояние.

**СТЕКЛОВОЛОКНО** – искусственное волокно цилиндрической формы с гладкой поверхностью, получаемое вытягиванием расплавленного стекла. Широко применяется в химической промышленности для фильтрации горячих кислых и щелочных растворов, очистки горячего воздуха и газов, изготовления сальниковых набивок в кислотных насосах, армирования стеклопластиков и др.

**СТЕКЛОКРЕМНЕЗИТ** – плиты, изготовленные термообработкой гранул стекла в смеси с кремнеземом. Наружную поверхность плит подвергают огневой полировке, в результате чего она приобретает высокие декоративные свойства – имитирует природный камень. Применяют для наружной и внутренней облицовки стен, настилки полов. См. Плиты СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ.

**СТЕКЛОЛАКОТКАНЬ ПОЛУПРОВОДЯЩАЯ** – стеклянная ткань, пропитанная специальным лаком, содержащим мелкодисперсный графит или другой наполнитель, придающий материалу полупроводящие свойства.

**СТЕКЛОМРАМОР** – разновидность *марблита* (см.). Имеет мраморовидную окраску. Применяется для облицовки интерьеров зданий и покрытий полов.

**СТЕКЛОПАКЕТ** – строительное изделие из двух или более листов стекла, герметично соединенных по периметру рамкой (обоймой). Образующиеся между стеклами замкнутые полости заполняют осушенным воздухом, что исключает запотевание и образование конденсата. Применяют для остекления световых проемов зданий в

однорамном переплете (взамен двойного остекления в двухрамном переплете).

**СТЕКЛОПЛАСТИКИ** – пластические материалы, состоящие из стекловолокнистого наполнителя (элементарное стеклянное волокно, волокно кремнеземного состава, волокно из кварца, базальта, туфониты, стеклоткани различных структур, стеклянные маты или холсты и др.) и связующего вещества (термореактивные и термопластичные полимеры).

**СТЕКЛОПЛЕНКИ** – гибкие плоские стекла толщиной менее 100 мк.

**СТЕКЛОПРОФИЛИТ** – крупногабаритные строительные изделия из стекла различного профиля. Изготавливаются в основном методом непрерывного проката из армированного и неармированного бесцветного и окрашенного стекла. По форме сечения: *волнистый, коробчатый, швеллерный, уголкового, трапециевидный* и др. Применяют для устройства светопрозрачных ограждающих конструкций зданий и сооружений.

**СТЕКЛО С ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ** – стекло, на поверхность которого нанесены тонкие пленки окислов металлов (олова, индия, титана, кадмия, сурьмы, свинца и др., комбинации этих окислов с добавками окислов меди, цинка, кобальта и др.). Обладает свойствами полупроводников.

**СТЕКЛОТЕКСТОЛИТ** – слоистый конструкционный материал, получаемый горячим прессованием стеклоткани, разрезанной по размерам плит пресса, набранной в пакет необходимой толщины и предварительно пропитанной органической или кремнийорганической смолой.

**СТЕКЛОТКАНИ** – материалы, образованные переплетением взаимно перпендикулярных нитей *волокна стеклянного* (см.). Из стеклотканей изготавливают *стеклопластики* (см.), фильтры для горячих агрессивных реакторов, драпировки радиостудий, киноэкраны и др.

**СТЕКЛЯННАЯ ВАТА (стекловата)** – волокнистый минеральный теплоизоляционный материал, разновидность минеральной ваты. Для

получения используют то же сырьё, что и для производства обычного стекла или отходы стекольной промышленности. Имеет высокую химическую стойкость, плотность в рыхлом состоянии не превышает  $130 \text{ кг/м}^3$ . Волокно стеклянной ваты имеет толщину 3–15 мкм, а длину – минимум в 2–4 раза больше, чем у каменной ваты. Изделия из стеклянной ваты обладают повышенной упругостью и прочностью. Стеклянная вата практически не содержит неволокнистых включений и обладает высокой вибростойкостью. Теплопроводность –  $0,030\text{--}0,052 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ; температуростойкость –  $450^\circ\text{C}$ .

**СТЕКЛЯННАЯ КРОШКА** – получается дроблением отходов прокатного стекла, стекольного гранулята из глушенной белой или цветной стекломассы. Применяют для создания декоративного эффекта при отделке бетонных поверхностей.

**СТЕКЛЯННАЯ МОЗАИКА** – *смальта* (см.) и ковровая мозаика – мелкие квадратные плитки (например,  $20\times 20\times 4 \text{ мм}$ ) из непрозрачного прокатного стекла различных цветов с глянцевой или матовой поверхностью. Плитки по рисунку наклеивают на крафт-бумагу и в виде ковриков применяют для облицовки стеновых панелей и внутренней отделки стен и колонн.

**СТЕКЛЯННАЯ ПЛИТКА** мозаичная – мелкая (обычно квадратная) облицовочная плитка, изготавливаемая из непрозрачного цветного стекла способом непрерывного проката. Применяется в наружной и внутренней облицовке зданий, сооружений и для декоративно-художественных мозаичных работ.

**СТЕКЛЯННЫЕ ТРУБЫ** – изготавливают из прозрачного стекла. Выпускают диаметром 40–200 и длиной 1500–3000 мм. Обладают высокой коррозионной стойкостью, водонепроницаемостью. Можно эксплуатировать при температуре от  $-50$  до  $+120^\circ\text{C}$  и давлении от 0,2 до 0,7 МПа. Широко применяют в химической и пищевой промышленности для транспортирования жидких, газообразных и твердых веществ, кроме плавиковой кислоты. К трубам изготавливают фасонные части: отводы, тройники, крестовины, переходы и др.

