

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ**

**Учебно-методическое пособие для студентов  
заочной формы обучения специальности  
1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ,  
материалов и изделий» специализации  
1-48 01 01 09 «Технология тонкой, функциональной  
и строительной керамики»**

Минск 2015

УДК 666.7(075.8)  
ББК 35.41я75  
Т38

Рассмотрено и рекомендовано редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета

Составитель  
*И. В. Пищ*

Рецензенты:  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры химической технологии  
вяжущих материалов УО «Белорусский государственный  
технологический университет» *А. А. Сакович*;  
главный технолог ОАО «Минский завод  
строительных материалов» *А. В. Шидловский*

**Технология строительной керамики** : учеб.-метод. пособие  
Т38 для студентов заочной формы обучения специальности 1-48 01 01  
«Химическая технология неорганических веществ, материалов и  
изделий» специализации 1-48 01 01 09 «Технология тонкой,  
функциональной и строительной керамики» / сост. И. В. Пищ. –  
Минск : БГТУ, 2015. – 136 с.

В учебно-методическом пособии рассмотрены основные стадии технологического процесса производства керамических строительных материалов: стеновых, пористых заполнителей, черепицы, изразцов, труб, санитарных изделий, керамических плиток и др.

Предназначено для студентов заочной формы обучения специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 09 «Технология тонкой, функциональной и строительной керамики».

УДК 666.7(075.8)  
ББК 35.41я75

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2015

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель дисциплины – подготовка студентов к профессиональной деятельности в качестве инженеров-химиков-технологов предприятий по производству керамических строительных материалов.

Курс основывается на фундаментальной, общенаучной и общепрофессиональной подготовке студентов после изучения дисциплин «Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов», «Оборудование и основы проектирования подотрасли», «Теплотехнические установки и агрегаты предприятий керамики и огнеупоров» и направлен на углубленную подготовку по специализации.

Данное пособие содержит сведения о свойствах, составе, современных технологиях получения стеновых керамических материалов пластическим и полусухим способами. Отдельное внимание уделено сырьевым пластичным и непластичным материалам и техногенным отходам, используемым при изготовлении изделий строительной керамики. С учетом современного развития отрасли строительных материалов в учебно-методическом пособии приведены характеристики основного оборудования для подготовки формовочных масс, сушильных и печных агрегатов, применяемых на передовых предприятиях Республики Беларусь и на зарубежных заводах.

В учебно-методическом пособии представлены основные сведения по сырьевым компонентам, применяемым в производстве изделий строительной керамики, детально рассмотрены способы подготовки керамических масс различного вида и методы формования полуфабриката изделий. В пособии указаны основные свойства изделий строительной керамики и приведено обоснование выбора технологической схемы производства керамического кирпича, пористых заполнителей (аглопорита и керамзита), канализационных труб, черепицы, химически стойкой керамики, изразцов, санитарных керамических изделий и плиток различного назначения.

Основные задачи изучения дисциплины:

– ознакомление с номенклатурой выпускаемых керамических строительных материалов;

– приобретение студентами знаний об основных и вспомогательных сырьевых материалах, технологических процессах, используемых в производстве строительных керамических материалов;

– овладение навыками по современным методам подготовки керамической массы, обоснованию процессов формования, сушки и обжига керамических изделий;

– подготовка студентов к выполнению курсового и дипломного проекта и работе на предприятиях керамической строительной отрасли в качестве инженеров-технологов.

При изучении дисциплины студенты должны уметь обосновывать и выбирать сырьевые материалы, техногенные отходы с целью снижения расхода топлива и энергоресурсов в производстве строительных керамических материалов; выбирать наиболее рациональные технологические процессы, позволяющие снизить себестоимость керамических материалов.

Для контроля знаний, полученных при изучении курса, учебным планом предусмотрена защита курсового проекта, лабораторные работы и экзамен по дисциплине.

# 1

# КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА И КАМНЕЙ

К *керамическим стеновым материалам* относятся материалы, которые предназначены для кладки наружных и внутренних стен, колонн, панелей и других элементов зданий. В настоящее время предприятиями выпускается как обычный керамический кирпич, так и облицовочные пустотелые и полнотелые керамические камни и блоки в соответствии с ГОСТ 530–2012 (Россия), СТБ 1160-99 (Республика Беларусь) (табл. 1.1 и 1.2).

Таблица 1.1

**Классификация керамических стеновых изделий**

Название изделий	Размер, мм	Масса, кг	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Марка	Морозостойкость	Теплопроводность, Вт/(м · К)
Кирпич керамический лицевой (СТБ 1160-99, ГОСТ 530–2012)	250×120× ×88	3,05	1070– 1150	M100, M125, M150, M175, M200	F35, F50, F75	0,348
Кирпич керамический рядовой (пустотность 39–42%) (СТБ 1160-99, ГОСТ 530–2012)	250×120× ×88	3,05	1250– 1400	M100, M125, M150, M175, M200	F15, F35, F50, F75	0,435
Камень керамический рядовой поризованный (пустотность 40–45%) (СТБ 1160-99, ГОСТ 530–2012)	250×120× ×138	4,5	1070– 1120 (980– 1050)	M100, M125, M150, M175	F15, F35, F50, F75	0,359

Название изделий	Размер, мм	Масса, кг	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Марка	Морозостойкость	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Кирпич керамический лицевой (пустотность 39–42%) (СТБ 1160-99, ГОСТ 530–2012)	250×120×65	2,3	1070–1150	M100, M125, M150, M175, M200	F35, F50, F75	0,354
Кирпич керамический лицевой полнотельный (СТБ 1160-99, ГОСТ 530–2012)	250×120×65	3,60–3,75	1850–1870	M200, M250, M300	F35, F50	0,529
Кирпич керамический рядовой полнотельный одинарный (СТБ 1160-99)	250×120×65	3,50–3,75	1850–1870	M150, M175, M250, M300	F15, F35, F50	0,529
Кирпич керамический рядовой пустотельный утолщенный (пустотность 28–40%) (СТБ 1160-99)	250×120×88	2,75–2,98	1070–1150	M100, M125, M150	F50	0,348
Блок керамический поризованный пустотельный (пустотность 43–44%) (СТБ 1719-2007)	250×120×138	3,5–3,8	–	M125, M150	F50, F75	0,18–0,26
Блок керамический поризованный пустотельный (пустотность 44–45%), подгребневый (СТБ 1719-2007)	380×250×219	17–20	826–1025	M100	F50, F75	0,18–0,26

Для всех керамических стеновых материалов удельная эффективность радионуклидов составляет не более 370 Бк/кг.

Стеновые изделия могут иметь форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми углами, ровными гранями, могут также иметь рифленую поверхность и округленные углы с радиусом до 15 мм. В зависимости от линейных размеров кирпич и камни делятся на следующие виды, мм:

- 1) кирпич – 250×120×65;
- 2) кирпич утолщенный – 250×120×88;
- 3) кирпич модульный – 288×138×65;
- 4) камень – 250×120×138;

- 5) камень модульный – 288×138×138;  
 6) камень укрупненный – 250×250×138;  
 7) камни с горизонтальным и вертикальным расположением пустот – соответственно 250×250×120 и 250×200×80.

Таблица 1.2

**Показатели прочности кирпича и камней в зависимости от марки, согласно СТБ 1160-99**

Марка кирпича и камней	Граница прочности, МПа			
	при сжатии	при изгибе		
	средний показатель для кирпича и камней пластического формования	средний показатель для кирпича и камней пластического формования	средний показатель для полнотелого кирпича полусухого прессования	средний показатель для полнотелого утолщенного кирпича
Кирпич и камни с вертикальными пустотами				
300	30	4,4	3,4	2,9
250	25	3,9	2,9	2,5
200	20	3,4	2,5	2,3
175	17,5	3,1	2,3	2,1
156	15	2,8	2,1	1,8
125	12,5	2,5	1,9	1,6
100	10	2,2	1,6	1,4
75	7,5	1,8	1,4	1,2
Кирпич и камни с горизонтальными пустотами				
50	5	–	–	–
35	3,5	–	–	–
25	2,5	–	–	–

В соответствии с ГОСТ 530–2012 по теплотехническим характеристикам различают следующие группы кирпича и камней:

- изделия высокой эффективности (плотность составляет 700–800 кг/м<sup>3</sup>);
- изделия повышенной эффективности (плотность равна 800–1000 кг/м<sup>3</sup>);
- эффективные материалы (изделия с плотностью 1000–1200 кг/м<sup>3</sup>);
- условно-эффективные изделия (плотностью свыше 1400 кг/м<sup>3</sup>) и малоэффективные изделия, плотность которых составляет 2000–2400 кг/м<sup>3</sup>.

Масса кирпича, как и марка, должна соответствовать требованиям СТБ 1160-99. В зависимости от прочности на сжатие и изгиб кирпич и камни подразделяются на марки от 75 до 300. По морозостойкости изделия рядовые классифицируются на марки F15, F25, F35, F50 и F75, а лицевые – F35, F50, F75 и F100.

Для определения марки изделий используют 5 образцов и находят средний показатель соответствующей характеристики. При этом один образец может отличаться от среднего показателя не более чем на одну марку. Показатели прочности кирпича и камней с пустотами определяются по полному сечению изделий без площади пустот.

Кирпич и камни могут иметь сквозные и несквозные пустоты, которые размещены перпендикулярно или параллельно постели изделий (поверхности кирпича с максимальной площадью). Регламентируется размер вертикальных цилиндрических несквозных пустот: наименьший диаметр может быть не более 16 мм, а ширина отверстий – 12 мм.

Для несквозных пустот диаметр не регламентируется. Наружные стенки от пустот должны быть толщиной не менее 12 мм. К одному образцу керамического кирпича и камней допускаются следующие отклонения.

1. По линейным размерам, мм: по длине –  $\pm 5$  ( $\pm 7$ ), по ширине –  $\pm 4$  ( $\pm 5$ ), по толщине кирпича –  $\pm 3$  (камней  $\pm 4$ ).

Значения в скобках относятся к изделиям пластического формования, полученным с использованием лесов, трепелов и диатомитов.

2. Отбитость углов и ребер длиной от 10 до 15 мм не должна превышать 2 шт.

3. Трещины длиной по постели кирпича без пустот не должны превышать 30 мм.

Для кирпича с пустотами значения в скобках относятся к первому ряду пустот на всю толщину, а для камней – на  $1/2$  ложковой (средней по площади поверхности) или тычковой грани (минимальной поверхности кирпича) по 1 шт.

Половняком называются изделия, которые состоят из двух парных половинок или имеют трещину на постели кирпича более 30 мм. Количество половняка в партии не должно превышать 5%. Браком считаются стеновые изделия с недожогом и пережогом, а также те, которые имеют наружные включения и после испытаний образуют более трех отколов на поверхности размером от 5 до 10 мм.

Водопоглощение полнотелого рядового и лицевого кирпича, выдержанного в воде на протяжении 48 ч и высушенного до постоянной



массы, должно быть не менее 6%, а для рядовых и лицевых пустотелых изделий – не менее 8%. По морозостойкости керамические стеновые изделия должны выдерживать без расслоения, растрескивания не менее 15, 20, 35, 50, 75 и 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Кроме того, промышленностью также выпускается облицовочный кирпич и камни с гладкой, рифленой и офактуренной поверхностью. Цвет поверхности кирпича может быть натуральным или другим за счет добавок, которые вводятся в состав керамической массы объемного окрашивания. Лицевая поверхность кирпича может быть покрыта тонким (0,1–0,3 мм) слоем ангоба, глазури, минеральной крошкой.

К лицевому кирпичу предъявляются более жесткие требования, чем к обычным изделиям. Кирпич должен иметь две облицовочные поверхности – тычковую и ложковую. Поскольку он используется в качестве конструктивных материалов, то должен соответствовать СТБ по форме, размерам, плотности и прочности (марка не менее 100), а по морозостойкости – F50 и выше, водопоглощение должно быть не менее 6%. На облицовочной поверхности изделий не допускаются трещины, отколы, пятна, расслоения на гранях основного и фактурного слоев. Отклонения от номинальных размеров лицевой поверхности кирпича не должны превышать: по длине – 4 мм, по ширине – 3 мм, по толщине – 2 мм.

Для зданий, возводимых из кирпича штучной кладкой, а также для кирпичных и керамических панелей лицевой кирпич является наиболее экономичным видом облицовки фасадов. В современной архитектуре лицевой кирпич применяется для отделки интерьеров и отдельных архитектурных элементов зданий. Требования к лицевому кирпичу регламентированы ГОСТ 530–2012 (Россия).

Трещины на лицевой поверхности кирпича, а также трещины и расслоения по контакту фактурного слоя с основной массой изделий не допускаются. На лицевой поверхности кирпича не должно быть отколов, в том числе известковых включений, пятен, выцветов и других дефектов, видимых на расстоянии 10 м на открытой площадке при дневном освещении. Цвет, рисунок рельефа и другие показатели внешнего вида лицевой поверхности изделий должны соответствовать утвержденному в установленном порядке образцу – эталону.

Глазурованные поверхности кирпича по показателям внешнего вида должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 1.3.

**Требования, предъявляемые к внешнему виду кирпича  
с глазурованными поверхностями**

Вид дефекта	Норма
Наплывы и волнистость глазури, засорение, неравномерность окраски глазури, видимые с расстояния 10 м	Не допускаются
Наколы (углубления в глазури) диаметром более 2 мм	Не допускаются
Пузыри (вздутия) общей площадью более 2 см <sup>2</sup>	Не допускаются
Отдельные рассеянные мушки (темные точки) диаметром более 3 мм	Не допускаются более 3 шт. для кирпича и более 6 шт. для камня
Плешины общей площадью более 2 см <sup>2</sup>	Не допускаются
Сухость глазури общей площадью более 2 см <sup>2</sup>	Не допускается
Слипывш зашлифованный общей площадью более 2 см <sup>2</sup>	Не допускается
Щербинки и зазубрины на кромках глазурованной поверхности шириной более 4 мм и длиной более 10 мм	Не допускаются более 4 шт.

## 1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ БЛОКОВ

Керамические поризованные блоки, согласно СТБ 1719-2007, получают методом пластического формования с использованием в качестве поризующих добавок выгорающего вспененного полистирола, тонкоизмельченных опилок, угля, углеотходов, золы и других материалов. Средняя плотность блоков составляет 650–1000 кг/м<sup>3</sup>, пустотность – 45–54%, коэффициент теплопроводности – 0,154–0,260 Вт/(м · К), водопоглощение – 9–17%; по прочности они соответствуют маркам М35, М50, М75, М100, М125, М150, по морозостойкости – F15–F75.

Блоки должны изготавливаться в соответствии с требованиями стандарта по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке. Толщина наружных стенок блоков должна быть не менее 10 мм.

Отклонение от перпендикулярности граней блоков не должно превышать: для блоков длиной граней менее 188 мм – ±3 мм; для блоков длиной граней 188 мм и более – ±1,5 мм.

Типовые размеры керамических поризованных блоков приведены в табл. 1.4.

По физико-механическим показателям блоки должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 1.5.

Таблица 1.4

**Типовые размеры керамических поризованных блоков**

Наименование блоков	Длина, мм	Ширина, мм	Высота (толщина), мм
Блоки керамические поризованные – пустотелые (КПП), пустотелые пазовые (КППП), пустотелые пазогребневые (КПППГ), с горизонтальным расположением пустот (КППП)	250	120	138
	250	120	250
	250	250	138
	250	250	188
	380	250	219
	510	110	276
	510	120	138
	510	120	188
	510	120	219
	510	120	276
	510	250	138
	510	250	188
	510	250	210
510	250	219	

Таблица 1.5

**Физико-технические характеристики керамических поризованных блоков**

Марка блоков по прочности, не менее	Марка по средней плотности	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности блоков в сухом состоянии $\lambda$ , Вт/(м · К)
М35	D750	Не более 775	Не более 0,26
	D800	776–825	
	D850	826–875	
	D900	876–925	
	D950	926–975	
	D1000	976–1025	

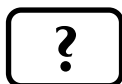
Для блоков, применяемых для внутренних перегородок, теплопроводность не регламентируется. Блоки в насыщенном водой состоянии должны выдерживать без каких-либо видимых признаков повреждений-разрушений (расслоение, шелушение, выкрашивание) не менее 15, 25, 35, 50, 75 циклов попеременного замораживания и оттаивания в зависимости от марки по морозостойкости. Марки блоков по прочности соответствуют пределам прочности при сжатии и представлены в табл. 1.6.

**Предел прочности при сжатии керамических изделий**

Марка блоков по прочности	Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	
	средний – для пяти образцов	минимальный – для отдельного образца
М35	3,5	2,5
М50	5,0	3,5
М75	7,5	5,0
М100	10,0	7,5
М125	12,5	10,0
М150	15,0	12,5

Масса блока в высушенном состоянии должна быть не более 27 кг. Допускается по согласованию с потребителем изготавливать блоки массой более 27 кг.

В соответствии с ГОСТ 30244 блоки относятся к группе негорючих строительных материалов. Глинистое сырье, а также добавки, применяемые для изготовления блоков, должны соответствовать требованиям действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА) или требованиям технологического регламента производства. Технологическая схема изготовления поризованных блоков приведена в приложении 1.



## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Какие основные свойства керамических стеновых материалов Вы знаете?
2. По каким показателям классифицируются керамические стеновые изделия?
3. Назовите требования, которые предъявляются к керамическому кирпичу и камням.
4. Какой кирпич и камни относятся к некондиционным?
5. Перечислите основные физико-технические свойства поризованных керамических блоков.

# 2

## СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

### 2.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ЛЕГКОПЛАВКИХ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ

Согласно технологическим особенностям, материалы, которые используются в производстве стеновых изделий, подразделяются на пластичные (глины, каолины) и непластичные (песок, шамот, опилки, лигнин, торф, уголь, пиритные огарки, отходы стекла и др.).

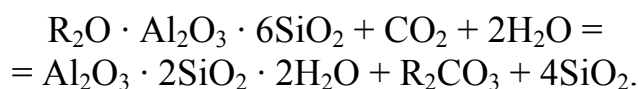
Для производства керамического кирпича и камней применяются легкоплавкие глинистые породы, которые в природе встречаются в плотном, рыхлом и пластическом состоянии. В зависимости от соотношения глины и песка глинистые породы подразделяются на глины (от 1 до 1 : 1), суглинки (тяжелые – от 1 : 1 до 1 : 3; средние – от 1 : 4; легкие – от 1 : 4 до 1 : 7), супеси (от 1 : 7 до 1 : 10), глинистые пески (от 1 : 10 до 1 : 50). В производстве кирпича главным образом используются глины тяжелые и легкие, суглинки. Супеси могут применяться как непластические добавки.

Главным свойством глины является пластичность, которая обусловливается природой глинообразующих минералов, находящихся в тонкодисперсном состоянии (размер частиц менее 0,001 мм).

### 2.2. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГЛИН, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Происхождение глин и каолинов, их генезис связан с процессами, которые происходили на протяжении геологических эпох. Среди них – разложение минералов под воздействием продуктов жизнедеятельности организмов, выветривание минералов из излившихся пород и другие явления. Процесс выветривания, если он протекал в сложных геологических условиях, приводил к разрушению излившихся пород.

Первоначальное разрушение материнских пород происходило благодаря расширению льда, который образовывался в микротрещинах породы при низких температурах. Давление льда на стенки микротрещин было пропорционально температуре. Одновременно происходили физико-химические и бактериологические процессы, которые разрушали изверженные породы (граниты, гнейсы, пегматиты и др.) и превращали их в глинистые материалы – тонкообломочные осадочные породы водных алюмосиликатов состава  $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . В результате химических превращений щелочных минералов и гидролиза силикатов, например, образовался минерал каолинит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . В процессе каолинизации значительная роль принадлежит и гумусовым кислотам, которые циркулируют в толще материнских пород. Процесс образования каолинита из полевого шпата можно представить следующим уравнением:



Главными глинообразующими минералами являются каолинит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  либо  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3(\text{OH})_4$  и галлуазит  $\text{Al}_4(\text{OH})_8 \cdot [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 2\text{SiO}_2$ . К этой группе относятся также накрит и диккит, которые имеют такую же химическую формулу, что и каолинит, но отличаются от последнего величиной моноклинного угла кристаллической решетки. По форме частицы каолинита – пластинки, а галлуазита – палочки либо трубки. Для этой группы характерен открытый тип пакета кристаллической решетки. К глинистым минералам с закрытым типом кристаллической решетки относится слюда, а также гидрослюда, которая является промежуточным продуктом при переходе от слюды к каолиниту. Гидрослюда – основа большинства глин, которые используются для производства строительной керамики. Представителем данной группы минералов является монотермит  $0,2(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,8\text{SiO}_2$ .

Особую группу составляет минерал монтмориллонит –  $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{O} \times \times \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , который отличается кристаллической решеткой, способной к значительному разбуханию в воде. Структура его пакета открытого типа состоит из двух слоев – тетраэдрического, образованного кремнекислородными тетраэдрами  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , и октаэдрического с катионами алюминия. Гидросиликатные ионы располагаются с одной стороны пакета, а тетраэдрические слои смещены на  $\frac{1}{3}$  в отношении к октаэдрическим. В прямой связи со строением кристаллической решетки находится способность к смачиванию пластичных минералов, что имеет важное значение для проведения такой техноло-

гической операции, как мокрый помол керамической массы. Исследования показывают, что капля воды в минералах (пирофиллит, тальк и др.), которые имеют закрытый пакет, ограничены с двух сторон кремнекислородными тетраэдрами, растекается за 68–92 с. Лучшей способностью к смачиванию (1,0–3,5 с) обладают кристаллические решетки каолинита, галлуазита открытого типа, в которых больше сочетаний полярных молекул воды к группе  $\text{OH}^-$ , чем к электронейтральным листам кремнекислородных тетраэдров. В то же время в тальке и пирофиллите они ограничены с двух сторон гидраргиллитовыми либо бруситовыми (тальк) слоями.

В табл. 2.1 приведен химический состав некоторых глин месторождений Республики Беларусь.

Таблица 2.1

**Усредненный химический состав легкоплавких глин**

Месторождение глин	Содержание оксидов, мас. %								
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	ППП*
Гайдуковка	56,96	12,01	0,59	4,61	9,04	3,51	–	0,79	12,49
Осетки	50,24	18,02	0,21	7,60	6,16	3,10	–	0,78	9,16
Лукомль	55,70	15,80	0,05	6,58	7,10	3,20	3,50	0,10	10,40
Секеровщина	55,26	16,00	0,74	6,54	4,48	3,02	3,18	0,86	8,07
Грушоны	51,44	11,44	0,60	4,92	11,89	2,48	3,04	0,59	13,48
Гершоны	55,73	11,96	0,58	5,60	8,20	4,00	2,10	0,56	12,27
Туровское	71,36	18,80	0,90	5,84	1,10	0,55	0,35	0,30	5,38
Городок (1-й слой)	72,53	13,39	0,07	5,59	0,70	0,71	1,10	1,18	4,73
Городок (2-й слой)	70,47	16,08	0,05	3,99	0,76	0,62	2,07	1,00	4,46
Городок (3-й слой)	64,00	18,33	0,03	6,36	0,76	0,65	7,42	1,00	7,45
Гулы	74,40	15,30	0,38	2,92	1,14	0,56	0,74	0,66	4,50
Глинка	77,25	11,35	0,92	3,28	0,95	0,65	0,78	0,32	4,50

\* ППП – потери при прокаливании.

К технологическим свойствам глин относятся: пластичность, связующая способность, воздушная и огневая усадка, чувствительность к сушке, спекаемость и огнеупорность.

**Пластичность глин** – способность образовывать с водой тесто, которое под воздействием внешних сил может принимать любую форму без образования трещин и разрывов и сохранять эту форму. Пластичность влияет на технологию производства керамических

изделий и определяет необходимое количество воды для затворения глины. При добавлении более 28–30% воды глина теряет связующую способность и переходит в жидкотекучую массу.

Количественным показателем пластичности является число пластичности, которое находится по формуле

$$П = W_T - W_p, \quad (2.1)$$

где  $W_T$  – влажность границы текучести, %;  $W_p$  – влажность границы раскатывания, %.

Пластичность определяется интервалом, в котором глина сохраняет пластичное состояние. Самая низкая текучесть  $W_T$  является границей между хрупким и пластичным состоянием. Верхняя текучесть  $W_p$  – граница между пластичным состоянием и вязкотекучим. В зависимости от числа пластичности глины подразделяются на пять групп: высокопластичные ( $П > 25$ ), среднепластичные ( $П = 15–25$ ), умеренно пластичные ( $П = 7–15$ ), малопластичные ( $П < 7$ ) и непластичные, которые не дают пластичного теста.

Пластичность глин зависит от гранулометрического состава: тонкодисперсные глины характеризуются большей пластичностью. Наименьшую пластичность имеют каолинитовые глины, наибольшую – монтмориллонитовые. Запесоченность глины уменьшает пластичность. Увеличить пластичность глин можно путем вылеживания и промораживания, отмучивания, механической обработки, прогрева, вакуумирования, добавки более пластичных глин либо пластифицирующих материалов, использования силикатных бактерий. Для снижения пластичности вносят непластичные материалы, например шлам, песок, шлак и др. Непластичные материалы разъединяют глинистые частицы, уменьшают силу их притяжения и тем самым снижают пластичность, а при сушке увеличивают влагопропускание.

**Способность глин к связыванию** – это способность связывать частицы другого вещества и сохранять пластичность массы. Способность глин к связыванию определяется количеством песка, который необходимо добавить в глиняную массу, чтобы она соответствовала по числу пластичности 7 (на приборе Васильева).

В зависимости от способности связывать соответствующее количество кварцевого песка, принятого за эталон, глины делятся на четыре группы:

- 1) высокопластичная – 60–80%;
- 2) пластичная (среднепластичная) – 20–60%;
- 3) низкопластичная (умеренно пластичная) – 20%;



4) непластичная – похожая на камни (сухарные глины, сланцы), не образует теста.

Способность глин к связыванию можно повысить, если ввести небольшое количество (0,25–0,50%) добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) и др. Для глин в пластично-вязком состоянии характерно такое свойство, как предельное напряжение сдвига. Это выражается в том, что в глиняной массе наблюдается не только трение, но и сопротивление, которое вызвано наличием адсорбированных пленок воды, коллоидов и других факторов. Ограниченное напряжение сдвига можно регулировать добавками ПАВ, например, сульфидно-спиртовой бардой.

Пластичность глины может быть установлена при помощи пластимера Ребиндера по глубине погружения конуса в исследуемую массу. Одновременно могут быть определены коэффициент внутреннего трения и величина сцепления либо связанности. Обе характеристики являются составной частью сдвижения массы. Однако они имеют условный показатель.

К технологическим свойствам относятся также сушильные. Они характеризуют изменения, которые происходят при сушке керамических изделий. Это *воздушная усадка*, при которой уменьшается размер глиняного образца. Усадочная деформация происходит в результате нарушения силового равновесия в капиллярах.

Влагопроводимость характеризует перемещение влаги внутри глиняной массы и количественно соответствует коэффициенту потенциала переноса влаги  $a$ . Он называется коэффициентом потенциалопроводности. По физическим особенностям он подобен коэффициенту диффузии и имеет такую же размерность – м<sup>3</sup>/ч. При уменьшении содержания глинистой фракции величина  $a$  увеличивается. Так, для каолинитовых глин она в 10–15 раз больше, чем для монтмориллонитовых, которые прочно связывают воду. Если запесоченность глин одинаковая при удержании крупнозернистой фракции, коэффициент потенциалопроводности увеличивается, так как образуются более крупные капилляры, которые уменьшают гидрадинамическое сопротивление перемещению влаги. На эту величину оказывает воздействие температура и начальная влажность глины. Она резко повышается с увеличением влажности.

*Чувствительность глин к сушке* является характеристикой их трещиностойкости. При появлении напряжения в изделиях возникают трещины в том случае, если оно выше, чем предел прочности материала. Коэффициент чувствительности глин к сушке определяется по формуле, предложенной З. А. Носовой:

$$K_{\text{ч}} = \frac{V}{V_0 \left( \frac{G_0 - G_1}{V_0 - V} \right) - 1}, \quad (2.2)$$

где  $V_0$  и  $G_0$  – соответственно объем и масса влажного после формования образца, м<sup>3</sup> и кг;  $V$  и  $G_1$  – те же показатели после сушки при 16–20°C, м<sup>3</sup> и кг.

Фактически  $K_{\text{ч}}$  показывает отношение объема усадки к объему пор. А. Ф. Чижский предложил изменить понятие и метод определения коэффициента чувствительности к сушке. Предложенный коэффициент  $K_{\text{с}}$  физическим смыслом и величиной близок к коэффициенту  $K_{\text{ч}}$ . Его находят из выражения

$$K_{\text{с}} = \frac{W_{\text{п}} - W_{\text{к}}}{W_{\text{к}}}, \quad (2.3)$$

где  $W_{\text{п}}$  – начальная (рабочая) влажность глиняной массы, %;  $W_{\text{к}}$  – критическая влажность, которая соответствует моменту окончания усадки, %.

Воздушная усадка является результатом удаления влажности из полуфабриката. Она может находиться в пределах 2–8%. Изменение влажности и усадки может привести к усадочному напряжению, появлению трещин и короблению. Воздушная усадка неодинакова по взаимно перпендикулярным направлениям, поскольку глинистые частицы имеют пластинчатую форму и занимают ориентированное положение. Неравномерность усадки вызывается также различной толщиной изделий и неодинаковой скоростью сушки. При удалении влаги образуются поры. Влажность определяется содержанием воды в порах. Количество ее в пластических массах составляет 10–18% и является величиной постоянной. Количество усадочной воды зависит от первоначальной влажности массы.

По степени чувствительности к сушке в зависимости от величины  $K_{\text{ч}}$  (по З. А. Носовой) и  $K_{\text{с}}$  (по А. Ф. Чижскому) глины делятся на три класса (табл. 2.2).

Таблица 2.2

**Классификация глин по степени чувствительности к сушке**

Тип глины	Коэффициент чувствительности по З. А. Носовой	Коэффициент чувствительности по А. Ф. Чижскому
Малочувствительные	$K_{\text{ч}} < 1,0$	$K_{\text{с}} < 1,2$
Среднечувствительные	$K_{\text{ч}} = 1,0-1,5$	$K_{\text{с}} = 1,2-1,8$
Высокочувствительные	$K_{\text{ч}} > 1,5$	$K_{\text{с}} > 1,8$

Глины с  $K_{\text{ч}} < 0,5$  проявляют низкую трещиностойкость и также относятся к малочувствительным. Предел прочности глин на растяжение повышается при увеличении содержания глинистой фракции. У каолиновых глин прочность меньше, чем у монтмориллонитовых. В некоторых случаях добавка высокопластичной глины приводит к снижению брака и увеличению прочности. С коэффициентом усадки связана и трещиностойкость. С увеличением коэффициента усадки трещиностойкость глин и влагопроводимость возрастают. По этой причине запесоченные глины менее чувствительны к сушке, когда они удерживают более крупные фракции песка. Когда же в глине много мелких фракций песка, то влагопроводимость глины не увеличивается, а гидродинамическое сопротивление остается. Такие глины хоть и имеют низкий  $K_{\text{ч}}$ , тем не менее, высокочувствительны к сушке.