**СТЕКОЛЬНЫЕ РАБОТЫ** – вставка стекол в световые проемы и различные ограждающие конструкции зданий и сооружений. Различают остекление обычным стеклом, крупноразмерным витринным стеклом, стеклоблоками, стеклопанелями.

**СТЕМАЛИТ** – листовое стекло толщиной 5–12 мм различной фактуры, покрытое с одной стороны глухой (непрозрачной) керамической краской. Применяется для наружной и внутренней облицовки зданий и изготовления многослойных навесных панелей.

## Т

**ТАРНОЕ СТЕКЛО** – изделия из стекла, предназначенные для расфасовки, хранения, транспортирования различных жидких, пас-тообразных и твердых продуктов.

**ТРИПЛЕКС** – разновидность безосколочного стекла. Два стек-лянных листа, скрепленные между собой полимерной пленкой.

## У

**УВИОЛЕВООЕ СТЕКЛО** – получают из сырья с минимальным со-держанием примесей оксидов железа, титана, хрома. Пропускает не менее 25 % ультрафиолетовых лучей. Применяется для остекления лечебных, детских учреждений, оранжерей и др.

**УЗОРЧАТОЕ СТЕКЛО** – листовое, с четким рельефным узором на одной или обеих поверхностях, бесцветное или цветное. Получают методом горизонтального проката. Выпускают толщиной 3,5; 5; 6 и 7 мм. Применяют для остекления окон, дверей, устройства перегородок: уменьшает слепящее действие солнечного света, создает в помещении равномерную освещенность, улучшает архитектурно-художественное качество интерьеров.

## Ф

**ФЛИНТ (флинтглас)** – *оптическое стекло* (см.), содержащее большое количество окиси свинца и отличающееся большим показателем преломления.

**ФЛЮС** – в керамике: вспомогательное вещество, способствующее стеклообразованию при смешении с глиной. Флюсы керамические – легкоплавкие свинцовые, борносвинцовые и щелочные борносвинцовые силикаты с содержанием оксида свинца 10–75 %. Основные материалы для получения: кварц, полевой шпат, пегматиты, каолин, мел, барит, бура, борная кислота, сода, поташ, сода и т.п. Применяют для изготовления керамических красок по фарфору, фаянсу, стеклу, не контактирующих с пищевыми продуктами и (в электронной промышленности) для специальных целей. Для получения кислотоупорных красителей применяют флюсы, содержащие 0,1–0,15 мол. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

## Х

**ХАЛЬКОГЕНИДНОЕ СТЕКЛО** – бескислородные стеклообразные сплавы сульфидов, селенидов и теллуридов мышьяка, сурьмы, фосфора, висмута и таллия. Легкоплавко, начинает размягчаться при температурах более низких, чем соответствующие кристаллические халькогениды.

**ХИМИКО-ЛАБОРАТОРНОЕ СТЕКЛО** – стекло, обладающее высокой химической и термической устойчивостью, не мутнеющее при обработке в пламени стеклодувной горелки. Для повышения этих свойств в состав вводят оксиды цинка и бора.

**ХРУСТАЛЬ** – стекло с большим содержанием окиси свинца или окиси бария. Изделия из хрусталя характеризуются значительной толщиной стенок, высоким показателем преломления, что обуславливает их особый блеск и многоцветную игру света.

**ХРУСТАЛЬНОЕ СТЕКЛО** – бесцветное стекло, содержащее в основном двуокись кремния  $\text{SiO}_2$ , а количество окиси свинца  $\text{PbO}$ , окиси бария  $\text{BaO}$ , окиси калия  $\text{K}_2\text{O}$ , окиси цинка  $\text{ZnO}$  (в отдельности или в сочетании) – не менее 10 масс. %. Показатель преломления – не менее 1,520, плотность – не менее 2,4 г/см<sup>3</sup>.

**ХУДОЖЕСТВЕННОЕ СТЕКЛО** – изделия и заготовки из стекла, выполняющие художественно-декоративные и прикладные функции (посуда, вазы; ювелирные изделия и бижутерия; светильники; витражи и смальтовые мозаики, различные архитектурные детали и декоративные композиции, мелкая пластика, скульптура). Широко распространены изделия массового (заводского) производства.

## Ц

**ЦВЕТНОЕ ЛИСТОВОЕ СТЕКЛО** – получают из окрашенной стекломассы. Применяют для декоративного остекления световых проемов помещений, художественного оформления фасадов и других целей (может быть окрашено по всей толщине или из двух слоев – основного бесцветного и тонкого цветного).

## Э

**ЭЛЕКТРОВАКУУМНОЕ СТЕКЛО** – полуфабрикат для изготовления колб и ламп накаливания, газоразрядных ламп, рентгеновских трубок и т.п. изделий. Ввиду особых требований, предъявляемых к электровакуумному стеклу, для его изготовления применяют многокомпонентную шихту. Кроме обычных трех главнейших окислов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , это стекло содержит окислы магния, свинца, алюминия, калия, бария, бора.

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТЕКЛО** – стекло и стекольные полуфабрикаты, используемые для изготовления и монтажа электротехнических, радиотехнических и электровакуумных устройств и приборов. Условно делят на *электровакуумное стекло* и *электроизоляционное* (см.), или *изоляторное стекло*.

**ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЕ СТЕКЛО** – аморфные термопластики – смеси различных окислов. Обладает высокой химической стойкостью, теплостойкостью, прочностью и хрупкостью.

**ЭМАЛИРОВАННЫЕ СТЕКЛЯННЫЕ ПЛИТКИ** – изготавливают из отходов оконного или витринного стекла (чаще 150×150 мм). Лице-



вую поверхность покрывают слоем боросиликатной титановой эмали, а затем подвергают термической обработке для ее закрепления и отжига стекла. Применяют для облицовки стен столовых, кухонь, санузлов.