К термическим свойствам глин относятся: огневая усадка, спекаемость и интервал обжига, огнеупорность.

**Огневая усадка** – изменение линейных параметров сухих образцов после обжига. В результате обжига глинистые частицы сближаются под воздействием сил поверхностного натяжения жидкой фазы в виде силикатного расплава. Огневую усадку можно рассчитать по следующей формуле:

$$\Delta l_{\text{ог}} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} 100\%, \quad (2.4)$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – соответственно линейные размеры сухого и обожженного образца, мм.

Зависимости между чувствительностью глин к обжигу и их огневой усадкой не существует. Только в пористом глиняном кирпиче уменьшается чувствительность к обжигу благодаря разрядке напряжений вследствие наличия свободных пор. По величине огневая усадка может составлять до 8% для пластичных глин и несколько ниже – для низкопластичных (2–5%). Большое влияние на чувствительность глин к обжигу оказывает количество глинистой фракции и минералогический состав. Монтмориллонитовые глины имеют бóльшую огневую усадку, чем каолиновые или гидрослюдистые. В легкоплавких глинах наибольшая огневая усадка наблюдается в интервале температур 800–900°C, при начале процесса спекания и уплотнения черепка. Интервал спекания зависит от минералогического состава глин. Так, у каолиновых глин он выше, чем у монтмориллонитовых. Для огнеупорных каолиновых глин интервал спекания составляет до 400°C, а для легкоплавких – всего 50–100°C, а может и не быть вообще.

Интервал спекания позволяет сделать выбор печи для обжига с учетом перепада температур между подом и сводом печи. В некоторых случаях, например при обжиге кирпича, определяется не интервал спекания, а интервал обжига.

**Интервал обжига** – температура, в границах которой изделия приобретают свойства, которые регламентируются СТБ 1160-99. Следовательно, самая низкая марка кирпича 75 имеет водопоглощение не менее 6%. Интервал температур, в пределах которого сохраняются эти величины, и будет интервалом обжига. По своей величине интервал обжига намного больше, чем интервал спекания. По этой причине даже глины с относительно малым интервалом спекания могут использоваться для производства кирпича и при его обжиге в печах с относительно большим перепадом температур.

**Спекаемость** характеризует способность глин под воздействием высоких температур образовывать твердый камнеподобный черепок с водопоглощением не более 5%. Если водопоглощение будет больше 5%, глины считаются неспекаемыми, до 2% – сильноспекаемыми.

**Огнеупорность** – свойство глин противостоять воздействию высоких температур и не расплавляться. Температуру плавления глин принято считать условной, поскольку спекание является важнейшим термическим свойством глин.

В зависимости от температуры спекания глины подразделяются на три группы:

- высокотемпературные (огнеупорные) – свыше 1300°C;
- среднетемпературные (тугоплавкие) – 1100–1300°C;
- низкотемпературные (легкоплавкие) – до 1100°C.

Степень спекания является главным показателем, который определяет пригодность глин к производству определенного вида керамической продукции. Она также характеризуется интервалом спекания, который находится по формуле

$$\Delta T = T_d - T_c, \quad (2.5)$$

где  $T_d$  – температура начала деформации, °C;  $T_c$  – температура начала спекания, °C.

Глинистая порода не является мономинеральным веществом и может плавиться в некотором интервале температур. Огнеупорность глин зависит от химического состава. Так, глинозем повышает огнеупорность, а тонкодисперсный кремнезем снижает. Также уменьшают огнеупорность оксиды щелочных металлов. При более высоких температурах снижение огнеупорности вызывают и оксиды щелочнозе-

мельных металлов. Интересно отметить и воздействие оксидов железа. При восстановительных условиях снижается огнеупорность глины благодаря тому, что  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leftrightarrow 2\text{FeO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$  может вступать в реакцию с  $\text{SiO}_2$ , образуя фаялит  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ , у которого температура плавления  $1205^\circ\text{C}$ . Таким образом, на огнеупорность отрицательное влияние оказывают различные примеси железа.

### 2.3. ОТОЩАЮЩИЕ, ВЫГОРАЮЩИЕ И ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ

Для обеспечения необходимых формовочных, сушильных и других технологических свойств в состав керамической массы вводятся различные добавки. В зависимости от природных особенностей глины все добавки по своим назначениям подразделяются:

1) на отощающие добавки, которые улучшают сушильные свойства глин, уменьшают воздушную усадку и ликвидируют структурные дефекты при формовании. К их числу относятся: песок, бой изделий, дегидратированная глина, шлаки, отходы формовочных смесей и др.;

2) отощающие и выгорающие добавки. Они улучшают спекание черепка и одновременно уменьшают усадку керамической массы. Это древесные опилки, лигнин, торф, шелуха, зола ТЭЦ, отходы углебогатительных фабрик;

3) выгорающие добавки, которые увеличивают прочность и морозостойкость глин и уменьшают расход технологического топлива (антрацит, кокс, уголь и др.);

4) добавки, которые обогащают и пластифицируют, – высокопластичные глины, сульфидно-спиртовая барда;

5) упрочняюще-флюсующие добавки – пиритные огарки, отходы обогащения марганцевых руд, производства стекол и др.

Отощающие добавки снижают пластичность и воздушную усадку. Наиболее распространенным природным отошителем является *кварцевый песок*, который имеет особенность не давать усадку при сушке и обжиге. Однако необходимо использовать только крупнозернистый песок с фракцией 0,15–1,50 мм (вводят в массу 5–30%), который не содержит карбонатных включений. Тонкодисперсный кварц (маршалит), кроме кремнезема, имеет в своем составе значительное количество щелочных и щелочноземельных оксидов. Его можно применять в производстве изделий тонкой керамики в качестве отошителя.

*Бой изделий* является более эффективной отощающей добавкой, чем кварцевый песок, поскольку лучше снижает усадку глины, в меньшей степени воздействует на прочность кирпича по сравнению с другими добавками. Шамот можно получить при обжиге глины, а также из отходов обожженных керамических изделий (молотый, битый кирпич). Исключительная крупность зерен шамота составляет 3 мм, содержание фракций <0,5 мм – более 20%. Добавки шамота вводятся в массу в пределах 3–10%.

*Дегидратированная глина* – глина, у которой в процессе обжига при температуре 500–700°C удаляется до 70% химически связанной воды. Фракционный состав дегидратированной глины влияет на сушильные свойства и обжиг изделий. Лучшие результаты получаются при использовании дегидратированной глины следующих фракций: 2–1 мм – до 20–30%; 1,0–0,63 мм – 15–60%; 0,63–0,31 мм – 15–20%; 0,31–0,15 мм – до 25% и менее 0,15 мм – до 30%. Дегидратированная глина аналогично шамоту предназначена для отощения массы и снижения формовочной влажности.

*Древесные опилки*, особенно удлиненной резки, увеличивают трещиностойкость полуфабриката и сопротивление разрыву. Они улучшают формовочные свойства глиняной массы, но понижают прочность изделий и увеличивают водопоглощение. Древесные опилки оказывают положительное влияние на теплозащитные свойства изделий, а при их добавлении в количестве 5–10% – на морозостойкость. Лучше вводить опилки вместе с минеральными отощающими добавками, при этом размер опилок должен составлять не более 7 мм.

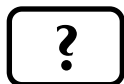
*Лигнин* – отход производства древесного спирта. Он является не только отощающей и выгорающей добавкой, но и пластификатором. В состав лигнина входят тяжелые гидролизованные полисахариды (20–30%), а также 0,2–0,5%  $H_2SO_4$ . Содержание золы составляет 4–5%. Особенно эффективно добавлять лигнин к пылевидным суглинкам, которые чувствительны к сушке. Польза его в том, что при внесении улучшаются формовочные свойства и снижается образование трещин в изделиях при сушке. Как выгорающая добавка лигнин улучшает качество обжига. Рекомендуется вводить в состав массы 6–20% лигнина от объема массы. Если увеличить его количество до 40%, то можно получить пористый кирпич. Однако до настоящего времени лигнин по многим причинам, в первую очередь транспортным, не нашел широкого применения в промышленности.

В качестве отощающих добавок используются различные *шлаки* (топочные, ваграночные, металлургического производства и др.). На-

пример, применяется ваграночный шлак следующего состава, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 64,  $\text{MgO}$  – 7,  $\text{CaO}$  – 20,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 6,  $\text{FeO}$  – 3. Количество их в глиномассе может составлять 35–40%, ограничение величины фракции – до 1–3 мм. Шлаки также улучшают спекание, увеличивают прочность, морозостойкость, ликвидируют трещины во время сушки. Лучше вводить их вместе с другими материалами, например с опилками.

*Зола ТЭЦ* является объединяющей добавкой и улучшает спекаемость керамики. Она представляет собой пульпу, которая при помощи гидравлической системы направляется от теплоэлектростанции в золоотвалы. В зависимости от количества зольного остатка теплотворная способность золы составляет 2011,7–50 022,2 кДж/кг. Рекомендуется добавлять 10–45% золы ТЭЦ вместе с опилками либо шамотом. Если вводить только уголь либо опилки, снижается чувствительность глины к сушке, увеличивается прочность кирпича. Антрацит (разновидность угля) можно добавлять в глину до 3% по объему либо 60–80% от общей потребности топлива на обжиг изделий.

В качестве обогащающих добавок и пластификаторов используются высокопластичные глины, поверхностно-активные вещества, дрожжевые отходы. *Высокопластичные глины* применяются в качестве добавки к малопластичному сырью в количестве 10–20% от общего состава масс. Для хорошего перемешивания массы высокопластичную глину добавляют в виде суспензии с влажностью 35–40%. Бентонитовые глины рекомендуется вводить в виде 3%-ной суспензии, поскольку значительное ее содержание повышает чувствительность к сушке. *Поверхностно-активные вещества* (вытяжка из соломы и торфа, дрожжевые отходы) увеличивают пластичность глиняной массы в связи с образованием адсорбционной пленки на поверхности глинистых частиц. Это позволяет уменьшить формовочную влажность на 2–3%. Положительное влияние оказывают поверхностно-активные вещества на сушильные свойства глиняной массы: ускоряют отдачу влаги, снижают градиент влажности в толщине изделий, увеличивают влагопроводимость глиняной массы.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие глинистые породы используются в производстве керамического кирпича и камней?
2. Назовите минералогический состав и технологические свойства глины, применяемых в производстве керамических стеновых материалов.

3. Что такое пластичность, число пластичности и как оно определяется?
4. Как можно увеличить (снизить) пластичность глин?
5. Что такое связующая способность глин?
6. Как определяется чувствительность глин по З. А. Носовой и А. Ф. Чижскому?
7. Поясните, как влияет чувствительность глин на сушку и другие свойства керамических изделий.
8. Что относится к термическим свойствам глин и как они определяются?
9. Почему в керамические массы вводят отошающие, выгорающие и флюсующие добавки?
10. Какие требования предъявляются к отошающим добавкам?
11. Назовите отходы, которые можно использовать в качестве отошающих и флюсующих добавок.



# 3

## ПЕРЕРАБОТКА СЫРЬЯ И ПОДГОТОВКА ФОРМОВОЧНЫХ МАСС

### 3.1. ПЛАСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГЛИН

Глины, поступающие из карьера, подвергаются обработке для разрушения текстуры, гомогенизации массы, придания формовочных и сушильных свойств. Обработка может быть природно-климатической (под воздействием атмосферных условий), механической (рыхление, дробление с выделением камней, дозирование добавками тонкоизмельченных материалов, измельчение, перемешивание), физико-химической (увлажнение, пароувлажнение, вакуумирование, биообработка силикатными бактериями, ввод пластифицирующих, отощающих, выгорающих добавок, вылеживание в шихтозапаснике).

Наиболее эффективным является механический способ подготовки массы, включающий, кроме указанных выше, также механоактивацию, пульсационный способ обогащения (оттирка глинистых частичек от зернистого материала, обогащение электроосмосом и др.). В настоящее время для первичного измельчения глин используют глинорыхлители марки МА4-004. Для выделения каменистых включений применяют камневыведительные дезинтеграторные дробилки СМ-150, СМ-22 производительностью 14–35 м<sup>3</sup>/ч, также могут быть использованы двухвалковые зубчатые дробилки. С целью измельчения непластичных твердых материалов применяют щековые и конусные дробилки, для измельчения дегидратированной глины – молотковые и роторные дробилки. Для просеивания измельченных материалов используют ситобурат, инерционный грохот, бегуны мокрого помола марки СМ-365 производительностью до 43 т/ч, вальцы с ребристым валком марки МА6-001, вальцы тонкого помола марок МА6-002 и МА6-003, вальцы супертонкого помола марки МА8-001.

## 3.2. ПОДГОТОВКА НЕПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Твердые добавки (уголь, куски шлака, бой керамического кирпича) вначале дробятся в щековых дробилках, а потом окончательно измельчаются в молотковых, роторных либо комбинированных дробилках с дальнейшим просевом через сито. Величина зерен ограничена (0,5–5,0 мм), причем количество фракций 0,5 мм должно быть не более 20%.

Сыпучие добавки (песок, опилки) просеивают на ситах. Для просеивания песка используются сита с ячейкой 3 мм, содержание фракции менее 0,25 мм не должно превышать 20%. Если песок имеет влажность выше 5%, тогда необходимо проводить его подсушку. Древесные опилки просеиваются через грохот с размером ячеек 8×8 мм. Технология подготовки опилок включает следующие этапы переработки: крытый склад → бульдозер → скребковый конвейер → ленточный конвейер → ситобурат → ленточный конвейер для просеянных опилок → ленточный конвейер для отходов → бункер.

Уголь разных марок, а также отходы обожженных изделий загружаются в бункер, а затем системой конвейеров подаются в щековую, молотковую дробилку либо в шаровую мельницу с последующим просеиванием на сите с размером ячеек от 2 до 3 мм. Уголь, прошедший через сито, используется как добавка, а который остался на сите – поступает на обжиг в печи.

Дегидратированная глина – наиболее эффективная непластичная добавка. Она может быть получена в барабанных печах, в печах с кипящим слоем на агломерационных ситах. Дегидратированная глина получается в барабанных печах вращения по следующей схеме: ящичный питатель → ленточный конвейер → глиномешалка → дырчатые вальцы → вращающаяся печь → пластинчатый жаростойкий конвейер → ковшовый конвейер → бункер → молотковая либо валковая дробилка → ситогрохот → элеватор → бункер. Вместо пластинчатого конвейера можно применять барабанный холодильник. В любом случае горячий продукт необходимо увлажнять водой.

## 3.3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС

Пластическое формование применяют в тех случаях, когда используются влажные размокающие в воде глины, которые образуют

однородную массу. Оборудование выбирают в зависимости от свойств сырья, интенсивности переработки массы.

Если поступают глины сухие плотные с карьерной влажностью 5–13%, то измельчают их на стругачах, дезинтеграторах и т. д. Глины с твердыми включениями перерабатывают на камневыделительных вальцах, лессовые глины не требуют предварительного измельчения.

Переработка глиняных материалов для производства кирпича и камней производится по следующей схеме: дозирование → ящичный питатель → грубое измельчение и выделение крупных включений (камневыделительные вальцы, бегуны мокрого помола) → смешение компонентов (двухвальный смеситель) → промежуточное измельчение (валковая дробилка, бегуны мокрого помола) → шихтозапасник → переработка массы (валковые дробилки тонкого и сверхтонкого измельчения, глинорастиратель) → подача массы на формование (ленточный транспортер).