**ЭМАЛЬ** – прочное стеклообразное покрытие, наносимое на поверхность изделия. Изготавливают из специальных легкоплавких цветных стекол с добавлением в них различных пигментов и вспомогательных веществ (двуокись марганца, закись кобальта или никеля, криолит, трехокись сурьмы и др.), которые регулируют химические процессы. Эмаль может быть прозрачной, непрозрачной, иметь различную окраску. Эмалью называют непрозрачную *глазурь* (см.) на керамических и стеклянных изделиях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Подлuzский, Е.Я.* Проблемы энергосбережения в производстве строительных материалов / Е.Я. Подлuzский // Строительный рынок. – 2009. – № 11. – С. 6–9.
2. Рынок стеклянной тары и стеклобоя в Центрально-Черноземном регионе / ГУП «Воронежинвест // Практический маркетинг. – 2003. – № 4. – С. 26–32.
3. *Оказова, З.П.* Проблема утилизации твердых бытовых отходов в Республике Северная Осетия-Алания / З.П. Оказова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5. – С. 699.
4. *Щепочкина, Ю.А.* Какой быть стеклотаре? / Ю.А. Щепочкина // Пищевая пром-сть. – 1996. – № 10. – С. 51.
5. Строительные материалы: учеб.-справ. пособие / под ред. Г.А. Айрапетова. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 699 с.
6. *Чaus, К.В.* Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций / К.В. Чaus, Ю.Д. Чистов, Ю.В. Лабзина. – Москва: Стройиздат, 1988. – 448 с.
7. *Популов, М.Ф.* Учебно-методический комплекс дисциплины «Строительные материалы» / М.Ф. Популов. – Губкин: ГИ(ф) МГОУ, 2008. – 350 с.
8. *Пейсахов, А.М.* Материаловедение и технология конструктивных материалов / А.М. Пейсахов, А.М. Кучер. – Санкт-Петербург: Изд-во Михайлова В.А. (ГИПК Лениздат), 2004. – 406 с.
9. *Егоров, А.П.* Общая химическая технология неорганических веществ / А.П. Егоров, А.И. Шерешевский, И.В. Шманенков. – Москва: Химия, 1964. – 688 с.
10. *Соколов, Р.С.* Химическая технология / Р.С. Соколов. – Т. 1: Химическое производство в антропогенной деятельности. Основные вопросы химической технологии. Производство неорганических веществ. – Москва: ВЛАДОС, 2000. – 368 с.
11. *Щепочкина, Ю.А.* Стеклобой и проблемы его утилизации / Ю.А. Щепочкина // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і пер-

спективы развития: тез. докл. IV Міжнар. навук. канф. – Брэст: Альтернатива, 2008. – С. 225.

12. Дудеров, И.Г. Общая технология силикатов / И.Г. Дудеров, Г.М. Матвеев, В.Б. Суханова. – Москва: Стройиздат, 1987. – 560 с.

13. Конструкционные материалы / гл. ред. А.Т. Туманов. – Москва: Советская энциклопедия, 1965. – Т. 3. – 528 с.

14. Глазурь: пат. 2056381 Рос. Федерация. № 2006142504/03: заявл. 30.11.2006; опубл. 20.08.2008, Бюл № 23. – 3 с.

15. Стекловидное покрытие: пат. 2152910 Рос. Федерация. № 99106119/03: заявл. 23.03.1999; опубл. 20.07.2000, Бюл № 2. – 3 с.

16. Сырьевая смесь для изготовления пеностекла: пат. 2377199 Рос. Федерация. – № 2008140770/03; заявл. 14.10.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36. – 3 с.

17. Способ изготовления пеностекла: пат. 2361828 Рос. Федерация: С 03 С 11/00. – № 2007143935/03; заявл. 26.11.2007; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20. – 4 с.

18. Способ получения стеклокремнезита: пат. 2361739 Рос. Федерация. – № 2008103936/03: заявл. 01.02.2008; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20. – 4 с.

19. Шлифовка и полировка стекла / З. Козл [и др.]; под рук. инж. И. Гетца; сокр. пер. с чеш. инж. М. А. Смысловой. – Ленинград: Стройиздат, 1967. – 280 с.

20. Качалов, Н.Н. Стекло / Н.Н. Качалов. – Москва: Изд-во АН СССР, 1959. – 465 с.

21. Ржевская, С.В. Материаловедение / С.В. Ржевская. – Москва: Логос, 2004. – 424 с.

22. Шабурова, Н.А. Материаловедение. Ч. II. Неметаллические материалы / Н.А. Шабурова. – Челябинск: ЮУрГУ, 2011. – 82 с.

23. Хомченко, А.В. Исследование свойств электрообогреваемых стеклопакетов / А.В. Хомченко // Вестн. Белорусско-Российского ун-та. – 2016. – № 3 (52). – С. 152–159.

24. Толковый словарь по химии и химической технологии. Основные термины / С.М. Баринов [и др.]; под ред. Ю.А. Лебедева. – Москва: Рус. яз., 1987. – 528 с.

25. *Основин, В.Н.* Справочник по строительным материалам и изделиям / В.Н. Основин. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 443 с.

26. *Юхневский, П.И.* Строительные материалы и изделия: учеб. пособие для вузов / П.И. Юхневский, Г.Т. Широкий. – Минск: Техно-принт, 2004. – 475 с.

27. *Дворкин, Л.И.* Современные отделочные и облицовочные материалы. Практический справочник для строительства и ремонта домов и квартир / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Москва: РИПОЛ классик, 2010. – 397 с.

28. *Сергеев, Ю.П.* Выполнение художественных изделий из стекла / Ю.П. Сергеев. – Москва: Высш. шк., 1984. – 240 с.

29. *Рыбьев, И.А.* Строительное материаловедение / И.А. Рыбьев. – Москва: Высш. шк., 2004. – 701 с.

30. *Белов, В.В.* Краткий курс материаловедения и технологии конструкционных материалов для строительства / В.В. Белов, В.Б. Петропавловская. – Тверь: ТГТУ, 2005. – 180 с.

31. *Попов, К.Н.* Строительные материалы и изделия / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – Москва: Высш. шк., 2001. – 367 с.

32. *Стекло: справ.* / ред. Н.М. Павлушкин. – Москва: Стройиздат, 1973. – 487 с.

33. *Горчаков, Г.И.* Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – Москва, 2012. – 688 с.

34. Оптическое стекло, устойчивое к действию гамма-излучения: пат. 2036867 Рос. Федерация. – № 93006884/33; заявл. 04.02.1993; опубл. 09.06.1995.

35. *Шеина, Т.В.* Архитектурное материаловедение: учеб. пособие / Т.В. Шеина. – Самара: Самар. гос. архит.-строит. ун-т, 2011. – 360 с.

36. *Персион, А.А.* Монтаж трубопроводов. Справочник рабочего / А.А. Персион, К.А. Гарус. – Киев: Будівельник, 1987. – 208 с.

37. *Бакулкин, Б.И.* Проектирование и монтаж стеклянных трубопроводов / Б.И. Бакулкин, М.Г. Скакунов, Б.М. Слонимер. – Москва: Стройиздат, 1981. – 285 с.

38. *Тавастшерна, Р.И.* Изготовление и монтаж технологических трубопроводов / Р. И. Тавастшерна. – Москва: Стройиздат, 1980. – 296 с.

39. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: справ.: в 2 т. / под ред. А.А. Герасименко. – Москва: Машиностроение, 1987. – Т. 2. – 784 с.

40. *Шапиро, И.Е.* Стекланные трубы: производство и применение / И.Е. Шапиро, Е.Г. Фролова. – Москва: Стройиздат, 1966. – 236 с.

41. *Демидович, Б.К.* Пеностекло / Б.К. Демидович. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.

42. *Щелчкова, К.В.* Пеностекло – утеплитель будущего / К.В. Щелчкова // Приоритетные направления в развитии современной науки: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. (г. Новосибирск, 9 окт. 2017 г.) – Иркутск: Апекс, 2017. – С. 3–5.

43. Способ производства пеностекла: пат. 2459769 Рос. Федерация. – № 2010139445/03; заявл. 24.09.2010; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24. – 9 с.

44. *Бутт, Ю.М.* Общая технология силикатов / Ю.М. Бутт, Г.Н. Дудеров, М.А. Матвеев. – Москва: Стройиздат, 1976. – 599 с.

45. *Храмков, В.П.* Материалы для производства и обработки стекла и стеклоизделий / В.П. Храмков, Е.А. Чугунов. – Москва: Высш. шк., 1987. – 104 с.

46. Курс химии. Ч. 2. Специальная для строительных институтов и факультетов / В.А. Киреев [и др.]. – Москва: Высш. шк., 1975. – 263 с.

47. *Павлушкин, Н.М.* Химическая технология стекла и ситаллов / под ред. Н. М. Павлушкина. – Москва: Стройиздат, 1983. – 432 с.

48. *Яманов, С.А.* Химия и радиоматериалы: учеб. для радиотехн. спец. вузов / С.А. Яманов. – Москва: Высш. шк., 1970. – 400 с.

49. Стекло для сортовой посуды: пат. 2077514 Рос. Федерация. – № 93046759/03; заявл. 06.10.1993; опубл. 20.04.1997.

50. *Ланцетти, А.Г.* Изготовление художественного стекла / А.Г. Ланцетти, М.Л. Нестеренко. – Москва: Высш. шк., 1987. – 304 с.

51. Художественное стекло и хрусталь / авт.-сост. В.Т. Пономарев. – Москва: АСТ; Донецк: Сталкер, 2006. – 144 с.
52. Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструкционных материалов) / В.Г. Микульский [и др.]. – Москва: АСВ, 2004. – 536 с.
53. *Ходаков, Ю.В.* Общая и неорганическая химия: кн. для учителя / Ю.В. Ходаков. – Москва: АПН РСФСР, 1954. – 527 с.
54. ИТС 5-2015. Производство стекла: инф.-техн. справ. по наилучшим доступным технологиям. – Москва: Бюро НДТ, 2015. – 99 с.
55. *Ахметов, Н.С.* Неорганическая химия / Н.С. Ахметов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высш. шк., 1975. – 672 с.
56. *Воробьев, В.А.* Строительные материалы / В.А. Воробьев, А.Г. Комар. – Москва: Стройиздат, 1971. – 496 с.
57. *Воронцов, В.М.* Стекло и керамика в архитектуре / В.М. Воронцов, И.И. Немец. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 106 с.
58. *Богданова, Г.С.* Светотехническое стекло / Г.С. Богданова // Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – Москва: Советская энциклопедия, 1969–1978.
59. Политехнический словарь / гл. ред. И.А. Артоболевский. – Москва: Советская энциклопедия, 1976. – 608 с.
60. Энциклопедия неорганических материалов: в 2 т. / отв. ред. И.М. Федорченко. – Киев, 1977. – Т. 2. – 822 с.
61. Оптические материалы для инфракрасной техники / Е.М. Воронкова [и др.]; под ред. А.А. Асоченского. – Москва: Наука, 1965. – 335 с.
62. Справочник технолога-оптика / М.А. Окатов [и др.]; под ред. М.А. Окатова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Политехника, 2004. – 679 с.
63. *Галант, Е.И.* Оптическое стекло / Е.И. Галант, Л.Б. Глебов, М.Н. Толстой // Физическая энциклопедия / гл. ред. А.М. Прохоров. – Москва: БРЭ, 1992. – Т. 3. – 672 с.