В зависимости от свойств используемого глинистого материала можно применять и другие типы оборудования. В частности, если глина имеет высокую влажность, то ее подсушивают в сушильных барабанах. Если используется смесь глин с различными свойствами, то рекомендуется их перетереть на глинорастирателях. Для повышения качества готовых изделий следует выдерживать керамическую массу в открытых шихтозапасниках в течение 8 ч. Влажность массы влияет на формовочные свойства, прочность глиняного сырца, усадку, прочность высушенных и обожженных изделий. При высокой карьерной влажности вводят разувлажняющие добавки (молотый сырец, шлак, дегидратированную глину и др.).

### **3.4. ШЛИКЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ГЛИНОМАССЫ**

Для производства керамического кирпича часто используют глину и суглинки низкого качества, неодинаковые по составу и влажности. Эти обстоятельства не позволяют получить изделия высокого качества по пластической технологии. В данном случае шликерная технология является наиболее простым и эффективным способом повышения качества керамического кирпича и камней, поскольку позволяет не только усреднять сырье, но и удалить вредные карбонатные

включения. При шликерной технологии подготовки глиномассы достигается наиболее эффективное обогащение, усреднение и создаются благоприятные условия для применения различных добавок и корректировки свойств глинистой массы.

При использовании шликерного способа подготовки глиномассы сокращаются капитальные вложения на организацию производства кирпича. Из технологии исключаются мероприятия по утеплению карьера, глино- и шихтозапасников, происходит сокращение транспортных затрат и производственных площадей. При использовании шликерного способа увеличивается производительность труда. В данном случае можно механизировать и автоматизировать весь технологический процесс, начиная от приготовления шликера и заканчивая разгрузкой пакетов с керамическим кирпичом после обжига.

Наиболее целесообразно шликерную подготовку проводить в следующих случаях:

- глины характеризуются высокой влажностью (более 24–26%);
- глины содержат твердые карбонатные включения, которые не позволяют получать качественный кирпич при пластическом способе подготовки массы;
- глины обладают способностью к распусканию и позволяют получать шликер с влажностью не более 40%.

Распуск глины в глиноболтушке может осуществляться как в циклическом, так и в непрерывном режиме. Полученный шликер характеризуется следующими показателями: влажность – 36–38%, плотность – 1650–1670 кг/м<sup>3</sup>, вязкость – 25–25 Па · с, растекаемость – 90–100 мм.

Поскольку шликер обладает тиксотропностью, необходимо проводить в емкостях интенсивный барботаж сжатым воздухом. Для очищения шликера из глиномешалки перекачивается центробежным насосом на дуговые сита с шириной щели 2 мм. Остаток на сите поступает в шаровую мельницу непрерывного действия. После тонкого помола полученная суспензия возвращается обратно в производство. Для корректировки добавок, которые поступают в шликер, предусмотрена специальная технологическая линия.

Для усреднения шликера необходимо иметь шлам-бассейны, в которых шликер перемешивается сжатым воздухом или тихоходными мешалками. Из шлам-бассейнов шликер вновь попадает для очистки на вибросита с ячейками 2–3 мм и перекачивается в расходные емкости с пропеллерными мешалками.

### 3.5. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ШЛИКЕРА

Обезвоживание шликера и получение пресс-порошка осуществляется в башенных распылительных сушилках (БРС) или атомизаторах. Для распыления шликера в БРС существуют форсунки, установленные на расстоянии 100–200 мм друг от друга и не более 250 мм от оси агрегата. Давление распыления в них составляет 1,0–1,4 МПа. Производительность БРС – до 50 т порошка в час. В качестве теплоносителя используется воздух, нагретый инжекционными горелками (8–12 шт.), расположенными в металлическом туннеле рабочей камеры. В отличие от БРС, в атомизаторе имеется вынесенная камера сжигания топлива. Влажность пресс-порошка после сушки составляет 4,5–9,5%. Схема производства кирпича с применением механоактивации приведена в приложении 2.

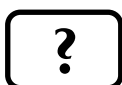
Помимо традиционного способа термического обезвоживания и сушки пресс-порошка, был разработан метод гранулирования исходной пластической массы. В этом технологическом способе предусмотрено увлажнение шихты до влажности 20–22%, гранулирование на специально сконструированном комплексе на базе пресса СМК-506. Грануляция улучшает условия сушки в сушильном барабане, повышает однородность глинистого сырья, способствует улучшению качества кирпича. В технологической схеме приготовления пресс-порошка предусмотрена механическая активация массы в стержневом смесителе, в котором осуществляется также гомогенизация, уплотнение массы и частичная грануляция. Увлажнение глиномассы проводят только в том случае, если карьерная влажность глин составляет менее 20–25%, а также при применении трудноразмокаемых глин и суглинков. В этом случае используются вальцы грубого помола, сушку осуществляют до влажности 4–6%, помол – до 1 мм, механоактивацию выполняют в измельчительно-сепарационной установке. Полученный дисперсный порошок увлажняется и гранулируется в стержневом смесителе РС-20. Размер гранул составляет 1–3 мм, частицы имеют сферическую форму. Однако гранулометрический состав нестабилен. При увеличении влажности пресс-порошков насыпная плотность уменьшается, снижается содержание тонкой фракции размером 0–0,1 мм. Добавка более пластичной глины способствует процессу гранулообразования, что оказывает положительное влияние на эксплуатационные свойства готовой продукции, повышая морозостойкость изделий. Технологическая схема приготовления массы для полусухого прессования приведена ниже.



Технологическая схема приготовления массы для полусухого прессования

При формовании изделий глубина засыпки пресс-формы составляет 115–120 мм. Механическая прочность свежесформованного кирпича увеличивается на 1,7–2,0 МПа. Для прессования используются прессы марок СМ-301А, СМ-1085А. Чтобы не было налипания порошка на пресс-форму, ее нагревают либо облицовывают полиуретаном.

Садка свежесформованного кирпича проводится на печные вагонетки, которые вмещают до 3600 шт. условного кирпича. Это является, безусловно, положительным показателем при производстве кирпича посредством компрессионного формования, поскольку отпадает необходимость пересадки кирпича с сушильных вагонеток на печные. При этом процесс сушки и обжига можно проводить в одном агрегате «печь-сушилка».



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Назовите способы обработки глинистого сырья.
2. Как осуществляется подготовка непластичных материалов?
3. Опишите процесс приготовления пластических масс с учетом влажности, твердости исходных компонентов.
4. В чем состоят особенности шликерной подготовки глиняной массы? Перечислите преимущества и недостатки данного способа подготовки массы.

# 4

## ФОРМОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА И КАМНЕЙ ИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ И ПОЛУСУХИХ МАСС

### 4.1. ПЛАСТИЧЕСКОЕ ФОРМОВАНИЕ

При пластическом формовании в результате обработки исходных сырьевых материалов получается пластическая масса с влажностью 18–23%, из которой можно формовать изделия методом экструзии, штамповкой, в гипсовых формах или лепкой. Пластичная масса сохраняет свою форму за счет того, что сила внутреннего сцепления (когезия) больше, чем сцепление с поверхностью материалов (адгезия).

Пластическое формование кирпича выполняется путем выдавливания пластических глиняных масс через профилированные мундштуки ленточных вакуумных прессов. Для формования используются вакуумные прессы СМ-198, СМК-28, СМК-443А, а в настоящее время – шнековый пресс марки МД4-006.

При помощи мундштука можно формовать различные керамические изделия: камни, керамический кирпич (обычный и пустотелый). Для этого необходимо сменить соответствующие керны со скобками. Чтобы уменьшить трение массы о поверхность стен мундштука в процессе работы, он постоянно смачивается водой.

Схема вакуумного ленточного прессы СМК-443А представлена на рис. 4.1.

Пресс работает следующим образом. Глиномасса с глиномешалки 1 забирается подающим шнеком 2 и направляется в вакуум-камеру 6, где режется ножами 5 на слои толщиной 10–15 мм. Затем масса при помощи питательного вала 7 поступает в корпус главного прессы 8. При помощи винтового шнека 9 масса загружается в головку, а затем в мундштук.

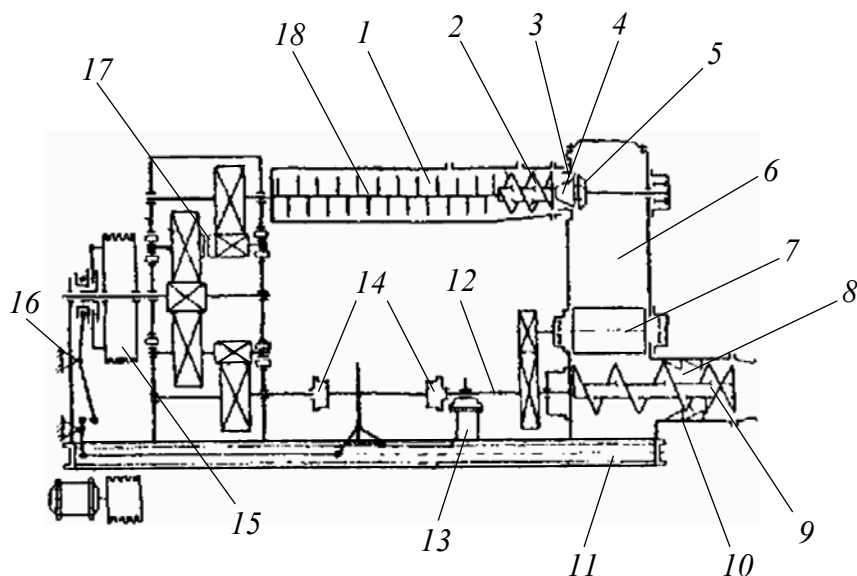


Рис. 4.1. Кинематическая схема ленточного вакуум-пресса СМК-443А:  
 1 – глиномешалка; 2 – подающий шнек; 3 – регулирующие обоймы;  
 4 – конус; 5 – ножи; 6 – вакуум-камера; 7 – питательный валок;  
 8 – корпус главного пресса; 9 – винтовой шнек; 10 – рубашка;  
 11 – рама; 12 – шнековый вал; 13 – выносная стойка  
 радиального подшипника; 14 – зубчатая защитная муфта;  
 15 – шкив; 16 – фрикционная муфта; 17 – кулачковая муфта;  
 18 – лопасти глиномешалки

В комплект пресса входит и вакуум-насос с производительностью  $270 \text{ м}^3/\text{ч}$  с разряжением  $0,08\text{--}0,10 \text{ МПа}$ . При формовании изделий с пустотами устанавливаются мундштуки, конфигурация и размеры которых зависят от свойств глиномассы (в первую очередь от пластичности глины). Но не только вакуумирование массы, а также и добавление поверхностно-активных веществ позволяет уменьшить формовочную влажность и увеличить прочность кирпича-сырца. О влиянии добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ) можно судить по табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Изменение формовочной влажности сырца в зависимости от добавки сульфидно-спиртовой барды (ССБ)**

Количество ССБ, %	Влажность, %	
	абсолютная	относительная
0,0	22,1	18,04
0,1	21,6	17,80
0,25	21,2	17,46
0,5	20,8	17,22
1,0	20,08	16,83



Как видно из табл. 4.1, при добавлении ССБ значительно уменьшается формовочная влажность. Это позволяет сократить расход топлива на сушку кирпича, а также увеличить производительность на 4,8%.

Расчет производительности вакуумных ленточных прессов можно сделать по формуле

$$Q = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)(S - \delta)nk \cdot 60, \quad (4.1)$$

где  $D$  – внешний диаметр лопасти, м;  $d$  – средний диаметр колодки выжимной лопасти, м;  $S$  – шаг лопасти, м;  $\delta$  – толщина лопасти, м;  $n$  – число оборотов лопастного винта, мин<sup>-1</sup>;  $k$  – коэффициент использования пресса, равный 0,3–0,4.

Производительность в штуках условного керамического кирпича размером по сырцу 270×130×70 мм находят по следующей формуле:

$$Q_1 = \frac{Q}{a}, \quad (4.2)$$

где  $a$  – расход массы на 1000 шт. условного кирпича, которая примерно равна 2,5 м<sup>3</sup>.

При влажности массы 12–16% производится полужесткое формование. Давление в корпусе мундштука пресса более 5 МПа. Могилевским заводом «Строммашина» выпускается шнековый агрегатный пресс СМК-482А производительностью по кирпичу 12 500 шт./ч, а по массе – 60 т/ч. Установлено, что для производства кирпича полужесткого формования можно использовать каолиновые запесоченные и низкопластичные глины. Так, в производстве керамического кирпича пластическим способом агрегатами являются вакуумные ленточные прессы.

В табл. 4.2 приведены технические характеристики вакуумных ленточных прессов.

Таблица 4.2

**Технические характеристики прессов**

Показатель	Типы прессов			
	МД 4-003 (жесткое формование)	МД 4-005	МД 4-006	СМК-168
Производительность по массе, т/ч	35–65	35–65	35–65	40
Давление прессования, МПа	10,0	3,0	3,0	1,6
Диаметр винта, мм	410	450	500	500

Показатель	Типы прессов			
	МД 4-003 (жесткое формование)	МД 4-005	МД 4-006	СМК-168
Мощность, кВт:				
– пресса	200–250	132	160	132
– смесителя	110–132	50	75	–

## 4.2. КОМПРЕССИОННОЕ ФОРМОВАНИЕ

Многообразие сырьевых материалов позволяет также использовать и компрессионный метод формования. Технологических переделов при полусухом прессовании в 2 раза меньше, чем при пластическом. Только изделия пластического формования с пустотностью 25% приближаются по совершенству к кристаллическим структурам соответствующих изделий, полученных компрессионным формованием. При компрессионном формовании достигается совершенная структура керамических изделий. При этом надо иметь заданный гранулометрический состав, пофракционную влажность, обеспечивающие наиболее рациональный режим прессования и создание строго аргументированной продукции. Согласно технологическим регламентам, с учетом основных свойств сырьевые материалы разделяются на три группы: глина и суглинки, аргиллиты и глиносланцы, кремнистые породы (диатомиты, трепела). Сырье первой и третьей группы предварительно гранулируют, сушат, измельчают с последующим уплотнением порошка.

Применение компрессионного метода позволяет использовать все разновидности сырьевых материалов: глин, суглинков, трепелов, диатомитов, сланцев, отходов промышленного и сельскохозяйственного производства. Технология компрессионного формования в силу того, что она меньше насыщена оборудованием и средствами автоматизации по сравнению с пластической, позволяет снизить стоимость кирпича. Исходя из основ физико-химической механики дисперсных структур, изделия компрессионного метода имеют более совершенную структуру, чем полученные пластическим способом. Для полусухого компрессионного прессования обязательным условием является применение полифракционного гранулометрического состава порошка оптимальной влажности. Это позволяет получить отформованные изделия равной плотности при соответствующем давлении прессова-

ния без перепрессовки и трещин. Благодаря совмещению процесса сушки и помола сырья сокращаются производственные площади и оборудование, что позволяет снизить энергозатраты.

При производстве керамических изделий по компрессионной технологии выпускаются изделия с небольшой пустотностью. В этом случае можно повысить теплозащитные свойства материала за счет микропористой структуры рациональным подбором сырьевых материалов. Пресс-порошок готовится при увлажнении шихты до 20–22% с последующей ее грануляцией на специальном комплексе, сконструированном на базе пресса СМК-506. Благодаря грануляции обеспечиваются лучшие условия для сушки гранул в сушильном барабане, повышается однородность глинистого сырья по влажности, что приводит к улучшению качества формуемого кирпича.

Также в технологической схеме предусматривается механоактивация массы в роторном стержневом смесителе. Смеситель не только обеспечивает уплотнение массы, но и частичную грануляцию, которая улучшает сыпучесть порошков и заполнение пресс-форм. Преимущественный размер гранул 1–3 мм, форма сферическая. Если в технологии предусмотрено использование малопластичного сырья, то можно применять полусухой способ приготовления гранул. Исходное сырье поступает на сушку. Сушат его до влажности 4–6% в сушильном барабане, а затем измельчают методом механоактивации до 1 мм, увлажняют, гранулируют для получения гранул 1–3 мм. Гранулы сушат до влажности 8–10%, измельчают в стержневом смесителе. Кирпич прессуют под давлением 20–25 МПа, сушат в туннельной сушилке, затем обжигают при температуре 950–1000°C.

## **4.3. ПРОИЗВОДСТВО РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА**

### **4.3.1. Производство лицевого кирпича**

При использовании лицевого кирпича значительно улучшается внешний облик зданий. Кирпич является не только несущим изделием, но и отделочным. Фасады зданий из лицевого кирпича не окрашиваются и не оштукатуриваются, не облицовываются другими отделочными материалами. Поэтому здания, изготовленные из лицевого кирпича, не требуют частого ремонта при эксплуатации.

Основными сырьевыми материалами для производства облицовочной массы являются кварцевый песок, который служит непластичной

добавкой, глинопорошок либо огнеупорная глина. Массовая доля песка в облицовочной массе определяется химико-минералогическим составом применяемых глин. Песок просеивается и поступает в бункер запаса. Если его влажность более 5%, он предварительно подсушивается в сушильном барабане. Глинопорошок готовится шликерным способом с последующим обезвоживанием в БРС. В состав массы входит, %: глина – 50–60, стеклобой – 3–12, песок и другие материалы – 25–40.

Принципиальная схема производства керамического кирпича двухслойного формования приведена в приложении 3.

В соответствии с принятой рецептурой материалы и электролиты подают в шаровую мельницу. Вначале загружают непластичные материалы и частично глину (до 10%), а затем после помола в течение 8 ч засыпают остатки глины и продолжают измельчение (до 4 ч). После помола шликер с влажностью 48–50% процеживают через сито и при помощи мембранного насоса подают в бассейн, а затем на обезвоживание в БРС. Формование облицовочного кирпича проводится на ленточных вакуумных прессах. Сам процесс формования состоит из следующих технологических операций. Основная масса для кирпича подается из шихтозапасника мостовым краном с грейферным захватом в промежуточный питатель, а затем конвейером направляется в двухвальную глиномешалку с фильтровальной решеткой. В глиномешалке масса перемешивается, усредняется и доувлажняется. Массовая доля влажности составляет 14,5–16,5%. Благодаря фильтровальной решетке обеспечивается дополнительное обогащение массы.

Окончательная переработка массы перед формованием может проводиться в глинорастирателях либо на валках тонкого и сверхтонкого помола с зазором 3–1 и 0,75–1,00 мм. Переработанная масса по конвейеру подается в расходный бункер и питателем в смеситель ленточного вакуумного пресса. При помощи лопастей масса перемещается в вакуум-камеру. Перед входом в вакуум-камеру масса с помощью шнеков заполняет конусную выходную часть смесителя.

В герметичной камере масса вакуумируется при величине вакуума не менее 88,2 кПа (0,9 кгс/см<sup>2</sup>). Дезодорированные кусочки глинистой массы собираются в нижней части вакуум-камеры и совместным действием нагнетательного вала и приемных винтовых лопастей захватываются и продвигаются в корпус пресса, из которого уплотненная глинистая масса двухходовыми лопастями подается в переходную головку пресса, выжимается через мундштук, который и придает глиняному брусу форму и необходимые размеры.

### 4.3.2. Производство ангобированного кирпича

Ангоб наносится в виде суспензии тонким слоем (0,1–0,3 мм) при помощи форсунок способом пульверизации поверхности бруса, который выходит из мундштука, либо на сухой кирпич.

В табл. 4.3 приведены некоторые составы ангобных масс.

Таблица 4.3

Состав масс и цвет ангобного слоя

Компоненты	Количество, %	Полученный цвет
Глина часовьярская Ч-1	50	Белый
Песок люберецкий	50	
Бой стекла (свыше 100%)	15–20	
Глина Веселовского месторождения	50	Голубой
Песок люберецкий	50	
Оксид кобальта (свыше 100%)	3	
Глина часовьярская Ч-1	50	Темно-зеленый
Песок люберецкий	50	
Бой стекла (свыше 100%)	20	
Оксид хрома (свыше 100%)	3	

При ангобировании устанавливаются две форсунки: одна – для нанесения ангоба на тычковую поверхность кирпича под углом 45° и на расстоянии 40 см от верхней грани, а вторая – для покрытия ложковой поверхности под углом 30° и на расстоянии 70 см. Обе форсунки заключены в камеры, из которой избытки суспензии стекают в сборник, а затем вновь поступают в расходную емкость. Суспензия перед емкостью процеживается через сито с ячейкой 0,25 мм.

В состав ангобов для снижения температуры спекания необходимо добавлять плавень, например бой стекла. Благодаря этому ангобный слой имеет водопоглощение 1–4%. Основная масса кирпича остается высокопористой и имеет в 2–2,5 раза меньший интервал спекания, чем ангобная масса.

### 4.3.3. Производство объемно-окрашенного кирпича

В зависимости от соотношения исходных компонентов и вида добавок, температуры обжига, газовой среды, можно получить керамический кирпич широкой цветовой гаммы. При объемном окрашивании в состав керамической массы вводятся красители (соли и оксиды 3d-элементов). Однако это приводит к удорожанию продукции.

В последние годы в практике кирпичных заводов используются железосодержащие шламы, а также отходы, содержащие карбонатные

включения, которые в результате обжига изменяют природный цвет кирпича с красного на розовый, желтый и белый. Также в качестве добавок можно использовать древесную золу, дефицит (отход сахарного производства), скоп (отход бумажного производства) и др. Примерный шихтовой состав массы следующий, %: глина легкоплавкая – 80, песок – 10, зола ТЭЦ – 10. Постепенно песок замещают на золу и шлам, %: глина легкоплавкая – 80, песок – 6, зола – 6, шлам – 8; глина – 80, песок – 7, зола – 7, шлам – 6; глина – 80, песок – 9, зола – 9, шлам – 2. Для указанных составов цвет изменяется от красного до желтых и светло-желтых тонов. В этом случае можно считать, что  $Fe_2O_3$  встраивается в кристаллическую решетку муллита, а также может образовывать кристаллические соединения в форме феррогилинита, частично переходить в тетраэдрическую координацию  $FeO_4$  и изменять свой цвет.

Для получения строительных керамических материалов используются алюмосодержащие отходы, в которых находится  $CaCO_3$ . Изменяя соотношение между оксидами  $CaO$  и  $Fe_2O_3$  и вводя дополнительно литийсодержащие отходы в качестве минерализаторов, получен кирпич желтого цвета. В качестве окрашивающих добавок рекомендуется вводить титансодержащие материалы с высоким содержанием  $TiO_2$  в форме рутила или анатаза. В этом случае образуется титанат железа соломенно-желтой окраски.

Для объемного окрашивания керамических масс используются марганецсодержащие материалы, основным соединением которых является  $MnO_2$  (пиролюзит). При обжиге в окислительной среде диоксид марганца подвергается превращению, переходя в разные степени окисления –  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$ ,  $MnO$ . При температуре обжига 950–1040°C в керамическом материале фиксируется фаза гаусманита  $Mn_3O_4$ . Данная фаза обуславливает буровато-черный цвет. Черепок желтовато-коричневого цвета получают при введении в состав массы до 20% глауконитсодержащих пород. В результате получают керамический материал с водопоглощением 10,8–12,9%, кажущейся плотностью 1929–1993 кг/м<sup>3</sup>, кажущейся пористостью 21,7–25,0%, прочностью при сжатии 17,8–20,0 МПа, морозостойкостью более 25 циклов.

#### **4.3.4. Производство глазурованного кирпича**

Наиболее совершенные эстетические возможности представляет глазурованный кирпич с широкой цветовой гаммой. Хотя глазурованный кирпич и является хорошим отделочным материалом, но хрупкое покрытие и высокая стоимость ограничивают его использование.

На ООО НПП «Крона-С» (Россия) разработана новая технология, позволяющая снизить себестоимость лицевого кирпича. Ниже приведена схема производства глазурованного кирпича (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Схема производства глазурованного кирпича

#### 4.4. ВИДЫ БРАКА ПРИ ФОРМОВАНИИ

Наиболее часто встречаются следующие виды брака при формировании керамического кирпича пластическим способом (рис. 4.3).

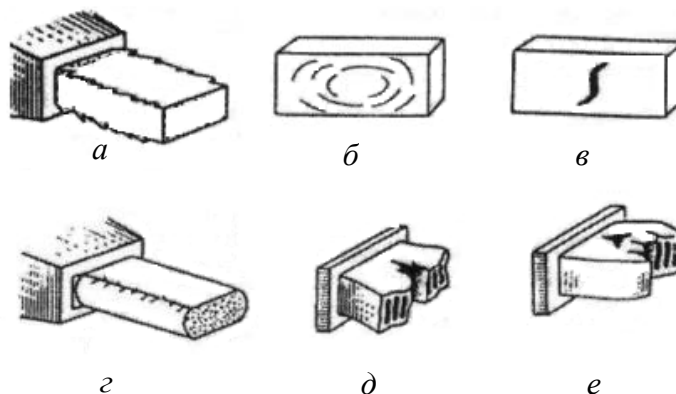


Рис. 4.3. Виды брака кирпича-сырца при формировании:  
*a* – «драконов зуб»; *б* – свилеподобная структура; *в* – S-подобная трещина;  
*г* – брус неполного сечения; *д* – опережение середины бруса;  
*е* – отставание середины бруса

«*Драконов зуб*» – вид брака, который представляет собой разрывы на гранях глиняного бруса. Он образуется при очень низкой пластичности глины, в результате чего углы мундштука засоряются, недостаточно орошаются либо стенки мундштука имеют малый угол наклона. Этот дефект можно ликвидировать, если прочистить и промыть мундштук, а также подобрать соответствующий угол наклона.

*Свилеобразные трещины* возникают под воздействием винтовых лопастей пресса. В результате вращения винтов вала при продвижении массы и интенсивном трении происходит полировка слоев массы, которые повторяют форму винта. Винт подает массу в виде слоистой спирали, витки которой недостаточно слипаются между собой в мундштуке. По сечению цилиндра пресса образуется неравномерная по плотности структура массы. Скорость перемещения массы по сечению цилиндра пресса неодинаковая: по периметру она больше, а около самого винта меньше. Вместе с поступательным движением наблюдается проворачивание массы относительно внутренней поверхности корпуса пресса. В результате такого вращательно-поступательного движения образуются спиральные отполированные слои, которые повторяют форму винта. Если пластичность массы недостаточная, то срастания слоев не происходит. Это проявляется в виде эллипсоподобных трещин после сушки и обжига. Вследствие этого кирпич теряет свою морозостойкость, монолитность и прочность.

Ликвидировать и уменьшить образование свилеподобной структуры можно технологическим и конструктивными приемами. При технологическом приеме в состав массы добавляют больше шамота, дегидратированной глины, гранулированных шлаков, гранитных отходов и других материалов преимущественно с фракцией 1–3 мм. Это приводит к увеличению коэффициента внутреннего трения, что позволяет притормозить проскальзывание слоев между собой и сохранить целостную массу.

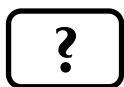
Восстановить нарушенную плотность массы можно путем увеличения влажности и повышения ее липкости. Хотя увеличение влажности и уменьшает связанность массы, однако снижает необходимое давление для экструзии массы с головки пресса и мундштука и увеличивает ее липкость, что приводит к обновлению нарушенной плотности. Также добавление ПАВ снижает трение массы по периметру головки пресса, мундштука и кернов, что уменьшает напряжение и свилеватость.

При неполном обтекании массы за выступающим концом вала образуется пустое пространство, которое является причиной возник-



новения *S-подобной трещины*. Ее можно ликвидировать, если несколько увеличить количество непластичного материала и установить дополнительное кольцо между цилиндром и конусной головкой прессы шириной 100–200 мм. Кроме того, брус из мундштука с незаполненными углами по сечению может выходить в том случае, если он имеет повышенную влажность. Твердую массу, которая раньше заполняла углы мундштука, нельзя вытолкнуть влажной массой. Давление будет недостаточным. Этот вид брака ликвидируется прочисткой мундштука, корректировкой влажности массы и равномерной ее подачей в пресс.

При формировании пустотелых изделий брус может выходить из мундштука малосвязанным, рыхлым. Причиной является недостаток вакуума. Устранить этот дефект можно путем ликвидации подсоса и увеличения вакуума. При вакуумировании может образовываться и слоистая структура. Ликвидируется она повышением влажности, добавкой большего количества непластичного материала. Если средняя часть бруса опережает периферийные, то брус расходится в разные стороны. Для устранения этого дефекта необходимо увеличить конусность мундштука и уменьшить наклон кернов или установить пластины по периметру мундштука.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте характеристику прессового оборудования для пластического формования керамического кирпича.
2. В какой последовательности производится расчет вакуумных ленточных прессов?
3. Приведите основные этапы компрессионного прессования керамического кирпича.
4. В чем состоят особенности производства лицевого объемно-окрашенного кирпича?
5. Как происходит изготовление ангобированного и глазурованного кирпича?
6. Назовите основные виды брака, которые возникают при формировании кирпича.

Для придания отформованному кирпичу механической прочности и подготовки его к обжигу применяется сушка. В процессе сушки происходит удаление влаги, что приводит к уменьшению объема изделия (усадке) и увеличению его прочности.

Процесс сушки зависит от температуры, относительной влажности теплоносителя, скорости его движения. Испарение влаги с поверхности свежесформованного кирпича (внешняя диффузия) обусловлено указанными выше факторами. В то же время происходит перемещение влаги с внутренних слоев изделий (внутренняя диффузия). С увеличением пористости и температуры сырца повышается скорость внутренней диффузии, уменьшается разность между внутренней и внешней диффузией. Предельно допустимый перепад влажности на поверхности и внутри изделия, при котором происходит равномерная сушка, называется *критическим градиентом влажности*.

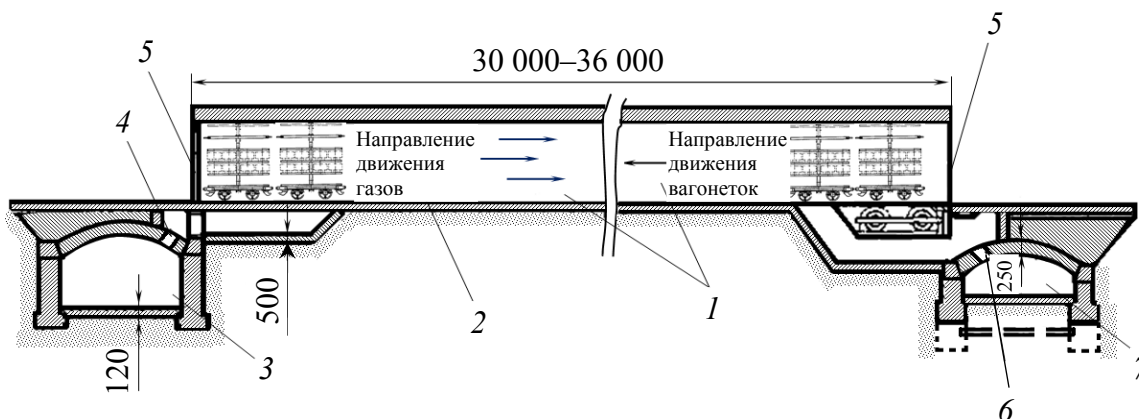
Внутреннюю диффузию регулируют введением отошающих и выгорающих добавок. При уменьшении влагосодержания в изделиях происходит воздушная усадка, величина которой в основном зависит от свойств глин и определяется главным образом чувствительностью к сушке. Чем выше пластичность, тем больше и усадка. Трещиностойкость зависит от коэффициента усадки, теплопроводящей способности, введения пластичных материалов. Скорость сушки определяется количеством воды, удаляемой с единицы поверхности за единицу времени.