64. *Зверев, В.А.* Оптические материалы. Ч. 1: учеб. пособие / В.А. Зверев, Е.В. Кривоустова, Т.В. Точилина. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2009. – 244 с.

65. *Бардин, А.Н.* Технология оптического стекла / А.Н. Бардин. – Москва: Высш. шк., 1963. – 519 с.

66. Тара и ее производство. Ч. 1 / А.А. Букин [и др.]. – Тамбов: ТГТУ, 2006. – 88 с.

67. Тара и ее производство. Ч. 2 / А.А. Букин [и др.]. – Тамбов: ТГТУ, 2008. – 80 с.

68. *Воробьев, Х.С.* Теплотехнологические процессы и аппараты силикатных производств / Х.С. Воробьев, Д.Я. Мазуров, А.А. Соколов. – Москва: Высш. шк., 1965. – 774 с.

69. *Глазунов, А.И.* Технология вин и коньяков / А.И. Глазунов, И.Н. Царану. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 342 с.

70. *Шелюбский, В.И.* Электротехническое стекло / В.И. Шелюбский // Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – Москва, 1969–1978.

71. *Роус, Б.* Стекло в электронике / Б. Роус; пер. с чеш. Н.М. Вайсфельд; ред. пер. с чеш. Г.А. Степанов. – Москва: Сов. радио, 1969. – 355 с.

72. Справочник по производству стекла / под ред. И.И. Китайгородского, С.И. Сильвестровича. – Москва: Госстройиздат, 1963. – Т. 1. – 518 с.

73. А.с. СССР, С03С 8/02, 3/091. – № 1366486, опубл. 1988.

74. Электротехническое стекло: пат. 2320558 Рос. Федерация. – № 2006135771/03; заявл. 09.10.2006; опубл. 27.03.2008, Бюл. № 9. – 3 с.

75. Справочник по электротехническим материалам: в 3 т. / под ред. Ю.В. Корицкого [и др.]. – 3-е изд., перераб. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 2. – 464 с.

76. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Т. 2 / А.В. Шишкин [и др.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 508 с. – Ч. 2: Технологии получения и обработки материалов. Ч. 3: Материалы как компоненты оборудования.

77. Машиностроительные материалы: краткий справ. / В.М. Раскатов [и др.] – Москва: Машиностроение, 1980. – 511 с.
78. *Правдин, П.В.* Лабораторные приборы и оборудование из стекла / П.В. Правдин. – Москва: Химия, 1978. – 304 с.
79. *Цимберов, А.И.* Стекланные изоляторы / А.И. Цимберов, А.В. Штерн. – Москва: Энергия, 1973. – 200 с.
80. *Дуброво, С.К.* Стекло для лабораторных изделий и химической аппаратуры / С.К. Дуброво. – Москва; Ленинград: Наука, 1965. – 108 с.
81. *Голь, М.М.* Руководство по основам стеклодувного дела / М.М. Голь. – Ленинград: Химия, 1974. – 120 с.
82. *Саркисов, П.Д.* Медицинское стекло / П.Д. Саркисов // Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – Москва: Советская энциклопедия, 1969–1978.
83. Разработка государственных стандартов на медицинское стекло, гармонизированных с международными / И.А. Левицкий [и др.] // Тр. БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганических веществ. – 2009. – Вып. XVII. – С. 31–33.
84. Технология лекарств промышленного производства / В.И. Чуешов [и др.]. – Винница: Нова Книга, 2014. – Ч. 1. – 696 с.
85. *Бобкова, Н.М.* Физическая химия силикатов и тугоплавких соединений / Н.М. Бобкова. – Москва: Высш. шк., 1984. – 256 с.
86. *Будников, П.П.* Новые керамические материалы / П.П. Будников, Ю.Е. Пивинский. – Москва: Знание, 1968. – 48 с.
87. *Гончаров, А.И.* Справочник по химии: [пер. с укр.] / А.И. Гончаров, М.Ю. Корнилов. – 2-е изд., доп. – Киев: Вища шк., 1978. – 308 с.
88. *Саркисов, П.Д.* Кварцевое стекло / П.Д. Саркисов // Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – Москва: Советская энциклопедия, 1969–1978.
89. *Удыма, П.Г.* Коррозионностойкие трубопроводы из неметаллических материалов / П.Г. Удыма. – Москва: Госхимиздат, 1963. – 219 с.



90. *Степанчикова, И.Г.* Отечественный опыт переработки стеклобоя / И.Г. Степанчикова, А.В. Деревянко // Энергия: экономика, техника, экология. – 2010. – № 3. – С. 42–46.

91. *Мелконян, Р.Г.* Извлечение стеклобоя из твердых бытовых отходов / Р.Г. Мелконян // Стекло мира. – 1999. – № 2. – С. 53.

92. *Мелконян, Р.Г.* Опыт сбора и передачи стеклобоя за рубежом / Р.Г. Мелконян, Г.Р. Мелконян // Стеклобоя: инф. бюл. – 2000. – № 3 (9). – С. 8–9.

93. *Степанчикова, И.Г.* Зарубежный опыт сбора и переработки стеклобоя / И.Г. Степанчикова, А.В. Деревянко // Энергия: экономика, техника, экология. – 2010. – № 1. – С. 51–54.

94. Проблемы рециклинга и утилизации ТБО в городе / О.А. Машкова [и др.] // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 2. – С. 64–68.

95. Исследование материалов, полученных спеканием в системе «глина – стеклобой» / Н.Ф. Жерновая [и др.] // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. – 2013. – № 1. – С. 20–23.

96. *Мелконян, Р.Г.* Экологические и экономические проблемы использования стеклобоя в производстве стекла / Р.Г. Мелконян, С.Г. Власова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 100 с.