Процесс сушки делится на три периода:

- нагрев изделия до температуры теплоносителя при незначительном уменьшении влажности;
- постоянная скорость сушки, усадка изделия. Период характеризуется постоянным уменьшением массы изделия, скорость сушки равна скорости испарения влаги с поверхности;
- период падающей скорости сушки. Процесс замедляется, когда влажность высушенного материала достигает равновесной величины, при которой масса не уменьшается, а скорость сушки равна нулю.

Скорость теплоносителя при сушке кирпича достигает 0,5–3,0 м/с, температура теплоносителя не более 90°С. Расход теплоносителя на 1000 шт. высушенного сырца составляет 30–32 тыс. м<sup>3</sup>, температура отработанного теплоносителя равна 30–40°С при относительной влажности 80–95%.

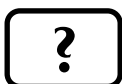
Для сушки изделий применяются туннельные, камерные и другие сушилки. Туннельные сушилки непрерывного действия работают по принципу противотока (рисунок).



Противоточная туннельная сушилка:

- 1 – туннель; 2 – рельсовый путь; 3 – приточный канал;  
4, 6 – поворотные заслонки; 5 – двери; 7 – отборный канал

Сушилка представляет собой камеру длиной 24–36 м, высотой 1,4–1,8 м, шириной 1,00–1,24 м. Отдельные туннели объединены в блоки по 4–20 туннелей, имеющие общий канал для подачи и забора теплоносителя. Параметры режима сушки: продолжительность – 12–50 ч, температура теплоносителя – 50–80°С, относительная влажность теплоносителя – 75–95%, расход теплоносителя на один туннель – 3000–10 000 м<sup>3</sup>/ч. Скорость движения теплоносителя составляет 0,8–2,0 м/с, начальная влажность кирпича, поступающего в сушилку, равна 14–22%, конечная влажность – 5–7%. Выбор типа сушилки и режима сушки зависит от состава массы, формы и размера изделий.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие процессы протекают при сушке керамических изделий?
2. От чего зависит процесс внешней и внутренней диффузии влаги?

3. На какие периоды делится процесс сушки?
4. Поясните, что такое критический градиент, и расскажите, от чего он зависит.
5. Как можно регулировать скорость сушки керамических изделий?
6. Какие сушильные агрегаты используются для сушки керамических стеновых материалов?
7. Перечислите технологические параметры, оказывающие наибольшее влияние на скорость сушки.
8. Какие способы интенсификации процесса сушки керамического кирпича известны?
9. Как определяется продолжительность сушки керамических изделий?
10. Почему при сушке керамического кирпича могут возникать трещины?
11. Какие факторы обуславливают трещиностойкость керамических изделий?

# 6

## ОБЖИГ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 6.1. СУЩНОСТЬ И НАЗНАЧЕНИЕ ОБЖИГА

В процессе обжига формируется структура керамического материала, определяющая его прочность, плотность, водопоглощение и др. Обжиг ведут при температуре 900–1100°C, достаточной для спекания керамической массы. В результате обжига изделие превращается в камнеподобное тело, стойкое против механических и физических воздействий. Температурный режим обжига изделий условно делится на четыре периода (досушку, прогрев, обжиг и охлаждение):

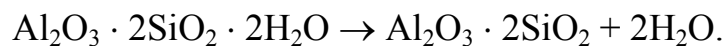
- досушку и прогрев проводят для удаления физической и частично физико-химической связанной воды. При этом изделие равномерно прогревается до 200°C, в интервале температур 80–130°C происходит интенсивное удаление влаги, что может вызвать растрескивание изделий. Поэтому в этот период надо медленно поднимать температуру;

- увеличение температуры до 1100°C. В этом интервале температур происходит окончательное удаление воды, разрушение кристаллической решетки глинистых минералов, модификационное превращение кварца и структурные изменения черепка. При нарушении режима обжига могут появиться трещины на изделиях. В период обжига достигается максимально допустимая температура обжига, интенсивная огневая усадка, резко снижается пористость черепка. В конце обжига изделие выдерживают при максимальной температуре в течение 3–5 ч для полного протекания физико-химических процессов;

- охлаждение характеризуется медленным понижением температуры (приблизительно 30°C/ч) до 500°C. Это исключает появление внутренних напряжений в изделиях и их растрескивание, которое может происходить в интервале 650–500°C при быстром охлаждении в результате модификационных превращений кварца. Дальнейшее охлаждение изделий до конечной температуры 40–50°C может идти со скоростью 100–125°C/ч.

## 6.2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБЖИГЕ

В период досушки отмечается удаление физико-механической и связанной воды и равномерное прогревание изделий. В интервале температур 200–600°C происходит выгорание органических примесей и выгорающих добавок, удаление химически связанной воды, что приводит к потере пластичности глины, разрушению кристаллической решетки минералов, снижению механической прочности и усадке изделия. Процесс дегидратации каолинита протекает с образованием метакаолинита:



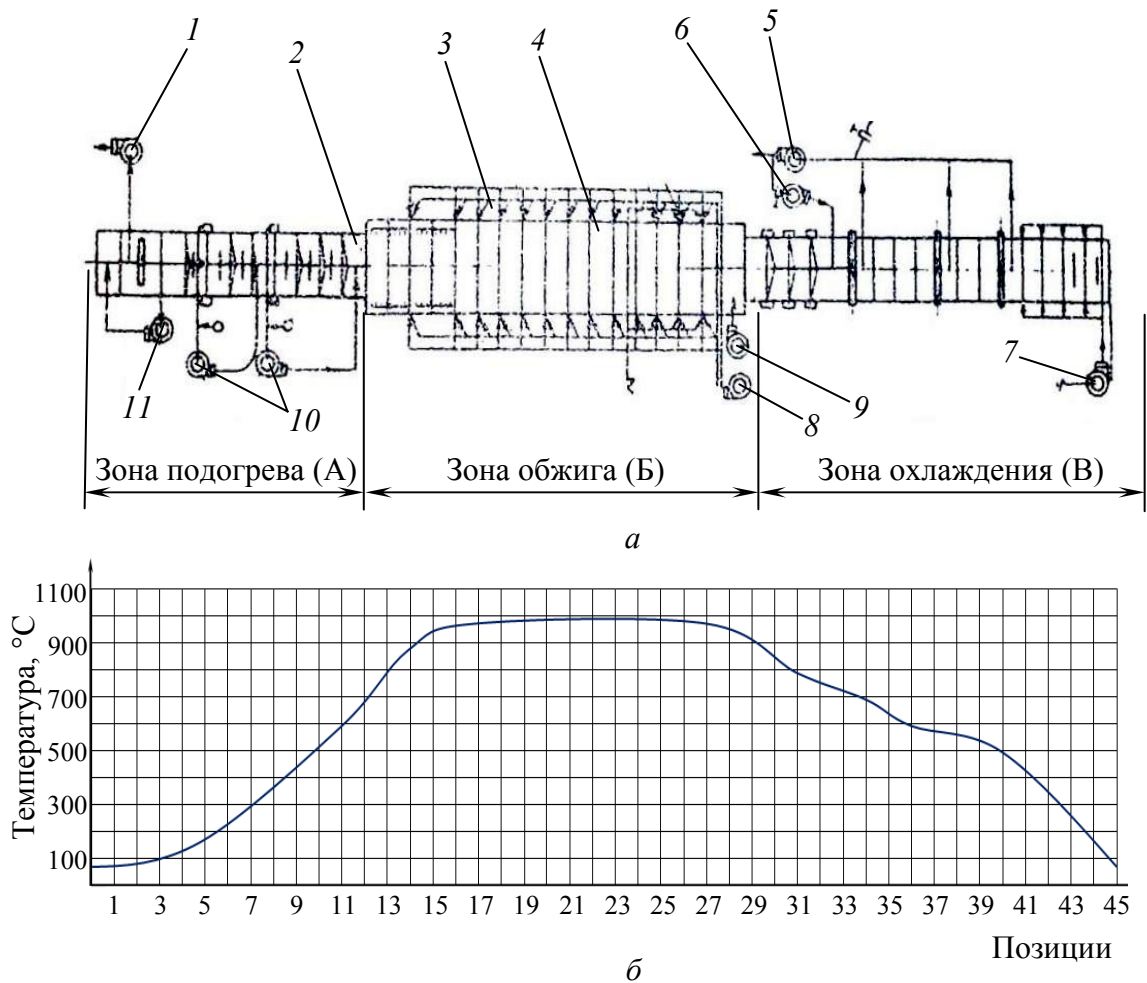
В интервале температур 500–700°C отмечается диссоциация минералов, содержащих железо, сульфиды и сульфаты, а при 700–900°C – карбонатов. Выделение летучих газов должно заканчиваться до начала спекания черепка во избежание его разрыва и вспучивания. При температуре 700°C и выше находящиеся в глине щелочи взаимодействуют с другими компонентами, образуя расплавы, которые содействуют сближению твердых частиц, растворению минералов и выделению новых термодинамически устойчивых кристаллических фаз. Нагревание изделий выше температуры 700°C приводит к разложению метакаолинита на оксиды алюминия и кремнезема, а также образованию первичного муллита – наиболее устойчивого соединения, придающего механическую прочность, термостойкость и другие свойства.

На процесс образования муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) большое влияние оказывает атмосфера печи. В присутствии пара этот процесс ускоряется, а углекислый газ его замедляет. Поэтому обжиг изделий лучше проводить в окислительной среде, способствующей лучшему сжиганию органических примесей и выгорающих добавок. Выгорающие добавки повышают пористость полуфабриката и понижают чувствительность к обжигу.

## 6.3. ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА

Для обжига керамических изделий используются кольцевые, туннельные печи. Наиболее распространенными, применяемыми в промышленности, являются туннельные печи, в которых обжигаемый ма-

териал перемещается на вагонетках или роликовых конвейерах по сквозному туннелю навстречу теплоносителю. Длина обжигательного канала – 40–48 м, ширина – 1,7–4,7 м, рабочая высота – 1,3–1,9 м. Печи фирмы «СЕРИК» имеют длину 135,6 м, ширину 6,94 м, рабочую высоту 2,07 м. Схема туннельной печи производительностью 14 млн. шт. условного кирпича в год и температурная кривая обжига кирпича приведены на рисунке.



**Туннельная печь:**

*а* – отопительно-вентиляционная система; *б* – температурный режим обжига:

*1* – вентилятор отбора дымовых газов; *2* – горелки с широким диапазоном регулирования соотношения «газ – воздух»; *3* – двухпроводные горелки;

*4* – трехпроводные горелки; *5* – вентилятор отбора горячего воздуха;

*6* – вентилятор подачи воздуха к завесам; *7* – вентилятор подачи холодного воздуха в печь; *8* – вентилятор подачи воздуха к горелкам; *9* – вентилятор подачи воздуха в подвагонеточное пространство печи;

*10* – рециркуляционные вентиляторы; *11* – вентилятор отбора воздуха из подвагонеточного пространства

Туннельная печь имеет три зоны: подогрева, обжига и охлаждения. В зоне подогрева температура повышается со скоростью 50°С/ч до 200°С. Затем скорость нагрева несколько снижается и увеличивается в зоне обжига до 150°С/ч. Охлаждение после обжига медленное до 500°С со скоростью 50°С/ч, а затем скорость охлаждения повышается до 120°С/ч.

Основное время при обжиге отводится зонам подогрева и охлаждения, так как в этих зонах может появиться наибольшее количество дефектов. Продолжительность обжига керамического кирпича и камней в туннельных печах составляет от 18 до 32 ч, из них на охлаждение затрачивается 10–15 ч. Режим обжига в туннельных печах выбирают в зависимости от вида, формы и размера обжигаемых изделий и вида теплоносителя. На интенсивность обжига влияет садка кирпича-сырца на обжиговые вагонетки. Плотность садки составляет 200–280 шт./м<sup>3</sup> объема канала печи.

## **6.4. БРАК ПРИ ОБЖИГЕ И ПРИЧИНЫ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ**

Брак при обжиге является необратимым дефектом изделий, который не поддается устранению и в большинстве случаев влияет на качество и сортность готовой продукции. Неправильная досушка и подогрев изделий повышенной влажности могут привести к появлению крупных трещин. При быстром охлаждении в обожженных изделиях могут появиться мелкие трещины.

Кроме того, как при сушке, так и при обжиге на поверхности изделий могут возникнуть белесые пятна – высолы и выцветы. Причиной появления пятен может быть и соленость воды, которая используется для затворения глины, либо вода, которая попадает прямо на поверхность кирпича при эксплуатации строения. Даже если в воде содержится 0,045 г/л  $\text{SO}_3^{2-}$ , то она непригодна для производства лицевого кирпича. Наибольшие выцветы вызывает  $\text{FeS}_2$ , который является примесью во многих глинах. При вылеживании таких глин могут образовываться  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{FeSO}_4$ . Карбонатные включения  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  могут находиться во всех кирпичных глинах.

Интенсивность образования пятен обожженных изделий зависит от пористости. Мелкодисперсные глины сохнут дольше, что и способствует большему движению растворимых солей к поверхности. У гру-



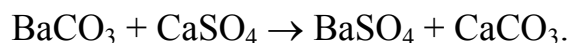
бодисперсных глин, которые сохнут быстрее, растворимые соли находятся в толще черепка. Высолы более интенсивно образуются на толстостенных изделиях, чем на тонкостенных. Концентрация солей на поверхности зависит от коэффициента, который показывает отношение площади  $S$  поверхности к объему  $V$ :

$$K = \frac{S}{V}.$$

При  $K = 3-5$  высолы не появляются, а при  $K = 1,3-2,6$  могут возникнуть. Для уменьшения площади высолов образцы покрывают с четырех сторон битумом или другими пленкообразующими компонентами после формования (кистью, валиком или поливом).

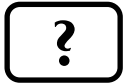
$K$  наиболее известным методам относятся вылеживание глины, замена жесткой воды. Интенсивность образования пятен на поверхности кирпича зависит от количества влаги, концентрации растворимых солей, размера площади поверхности выпаривания черепка, его структуры. Одна из мер по предотвращению образования пятен – повышение скорости сушки, поскольку при сушке на поверхности изделий кристаллизуются соли. Процесс удаления влаги протекает как процесс выпаривания, который начинается при нарушении состояния влажностного равновесия, это значит, когда парциальное давление водяного пара теплоносителя станет меньше, чем парциальное давление поверхности выпаривания. Происходит диффузия влаги из внутренних слоев изделий.

Для ликвидации пятен на поверхности изделий предлагается в состав глиномассы вводить 20–60% золы, в которой содержится углерод. Из химических добавок можно использовать соли бария:  $\text{BaCO}_3$  и  $\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$ . При введении их в массу происходит реакция:



В результате реакции образуется труднорастворимая соль. Лучше добавлять соли бария в виде суспензии в количестве до 0,5%. Также можно вводить растворы соли фосфора, которые связывают  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  в труднорастворимую соль.

Если в глинах содержится более 0,1%  $\text{SO}_3$ , то можно использовать защитное покрытие: синтетические смолы, битум, эфиры, кетоны и др. Рекомендуется применять отходы капролактамового производства (натриевые соли органических кислот: масляной, валерьяновой, капроновой и др.), которые добавляются в состав глиномассы.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие температурные режимы приняты при обжиге кирпича?
2. Перечислите физико-химические процессы, которые протекают при обжиге.
3. Как контролируется режим обжига керамических стеновых материалов?
4. Какие тепловые агрегаты используются для обжига керамических изделий?
5. Как можно снизить удельный расход условного топлива на обжиг керамических изделий?
6. Назовите виды брака, которые возможны при обжиге керамических изделий.
7. Перечислите способы предотвращения высолов и выцветов на поверхности изделий.

# 7

## ПРИМЕР РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОИЗВОДСТВА КИРПИЧА

Масса для производства кирпича включает, %: глина «Гайдуков-ка» – 57, суглинки «Фаниполь» – 20, ОФС – 20, гранитные отсеvy – 3. Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Химический состав сырьевых компонентов**

Сырьевой материал	Наименование оксидов и их содержание, %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ППП	Σ
Глина «Гайдуков-ка»	56,70	12,60	4,13	0,54	8,49	2,68	0,46	3,04	11,36	100
Суглинки «Фаниполь»	78,84	8,67	2,61	0,80	2,02	0,97	1,59	2,12	2,38	100
ОФС	89,00	3,98	1,87	0,32	1,68	0,74	0,25	0,35	1,90	100
Гранитные отсеvy	60,61	15,89	7,25	0,50	5,05	2,05	3,45	3,10	22,10	100

Химический состав обожженных изделий определяется по формуле

$$Y = \frac{a_i \cdot 100}{\sum a_i}, \quad (7.1)$$

где  $Y$  – содержание оксида в обожженном материале, %;  $a_i$  – содержание оксида в необожженном материале, %.

Результаты расчета химического состава масс и обожженных изделий сведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

**Химический состав масс и обожженных изделий**

Шихтовые компоненты	Наименование оксидов и их содержание, %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ППП	
Глина «Гайдуков-ка»	32,33	7,19	2,35	0,32	4,84	1,53	0,26	1,73	6,48	

Шихтовые компоненты	Наименование оксидов и их содержание, %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ППП
Суглинки «Фаниполь»	15,78	1,74	0,53	0,16	0,50	0,19	0,32	0,44	0,48
ОФС	17,80	0,79	0,38	0,06	0,34	0,16	0,05	0,07	0,38
Гранитные отсевы	1,83	0,50	0,06	0,03	0,15	0,06	0,11	0,09	0,06
Количество непрокаленного вещества	67,74	10,22	3,32	0,57	5,74	1,94	0,74	2,33	7,40
Количество прокаленного вещества	73,15	11,04	3,59	0,62	6,20	2,09	0,79	2,52	–

Движение материалов по технологическим переделам и нормативы пооперационных и возвратных потерь в производстве кирпича представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

**Операции производства и нормативы потерь массы для керамического кирпича**

Операция	Пооперационные потери $P_i$ , %	Возвратные потери $B_i$ , %	Позиции возврата $N_i$	Пооперационная влажность $W_i$ , %
1. Склад готовой продукции	0,5	–	–	–
2. Сортировка	1,0	–	–	–
3. Обжиг	2,0	–	–	–
4. ППП	7,4	–	–	–
5. Сушка	2,0	90,0	8,0	3,5
6. Формование	1,0	95,0	8,0	18,0
7. Вторичная переработка массы	0,5	–	–	18,0
8. Вылеживание массы	0,5	–	–	18,0
9. Первичная переработка массы	0,5	–	–	18,0
10. Смешивание	0,5	–	–	18,0
11. Измельчение глины	0,5	–	–	22,0
12. Транспортировка глины	0,5	–	–	22,0
13. Склад глины	0,5	–	–	22,0
14. Измельчение суглинок	0,5	–	–	20,0
15. Транспортировка суглинок	0,5	–	–	20,0
16. Склад суглинок	0,5	–	–	20,0
17. Транспортировка ОФС	0,5	–	–	4,0
18. Склад ОФС	0,5	–	–	4,0
19. Транспортировка гранитных отсевов	0,5	–	–	2,0
20. Склад гранитных отсевов	0,5	–	–	2,0

Расчет материального баланса получения массы ведется по следующим формулам.

Количество перерабатываемого по сухой массе материала на текущей операции вычисляется по формуле

$$H_i = H_{i-1} + R_i - S_i, \quad (7.2)$$

где  $H_{i-1}$  – количество переработанного материала на предыдущей операции, т;  $R_i$  – абсолютная величина потерь материала на текущей операции, т;  $S_i$  – возврат материала в производство, т.

Абсолютные потери на данной операции находятся из выражения

$$R_i = H_{i-1} \frac{P_i}{100 - P_i}, \quad (7.3)$$

где  $P_i$  – пооперационные потери, %.

Возврат материала в производство определяется по формуле

$$S_i = R_{i-1} \frac{B_i}{100 - P_i}, \quad (7.4)$$

где  $B_i$  – возвратные потери, %.

Количество перерабатываемого на текущей операции материала с учетом влажности рассчитывается по следующей формуле:

$$G_i = H_i \frac{100}{100 - W_i}, \quad (7.5)$$

где  $W_i$  – влажность материала, %.

Проведем расчет для керамического кирпича размером, мм: длина – 250, ширина – 120, толщина – 65. Количество выпускаемой продукции равно 35 млн. шт. условного кирпича.

Определим массу продукции, поступающей на склад готовых изделий.

Объем единицы продукции (керамического кирпича) находится по формуле

$$V_{\text{ед.пр}} = 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065 = 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Масса единицы продукции составит:

$$G_{\text{ед.пр}} = V_{\text{ед.пр}} \gamma_{\text{ед.пр}} = 1,95 \cdot 10^{-3} \cdot 1,86 = 0,00364 \text{ т}, \quad (7.6)$$

где  $\gamma_{\text{ед.пр}} = 1,86 \text{ т/м}^3$ .

Поступило на склад готовой продукции:

$$Q = V G_{\text{ед.пр}} = 35\,000\,000 \cdot 0,00364 = 127\,400 \text{ т/год.}$$

1. Склад готовой продукции:

$$R_1 = 127\,400 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 640,2 \text{ т};$$

$$H_1 = 127\,400 + 640,2 = 128\,040,2 \text{ т.}$$

2. Сортировка:

$$R_2 = 128\,040,2 \cdot \frac{1}{100 - 1} = 1293,34 \text{ т};$$

$$H_2 = 128\,040,2 + 1293,34 = 129\,333,54 \text{ т.}$$

3. Обжиг:

$$R_3 = 129\,333,54 \cdot \frac{2}{100 - 2} = 2639,46 \text{ т};$$

$$H_3 = 129\,333,54 + 2639,46 = 131\,973 \text{ т.}$$

4. ППП:

$$R_4 = 131\,973 \cdot \frac{7,4}{100 - 7,4} = 10\,546,44 \text{ т};$$

$$H_4 = 131\,973 + 10\,546,44 = 142\,519,44 \text{ т.}$$

5. Сушка:

$$R_5 = 142\,519,44 \cdot \frac{2}{100 - 2} = 2908,56 \text{ т};$$

$$S_5 = 2908,56 \cdot \frac{90}{100 - 2} = 2675,87 \text{ т};$$

$$H_5 = 142\,519,44 + 2908,56 = 145\,428 \text{ т};$$

$$G_5 = 145\,428 \cdot \frac{100}{100 - 3,5} = 190\,101,96 \text{ т.}$$

6. Формование:

$$R_6 = 145\,428 \cdot \frac{1}{100 - 1} = 1468,97 \text{ т};$$

$$S_6 = 1468,97 \cdot \frac{95}{100 - 1} = 1410,21 \text{ т};$$

$$H_6 = 145\,428 + 1468,97 = 146\,896,97 \text{ т};$$

$$G_6 = 146\,896,97 \cdot \frac{100}{100 - 18} = 179\,142,65 \text{ т.}$$

7. Вторичная переработка массы:

$$R_7 = 146\,896,97 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 738,18 \text{ т;}$$

$$H_7 = 146\,896,97 + 738,18 = 147\,635,15 \text{ т;}$$

$$G_7 = 147\,635,15 \cdot \frac{100}{100 - 18} = 180\,042,86 \text{ т.}$$

8. Вылеживание массы:

$$R_8 = 147\,635,15 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 741,89 \text{ т;}$$

$$H_8 = 147\,635,15 + 741,89 - 2675,87 - 1410,21 = 144\,290,96 \text{ т;}$$

$$G_8 = 144\,290,96 \cdot \frac{100}{100 - 18} = 175\,964,58 \text{ т.}$$

9. Первичная переработка массы:

$$R_9 = 144\,290,96 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 725,08 \text{ т;}$$

$$H_9 = 144\,290,96 + 725,08 = 145\,016,04 \text{ т;}$$

$$G_9 = 145\,016,04 \cdot \frac{100}{100 - 18} = 176\,848,83 \text{ т.}$$

10. Смешивание:

$$R_{10} = 145\,016,04 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 728,72 \text{ т;}$$

$$H_{10} = 145\,016,04 + 728,72 = 145\,744,76 \text{ т;}$$

$$G_{10} = 145\,744,76 \cdot \frac{100}{100 - 18} = 177\,737,51 \text{ т.}$$

Рассчитаем массу сырьевых материалов в соответствии с принятым рецептом шихты:

$$H_{10 \text{ глина}} = 145\,744,76 \cdot 0,57 = 83\,074,5 \text{ т;}$$

$$H_{10 \text{ суглинки}} = 145\,744,76 \cdot 0,2 = 29\,148,95 \text{ т;}$$

$$H_{10 \text{ гран. отсева}} = 145\,744,76 \cdot 0,03 = 4372,34 \text{ т};$$

$$H_{10 \text{ ОФС}} = 145\,744,76 \cdot 0,2 = 29\,148,95 \text{ т}.$$

11. Измельчение глины:

$$R_{11} = 83\,074,5 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 417,46 \text{ т};$$

$$H_{11} = 83\,074,5 + 417,46 = 83\,491,96 \text{ т};$$

$$G_{11} = 83\,491,96 \cdot \frac{100}{100 - 22} = 107\,040,97 \text{ т}.$$

12. Транспортировка глины:

$$R_{12} = 83\,491,96 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 419,56 \text{ т};$$

$$H_{12} = 83\,491,96 + 419,56 = 83\,911,52 \text{ т};$$

$$G_{12} = 83\,911,52 \cdot \frac{100}{100 - 22} = 107\,578,87 \text{ т}.$$

13. Склад глины:

$$R_{13} = 83\,911,52 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 421,66 \text{ т};$$

$$H_{13} = 83\,911,52 + 421,66 = 84\,333,18 \text{ т};$$

$$G_{13} = 84\,333,18 \cdot \frac{100}{100 - 22} = 108\,119,46 \text{ т}.$$

14. Измельчение суглинок:

$$R_{14} = 29\,148,95 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 146,47 \text{ т};$$

$$H_{14} = 29\,148,95 + 146,47 = 29\,295,42 \text{ т};$$

$$G_{14} = 29\,295,42 \cdot \frac{100}{100 - 20} = 36\,619,27 \text{ т}.$$

15. Транспортировка суглинок:

$$R_{15} = 29\,295,42 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 147,21 \text{ т};$$

$$H_{15} = 29\,295,42 + 147,21 = 29\,442,63 \text{ т};$$



$$G_{15} = 29\,442,63 \cdot \frac{100}{100 - 20} = 36\,803,29 \text{ т.}$$

16. Склад суглинок:

$$R_{16} = 29\,442,63 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 147,95 \text{ т;}$$

$$H_{16} = 29\,442,63 + 147,95 = 29\,590,58 \text{ т;}$$

$$G_{16} = 29\,590,58 \cdot \frac{100}{100 - 20} = 36\,988,22 \text{ т.}$$

17. Транспортировка ОФС:

$$R_{17} = 29\,148,95 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 146,47 \text{ т;}$$

$$H_{17} = 29\,148,95 + 146,47 = 29\,295,42 \text{ т;}$$

$$G_{17} = 29\,295,42 \cdot \frac{100}{100 - 4} = 30\,516,06 \text{ т.}$$

18. Склад ОФС:

$$R_{18} = 29\,295,42 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 147,21 \text{ т;}$$

$$H_{18} = 29\,295,42 + 147,21 = 29\,442,63 \text{ т;}$$

$$G_{18} = 29\,442,63 \cdot \frac{100}{100 - 4} = 30\,669,41 \text{ т.}$$

19. Транспортировка гранитных отсеков:

$$R_{19} = 4372,34 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 21,97 \text{ т;}$$

$$H_{19} = 4372,34 + 21,97 = 4394,31 \text{ т;}$$

$$G_{19} = 4394,31 \cdot \frac{100}{100 - 2} = 4483,98 \text{ т.}$$

20. Склад гранитных отсеков:

$$R_{20} = 4394,31 \cdot \frac{0,5}{100 - 0,5} = 22,08 \text{ т;}$$

$$H_{20} = 4394,31 + 22,08 = 4416,39 \text{ т;}$$

$$G_{20} = 4416,39 \cdot \frac{100}{100 - 2} = 4506,52 \text{ т.}$$

Результаты расчета материального баланса сведем в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Сводная таблица материального баланса

Технологический передел	Абсолютные потери $R_i$ , т	Возвратное производство $S_i$ , т	Количество переработанного материала $H_i$ , т	Количество материала с учетом влажности $G_i$ , т
1. Склад готовой продукции	640,2	0	128 040,2	0
2. Сортировка	1 293,34	0	129 333,54	0
3. Обжиг	2 639,46	0	131 973,0	0
4. ППП	10 546,44	0	142 519,44	0
5. Сушка	2 908,56	2 675,87	145 428,0	190 101,96
6. Формование	1 468,97	1 410,21	146 896,97	179 142,65
7. Вторичная переработка массы	738,18	0	147 635,15	180 042,86
8. Вылеживание массы	741,89	0	144 290,96	175 964,58
9. Первичная переработка массы	718,43	0	145 016,04	176 848,83
10. Смешивание	722,04	0	145 744,76	177 737,51
11. Измельчение глины	413,63	0	83 491,96	107 040,97
12. Транспортировка глины	415,71	0	83 911,52	107 578,87
13. Склад глины	417,8	0	84 333,18	108 119,46
14. Измельчение суглинок	145,13	0	29 295,42	36 619,27
15. Транспортировка суглинок	145,86	0	29 442,63	36 803,29
16. Склад суглинок	146,59	0	29 590,58	36 988,22
17. Транспортировка ОФС	145,13	0	29 295,42	30 516,06
18. Склад ОФС	145,86	0	29 442,63	30 669,41
19. Транспортировка гранитных отсевов	21,77	0	4 394,31	4 483,98
20. Склад гранитных отсевов	21,88	0	4 416,39	4 506,52

Полученные данные по расходу сырьевых материалов с учетом их естественной влажности приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

**Расход сырьевых компонентов**

Технологический передел	Расход	
	годовой, т/год	часовой, т/ч
Склад глины	108 119,46	17,61
Склад суглинок	36 988,22	6,02
Склад ОФС	30 669,41	4,99
Склад гранитных отсеков	4 506,52	0,73

В расчете приняли, что склады сырья работают в одну смену 256 дней в году; массозаготовительное отделение – в три смены 256 дней в году; формовочное отделение – в три смены 360 дней в году; отделение обжига – в три смены 360 дней в году.

# 8

## ИСКУССТВЕННЫЕ ПОРИСТЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ

Пористыми заполнителями являются сыпучие материалы, плотность зерен которых не превышает  $800 \text{ кг/м}^3$ , а средняя насыпная плотность составляет не более  $1100 \text{ кг/м}^3$ . К таким заполнителям относятся аглопорит, керамзит, вспученный перлит и вспученный вермикулит. Сырьем для их получения служат глины, песчано-глинистые породы, трепел и др.