97. URL: <https://ecoidea.by/ru/article/1906> (дата обращения 01.01.2021).

98. URL: <http://www.mlyn.by/2018/09/ekologi-narushenij-po-voprosu-zahoroneniya-vtorichnogo-musora-nemalo-rejd-po-svalkam-minshhiny/> (дата обращения 01.01.2021).

99. URL: [http://www.zaotl.ru/filestore/pdf/\\_file\\_1396866305.pdf](http://www.zaotl.ru/filestore/pdf/_file_1396866305.pdf) (дата обращения 01.01.2021).

100. *Титов, В.А.* Переработка твердых бытовых отходов в средних и малых городах / В.А. Титов // Экология и промышленность России. – 2008. – № 1. – С. 10–11.

101. Рынок переработки стеклобоя (отходов стекла) // Glass Russia. – 2012. Март. – С. 30–31.

102. *Ситтинг, М.* Извлечение металлов и неорганических соединений из отходов / М. Ситтинг, Н.М. Эмануэль. – Москва: Металлургия, 1985. – 408 с.

103. URL: <https://www.solidwaste.ru/i/newssite/503/21.pptx> (дата доступа 01.01.2021).

104. *Кармазин, В.В.* Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. – Москва: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2005. – Т.1. Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых. – 669 с.

105. URL: <http://xlom.ru/oborudovanie/fotoseparatory-operativnaya-sortirovka-boya-stekla/> (дата обращения 01.01.2021).

106. URL: <https://erga.ru/products/kompleksy-magnitnoy-separatsii/Linii-stekloboya/> (дата обращения 01.01.2021).

107. URL: <https://vvs-info.ru/news/industry-news/obem-vnutrirossiyskikh-zh-d-perevozok-stekloboya-sostsvil-26-t-tonn/> (дата обращения 01.01.2021).

108. URL: <https://vvs-info.ru/catalog/rynok-steklotary/analiz-vnutrirossiyskikh-zh-d-gruzoperevozok-kvartseвого-peska/> (дата обращения 01.01.2021).

109. *Вайсман, Я.И.* Воздействие на окружающую среду и перспективы переработки стеклобоя / Я.И. Вайсман, А.А. Кетов // Вестник Пермского национального исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2011. – № 4 (4). – С. 78–95.

110. *Трайдакало, Г.В.* Оборудование для переработки отходов / Г.В. Трайдакало // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 5 (11). – С. 44–48.

111. *Репин, К.В.* Оборудование для переработки отходов производства / К.В. Репин, О.Ю. Горбачева // Твердые бытовые отходы. – 2011. – № 1 (55). – С. 44–45.

112. *Трич, Ю.А.* Актуальные аспекты вовлечения отходов стекла во вторичное пользование / Ю.А. Трич // Труды БГТУ. – 2015. – № 7. Экономика и управление. – С. 331–333.

113. *Чупрова, Л.В.* Отходы производства и потребления стекла как сырье для получения качественной продукции / Л.В. Чупрова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12–4 – С. 640–644.

114. *Чупрова, Л.В.* Экологические и экономические аспекты утилизации отходов стекла / Л.В. Чупрова, О.А. Мишурина // Международный журн. прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11–2. – С. 222–225.

115. Машины и аппараты пищевых производств: в 2 кн. / С.Т. Антипов [и др.]; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – Москва: Высш. шк., 2001. – Кн. 1. – 703 с.

116. Сборник статей и информационных материалов по технологиям переработки муниципальных отходов / сост.: Т. Филкова [и др.]. – Бишкек, 2006. – С. 101.

117. URL: <https://eurasia-group.ru/catalog/oborudovanie/oborudovanie-dlya-pererabotki-otkhodov/stanok-dlya-moyki-steklotary/stanok-dlya-moyki-steklotary-xp-24/> (дата обращения 01.01.2021).

118. *Николайкин, Н.И.* Экология / Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. – Москва: Дрофа, 2004. – 624 с.

119. *Яблокова, М.А.* Технология и оборудование для обезвреживания ртути содержащих твердых бытовых отходов / М.А. Яблокова, А.В. Гарабаджиу, Е.А. Пономаренко // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 9

120. *Артамонов, В.С.* Ресурсосберегающие технологии переработки твердых отходов / В.С. Артамонов, А.В. Гарабаджиу, Г.К. Ивахнюк. – Санкт-Петербург: Гуманистика, 2008. – 192 с.

121. ИТС 15-2016. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов): инф.-техн. справ. по наилучшим доступным технологиям. – Москва: Бюро НДТ, 2016. – 198 с.

122. *Gofman, V.R.* Waste treatment and detoxification of mercury-containing light sources for purposes of the environmental protection and the valuable metal components extraction / V.R. Gofman, A.A. Golovanova // Physics of lead-free piezoactive and relative mate (analysis of

current state and prospects of development). The fourth international youth Symposium. – LFPM-2015. – Vol. 1. – P. 148–150.

123. *Шубов, Л.Я.* Технологии отходов (Технологические процессы в сервисе / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, Д.В. Шехирев. – Москва: МГУС, 2006. – 411 с.

124. *Гринин, А.С.* Промышленные и бытовые отходы. Хранение, утилизация, переработка / А.С. Гринин, В.Н. Новиков. – Москва: Фаир-Пресс, 2002. – 336 с.

125. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.

126. «Экотром-2У» – новый технологический мини-комплекс по обезвреживанию и утилизации люминесцентных ламп / Г.В. Макаrenchенко [и др.] // Экологические системы и приборы. – 2012. – № 7. – С. 8–12.

127. *Косорукова, Н.В.* Утилизация отходов ртутьсодержащих изделий: состояние и проблемы / Н.В. Косорукова, Е.П. Янин // Светотехника. – 2002. – № 3. – С. 25–29.

128. *Дымникова, О.В.* Проблемы обращения с ртутьсодержащими отходами / О.В. Дымникова, Ю.Р. Зарипова, Т.С. Воскобойник // Вестник Донского гос. техн. ун-та. – 2012. – № 5 (66). – С. 10–18.

129. Устройство для очистки газового потока от паров ртути и твердых примесей: пат. 2202641 Рос. Федерация. – № 2000106208/02; заявл. 13.03.2000; опубл. 20.04.2003.

130. Установка для утилизации люминесцентных ламп: пат. 2247608 Рос. Федерация. – № 2003127331/03; заявл. 08.09.2003; опубл. 10.03.2005, Бюл. № 7. – 6 с.

131. Способ переработки отработанных люминесцентных ламп и вибрационная установка для его осуществления: пат. 2185256 Рос. Федерация. – № 2001108795/03; заявл. 04.04.2001; опубл. 20.07.2002. – 7 с.

132. Установка по переработке отработанных ртутьсодержащих ламп: пат. 101384 Рос. Федерация. – № 2010130006/15; заявл. 21.07.2010; опубл. 20.01.2011. – 17 с.

133. Установка утилизации люминесцентных ламп и способ их утилизации: пат. 2365432 Рос. Федерация. – № 2008119963/03; заявл. 21.05.2008; опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24. – 9 с.

134. Способ утилизации ртутьсодержащих ламп и устройство для его осуществления: пат. 2485192 Рос. Федерация. – № 2011138898/02; заявл. 23.09.2011; опубл. 27.03.2013, Бюл. № 9. – 8 с.

135. *Ефремов, М.С.* Современные методы утилизации отработанных ртутьсодержащих осветительных ламп / М.С. Ефремов // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2014): материалы междунар. науч.-практ. конф. – Омск, 2014. – С. 135–141.

136. *Плановский, А.Н.* Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. – Москва: Химия, 1987. – 496 с.

137. Конструирование и расчет машин химических производств / Ю.И. Гусев [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1985. – 408 с.

138. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. 1. – Санкт-Петербург: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 848 с.

139. *Касаткин, А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – Москва: Химия, 1973. – 753 с.

140. *Клушанцев, Б.В.* Дробилки. Конструкции, расчет, особенности эксплуатации / Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек. – Москва: Машиностроение, 1990. – 320 с.

141. *Сиденко, П.М.* Измельчение в химической промышленности / П.М. Сиденко. – Москва: Химия, 1977. – 368 с.

142. Конусные дробилки. Методы расчета и особенности эксплуатации: обзор / Б.В. Клушанцев [и др.]. – Москва: КНИИТ Эстроймаш, 1973. – 54 с.

143. Переработка и утилизация дисперсных материалов и твердых отходов / В.И. Назаров [и др.]. – Москва: Альфа-М; Инфра-М, 2014. – 464 с.

144. *Тимонин, А.С.* Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: справ. / А.С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. – Т. 2 – 1030 с.
145. Завгородний, В.К. Оборудование предприятий по переработке пластмасс / В.К. Завгородний, Э.Л. Калинин, Е.Г. Махаринский. – Ленинград: Химия, 1972. – 464 с.
146. URL: <https://almaty.satu.kz/p31330796-oborudovanie-pererabotke-stekla.html> (дата обращения 01.01.2021).
147. URL: <http://www.tzdo.net/groups/show-83.htm> (дата обращения 01.01.2021).
148. Розенталь, Й. Подготовка возвратного и привозного стеклобоя / Й. Розенталь // Стеклобоя. – 2008. – № 4. – С. 4–8.
149. *Митрохин, Н.Н.* Утилизация и рециклинг автомобилей / Н.Н. Митрохин, А.П. Павлов. – Москва: МАДИ, 2015. – 120 с.
150. *Павлушкина, Т.К.* Использование стеклобоя в производстве строительных материалов / Т.К. Павлушкина, Н.Г. Кисиленко // Стекло и керамика. – 2011. – № 5. – С. 27–34.
151. *Ефременков, В.В.* Разработка и изготовление оборудования для вторичной переработки стекла / В.В. Ефременков, А.А. Матвеев // Glass Russia. – 2010. – № 9. – С. 30–37.
152. Устройство для утилизации автомобильного и строительного стекла триплекс: пат. 98343 Рос. Федерация. № 2010127430/03: заявл. 02.07.2010; опубл. 20.10.2010. – 20 с.
153. *Ефременков, В.В.* Оборудование для затаривания и растаривания биг-бэгов / В.В. Ефременков, В.В. Ручкин // GlassRussia. – 2010. – № 5. – С. 16–20.
154. Установка для переработки стеклоотходов: пат. 9755 Респ. Казахстан. – № 990040.1; заявл. 15.01.1999; опубл. 15.12.2000, Бюл. № 12. – 5 с.
155. *Минько, Н.И.* Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения / Н.И. Минько, В.В. Калатоzi // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 1. – С. 82–88.

156. *Губанов, Л.Н.* Переработка и утилизация отходов упаковочных материалов / Л.Н. Губанов, А.Ю. Зверева, В.И. Зверева. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. – 117 с.

157. *Баратов, С.Э.* Вторичная переработка стекла в России: взгляд изнутри / С.Э. Баратов // Наука, техника и образование. – 2015. – № 3 (9). – С. 33–35.

158. *Краснянский, М.Е.* Утилизация и рекуперация отходов / М.Е. Краснянский. – Харків: Бурун Книга, 2007. – 265 с.

159. *Мелконян, Р.Г.* Использование отходов горной промышленности для изготовления пеностекла и пеноматериалов / Р.Г. Мелконян, О.В. Казьмина // Горный инф.-аналит. бюл. (науч.-техн. журн.). – 2014. – S1. – С. 547–571.

160. *Кетов, А.* Теплоизоляция из пеностекла – воспоминания о будущем с душой о настоящем / А. Кетов // Стекло мира. – 2011. – № 1. – С. 71–74.

161. *Мелконян, Р.Г.* Использование промышленных отходов при производстве новых строительных материалов / Р.Г. Мелконян // ЦНИИТЭИСК. Сер. № 1: Экономия и рациональное использование сырьевых топливно-энергетических и др. материальных ресурсов. – 1986. – Вып. 2. – С. 45–49.

162. *Стеклокремнезит на основе покупного стеклобоя* / Р.Г. Мелконян [и др.] // ВНИИЭСМ. Экспресс-информация. Сер. 11: Использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. – 1985. – № 2. – С. 12–15.

163. *Сметанин, В.И.* Защита окружающей среды от отходов производства и потребления / В.И. Сметанин. – Москва: Колосс, 2000. – 232 с.

164. *Пузанов, С.И.* Комплексная переработка стеклобоя в производстве строительных материалов / С.И. Пузанов, А.А. Кетов // Экология и промышленность России. – 2009. – № 12. – С. 4–7.

165. *Егоров, К.И.* Отходы стекла – экология, информация, бизнес / К.И. Егоров, Н.А. Мамина // Строительные материалы. – 1998. – № 10. – С. 33.

166. *Харьковская, Г.Г.* Ресурсосберегающая технология при изготовлении предмета декора / Г.Г. Харьковская // Вестник Амурского гос. ун-та. Сер. Естественные и экономические науки. – 2015. – Вып. 69. – С. 103–108.

167. URL: <http://eco-bud.com/blog/dom-iz-steklyannykh-butylok.html> (дата обращения 01.01.2021).

168. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Бутылочный\\_дом\\_в\\_Гяндже](https://ru.wikipedia.org/wiki/Бутылочный_дом_в_Гяндже) (дата обращения 01.01.2021).

169. URL: <https://rg.ru/2015/03/14/reg-urfo/dom.html> (дата обращения 01.01.2021).

170. URL: <https://novate.ru/blogs/100718/47023/> (дата обращения 01.01.2021).



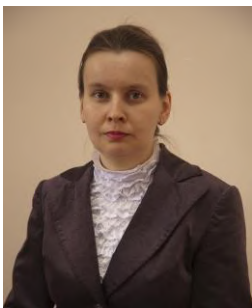
## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Федосов Сергей Викторович**

Доктор технических наук, профессор, академик РААСН. Профессор кафедры вяжущих веществ и бетонов Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, профессор Поволжского государственного технологического университета. Почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный деятель науки

РФ, почетный строитель России, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Государственной премии РМЭ в области архитектуры и строительства. Автор более 500 научных работ, включая 19 монографий и более 50 авторских свидетельств и патентов на изобретение. Подготовил 24 доктора и 74 кандидата наук. Основатель научных школ «Физико-химические и математические аспекты строительного материаловедения и технологий»; «Разработка новых строительных материалов на базе прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий с использованием техногенных отходов», «Термическая обработка материалов в технологических процессах», «Теоретические основы термодинамики, кинетики и динамики процессов тепломассопереноса в контурах воздушных тепловых насосов». Основные научные направления: тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии; разработка новых строительных материалов и изделий на базе прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий.



**Щepochкина Юлия Алексеевна**

Доктор технических наук, профессор. Автор более 200 научных работ, опубликованных в России и за рубежом, включая 8 монографий, ряд учебных пособий. Основные научные направления: технология керамики, стекла, строительных композитов на основе минеральных и органических вяжущих веществ.



---

### **Румянцева Варвара Евгеньевна**

Доктор технических наук, профессор, советник РААСН, директор института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук Ивановского государственного политехнического университета, заведующий кафедрой естественных наук и техносферной безопасности. Почетный работник высшего профессионального образования РФ. Автор более 350 научных работ, включая 14 патентов РФ на изобретения, 2 монографии, 13 учебных пособий. Подготовила 9 кандидатов наук. Основные научные направления: коррозия строительных материалов и конструкций; прогнозирование долговечности строительных материалов; массоперенос в технологических процессах строительной индустрии; физика и химия строительных материалов; новые эколого- и ресурсосберегающие технологии.



---

### **Коновалова Виктория Сергеевна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности Ивановского государственного политехнического университета. Автор более 100 научных работ, включая 4 патента РФ на изобретения. Научные интересы: коррозия строительных материалов и конструкций; прогнозирование долговечности строительных материалов; массоперенос в технологических процессах строительной индустрии; физика и химия строительных материалов.



---

### **КОТЛОВ Виталий Геннадьевич**

Кандидат технических наук, директор Института строительства и архитектуры Поволжского государственного технологического университета. Заслуженный строитель Республики Марий Эл, почетный строитель РМЭ, почетный строитель России, советник РААСН, почетный профессор Международной ассоциации строительных вузов, кавалер ордена «Строительная слава». Автор около 200 научных и учебно-методических работ, более 20 авторских свидетельств и патентов. Руководитель научного направления «Совершенствование деревянных конструкций с узловыми соединениями на МЗП». Лауреат Государственной премии РМЭ в области архитектуры и строительства.

*Научное издание*

ФЕДОСОВ Сергей Викторович  
ЩЕПОЧКИНА Юлия Алексеевна  
РУМЯНЦЕВА Варвара Евгеньевна  
КОНОВАЛОВА Виктория Сергеевна  
КОТЛОВ Виталий Геннадьевич

# РЕЦИКЛИНГ СТЕКЛА

Монография

Редактор

*Л. С. Емельянова*

Компьютерная верстка и дизайн обложки

*С. Н. Эштыкова*

Подписано в печать 21.04.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 11,74. Тираж 500 экз. Заказ № 10736.

Поволжский государственный технологический университет  
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Принтекс»  
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, б-р Победы, 14, пом. III