В табл. 8.1 приведена классификация пористых заполнителей в зависимости от характера термической обработки и применяемых сырьевых материалов.

Таблица 8.1

**Классификация пористых заполнителей**

Тип заполнителя	Характер термической обработки	Основное сырье
Аглопорит	Спекание с поризацией при обжиге	Песчано-глинистые породы, трепелы, алюмосиликатные материалы, золы ТЭС, отходы углеобогащения
Керамзит	Обжиг со вспучиванием	Глинистые и песчано-глинистые породы, аргиллиты, трепелы и др.
Перлит вспученный	Обжиг со вспучиванием	Вулканические, водосодержащие породы (перлиты, обсидианы и др.)
Вермикулит вспученный	Обжиг со вспучиванием	Природные гидратированные слюды

### 8.1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОПОРИТА

Согласно СТБ 1217-2000, выпускают аглопоритовый щебень (20–40 мм), гравий (5–20 мм) и песок (отходы) (0,5–5,0 мм), которые являются негорючими материалами и применяются в качестве заполнителей при приготовлении легких бетонов по ГОСТ 25820 и сили-

катных бетонов по ГОСТ 25214, а также теплоизоляционных засыпок. Предельные значения марок по насыпной плотности для аглопоритового песка и щебня должны соответствовать СТБ 1217 и приводятся в табл. 8.2.

Таблица 8.2

**Предельные значения марок по насыпной плотности**

Марка щебня по насыпной плотности	Марка песка по насыпной плотности	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
400	–	До 400
500	–	400–500
600	600	500–600
700	700	600–700
800	800	700–800
900	900	800–900
–	1000	900–1000
–	1100	1000–1100

В зависимости от прочности, определяемой испытанием в цилиндре, щебень подразделяется на марки по прочности, которые представлены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

**Предельные значения марок по прочности**

Марка по прочности	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	
	аглопоритового щебня	аглопоритового песка
П15	До 0,3	Не нормируется
П25	0,3–0,1	
П35	0,1–0,5	
П50	0,5–0,6	
П75	0,6–0,7	
П100	0,7–0,8	
П125	0,8–0,9	
П150	0,9–1,0	
П200	1,0–1,2	
П250	1,2–1,4	
П300	1,4–1,6	
П350	Свыше 1,6	

Аглопоритовый щебень должен выдерживать не менее 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания с потерей массы не более 3%;

быть устойчивым к раствору цемента; теплопроводность материалов должна составлять 0,2–0,3 Вт/(м · К).

**Аглопорит** представляет собой искусственный пористый материал, который получают путем термической обработки силикатного сырья – агломерацией. Это спекание в конгломерате сыпучего топливо-содержащего материала посредством его обжига с продуванием воздуха через слой материала.

Технологическая схема получения аглопорита приведена ниже (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Технологическая схема получения аглопорита

В табл. 8.4 указаны параметры производства аглопоритового гравия и щебня.

Таблица 8.4

**Параметры производства аглопоритового гравия и щебня**

Показатель	Глинистая порода, суглинки, супеси	Отходы углеобогащения	Зола ТЭС
Высота спекаемого слоя, мм	250–300	150–200	250–300
Температура, °С:			
– сушки	–	–	400–600
– подогрева	–	–	600–800
– зажигания	1000–1200	1000–1200	1000–1200
Разрежение в период, кПа:			
– зажигания	0,6–1,0	0,6–1,0	0,5–0,8
– спекания	2,5–4,0	2,5–4,0	1,5–2,5
Расход воздуха на 1 м <sup>2</sup> агломерационной решетки в период, м <sup>3</sup> /с:			
– зажигания	0,22–0,25	0,2–0,3	0,1–0,3
– спекания	0,9–1,0	0,4–0,6	0,5–0,8
– охлаждения	0,9–1,0	0,8–1,8	0,7–1,0

Для производства аглопорита используют ленточные агломерационные машины, схема устройства которых приведена на рис. 8.2.

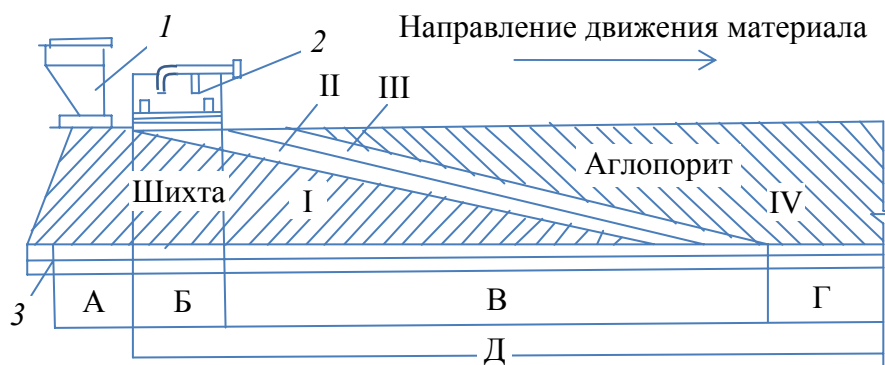


Рис. 8.2. Схема ленточной агломерационной машины:

1 – загрузочный бункер; 2 – зажигательный горн;

3 – рабочая ветвь агломерационной машины.

Технологические зоны: I – испарение влаги; II – подогрев;

III – спекание шихты; IV – охлаждение аглопорита.

Участки агломерационной ленты: А – загрузка; Б – зажигание;

В – спекание; Г – охлаждение;

Д – просос воздуха

Основные характеристики агломерационных машин марок СМ-961, СМС-117 и СМС-214 представлены в табл. 8.5.

Таблица 8.5

**Основные характеристики агломерационных машин**

Основные параметры оборудования	Марка агломерационной машины		
	СМ-961	СМС-117	СМС-214
Шихтосмеситель барабанный:			
– диаметр барабана, мм;	–	–	1800
– длина барабана, мм;	–	–	400
– частота вращения, мин <sup>-1</sup> ;	–	–	6–14
– производительность, м <sup>3</sup> /ч;	15–20	–	5–6
– мощность привода, кВт;	3,4	–	50
– масса, т	4,4	–	17
Гранулятор барабанный:		СИ-960	–
– диаметр барабана, мм;	1600	1600	2500
– длина барабана, мм;	4000	4000	5000
– частота вращения, мин <sup>-1</sup> ;	4–8	4–8	7–16
– угол наклона, °;	4–8	4–8	3
– производительность, м <sup>3</sup> /ч;	20,0	20,0	56,0
– мощность привода, кВт;	15	15	50
– масса, т	10	10	25
Агломерационная машина:			
– рабочая площадь, м <sup>2</sup> ;	60	60	150
– ширина, м;	1,5	1,5	2,5
– длина, м;	40	40	60
– максимальная высота, мм;	250	250	300
– скорость движения тележек, м/мин;	0,965–1,25	0,8–1,5	1,0–4,5
– производительность, м <sup>3</sup> /ч;	14	14–22	35–56
– мощность привода, кВт;	6	6,3	24
– масса (без футеровки горна), т	150,6	298	660
Укладчик роликовый:		СМС-118	
– ширина, мм;	–	1500	2500
– частота вращения роликов, мин <sup>-1</sup> ;	–	45	90
– диаметр роликов, мм;	–	106	140
– мощность привода, кВт;	–	11,5	7
– масса, т	–	4	4
Чашевый холодильник:			
– диаметр тарелки, м;	–	–	10
– частота вращения, мин <sup>-1</sup> ;	–	–	0,06
– производительность, м <sup>3</sup> /ч;	–	–	56
– мощность привода, кВт;	–	–	14
– масса, т	–	–	105



Кроме основных сырьевых материалов используют добавки, в качестве которых могут выступать: каменный/бурый уголь, опилки, лигнин, золы ТЭЦ, возврат (отход от производства аглопорита до 15%), известь и др. Технология изготовления аглопорита предусматривает первичную обработку сырья, которая зависит от выбора исходных материалов. Применяемое силикатное сырье должно иметь следующий химический состав, %:  $\text{SiO}_2$  – 55–86,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8–20,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – до 8,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  – до 20%.

Скорость движения ленты агломерационной машины определяется по формуле

$$V = \frac{C_{\text{в}} L}{H} = \frac{6,5 \cdot 8000}{270} = 192,6 \text{ мм/мин}, \quad (8.1)$$

где  $V$  – скорость движения ленты агломерационной машины, мм/мин;  $C_{\text{в}}$  – вертикальная скорость спекания, мм/мин;  $L$  – длина зоны агломерации, мм;  $H$  – высота слоя шихты, мм.

Вертикальная скорость спекания при скорости движения паллет 160 мм/мин рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{в}} = \frac{HV}{L} = \frac{270 \cdot 160}{8000} = 5,4 \text{ мм/мин}. \quad (8.2)$$

При такой скорости движения паллет и вертикальной скорости происходит полное спекание аглопорита.

Выход аглопорита каждой фракции находится по формуле

$$q = \frac{\gamma G}{100}, \quad (8.3)$$

где  $q$  – масса аглопорита каждой фракции, кг;  $\gamma$  – выход каждой фракции, %;  $G$  – общая масса аглопорита, полученная с определенного количества паллет, кг.

Коэффициент выхода фракционного аглопорита рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{\text{ф.а}} = \frac{\Phi}{nLbh}, \quad (8.4)$$

где  $\Phi$  – суммарный объем ( $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4$ , здесь  $\Phi_1$  – количество фракции 20–40 мм;  $\Phi_2$  – количество фракции 10–20 мм;  $\Phi_3$  – количество фракции 5–10 мм;  $\Phi_4$  – количество фракции менее 5 мм);  $n$  – количество паллет, шт.;  $L$  – длина одной паллеты, мм;  $b$  – ширина паллеты, мм;  $h$  – высота загруженного слоя, мм.

Производительность агломерационной машины вычисляется с помощью формулы

$$Q = 0,06 C_B B_a \gamma_c L_a K_a K_B, \quad (8.5)$$

где  $C_B$  – вертикальная скорость спекания, мм/мин;  $B_a$  – активная ширина агломерационной машины, м;  $\gamma_c$  – насыпная плотность сырцовых гранул, т/м<sup>3</sup> (обычно составляет 1,0–1,1 т/м<sup>3</sup>);  $L_a$  – активная длина агломерационной машины за вычетом длины зоны сушки ( $L_c$ ), м;  $K_a$  – коэффициент выхода аглопорита ( $K_a = 0,75–0,90$ );  $K_B$  – коэффициент, учитывающий часть возврата. Если в составе возврат не используется, то  $K_B = 1$ .

Длина зоны сушки  $L_c$  обычно составляет  $0,05–0,1L$ , где  $L$  – общая длина агломерационной машины, м. Длину зоны охлаждения  $L_o$  принимают равной  $0,9L$  при наличии холодильника, а при его отсутствии  $L_o = 0,4L$ .

## 8.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ МАШИНЫ

Определить производительность агломерационной машины СМ-117 по следующим данным: длина агломерационной машины составляет 40 м; вертикальная скорость спекания – 11 мм/мин; активная ширина агломерационной машины – 1,5 м. Насыпную плотность сырцовых гранул принять равной 1,05 т/м<sup>3</sup>;  $K_a = 0,8$  и  $K_B = 1$ .

*Решение.* Вычислим активную длину агломерационной машины:

$$L_a = L - L_c - L_o = 40 - 0,1 \cdot 40 - 0,4 \cdot 40 = 20 \text{ м.}$$

Найдем производительность агломерационной машины:

$$\begin{aligned} Q &= 0,06 C_B B_a \gamma_c L_a K_a K_B = \\ &= 0,06 \cdot 11 \cdot 1,5 \cdot 1,05 \cdot 20 \cdot 0,8 \cdot 1 = 16,6 \text{ т/ч.} \end{aligned}$$

Рассчитаем скорость движения паллет:

$$V = \frac{C_B L_a}{h \cdot 100} = \frac{11 \cdot 20}{0,25 \cdot 100} = 8,8 \text{ м/мин,}$$

где  $h$  – высота слоя сырцовых гранул, м (принимают равной 0,2–0,3 м).

Время термообработки определим по формуле

$$\tau = \frac{h}{C_B} = \frac{250}{11} = 0,38 \text{ ч.}$$

### 8.3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТА

К керамзиту относятся керамические материалы, которые получают вспучиванием при обжиге глинистой массы. **Вспучивание** – увеличение материала в объеме за счет образования внутренней, преимущественно замкнутой пористости. Материалами керамзитового типа являются керамзитовый гравий, песок и штучный керамзит.

Основные свойства керамзита: объемная масса, прочность, коэффициент формы, водопоглощение, морозостойкость, стойкость против известкового распада. По насыпной массе различают 12 марок керамзита, а по прочности – 2 класса (А и Б). Самая низкая марка керамзита 150 соответствует прочности 0,4 МПа (класс А) и 0,3 МПа (класс Б). Для керамзита марки 300 прочность составляет 1,0 и 0,8 МПа для класса А и Б соответственно; для марки 500 – прочность 2,5 и 1,8 МПа соответственно; для марки 800 – прочность 5,5 и 4,0 МПа соответственно. Водопоглощение керамзита до марки 400 составляет 25%, от 450 до 550 – 20%, от 600 до 800 – 15%.

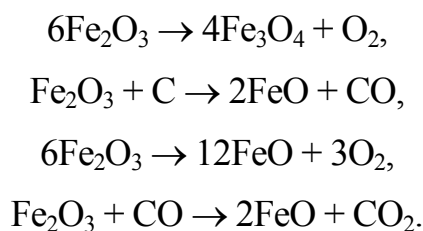
В зависимости от величины зерен различают три фракции: 5–10, 10–20, 20–40 мм. По морозостойкости керамзит должен выдерживать не менее 15 теплосмен с потерей массы не более 8%.

Основным сырьем для производства керамзита являются легкоплавкие глины, которые вспучиваются при нагревании в интервале температур 1100–1250°C. По минералогическому составу для производства керамзита используют в основном гидрослюдистые и монтмориллонитовые мелкодисперсные глины с содержанием глинистых частичек 75–100% (высоковспучивающиеся), 50–75% (средневспучивающиеся), менее 50% (слабовспучивающиеся). По химическому составу глины должны содержать  $\text{SiO}_2$  – менее 60%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 14–20%,  $\text{CaO} + \text{MgO}$  – менее 7%,  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6–10%,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – 3–5%.

Процесс вспучивания состоит из двух стадий:

- спекание с образованием закрытых пор;
- собственное вспучивание под давлением газов, выделяющихся внутри закрытых пор.

Основное условие обеспечения вспучивания глинистых пород при термообработке – совмещение во времени пиропластического состояния и интенсивного газовыделения. Основным источником газовыделений при термообработке являются реакции разложения и восстановления оксида железа, схема которых представлена ниже:



Добавка в глины железистых примесей (например, пиритных огарков), а также органических веществ (уголь, соляровое масло, мазут) увеличивает способность глин к вспучиванию. В производстве керамзитового гравия для улучшения свойств сырья или повышения качества готовой продукции применяют добавки, которые приведены в табл. 8.6.

Таблица 8.6

**Добавки, используемые при производстве керамзита**

Назначение	Физическое состояние	Способ введения	Количество, %
Повышающие прочность керамзита	Жидкие: – диаммонийфосфат (раствор)	На поверхность гранул	1–3
	Твердые: – золы ТЭС, пирит, опоки, трепелы, тугоплавкие высокопластичные глины, шламы	В шихту в виде порошка, шликера	3–50
Повышающие вспучиваемость сырья (снижающие плотность керамзита)	Жидкие: – органические (мазут, пиролизная смола, сульфатное мыло, лигносульфаты технические, нафтеновые кислоты, кислая смола)	В шихту в виде растворов или эмульсий	1–6
	– неорганические (раствор хлористого кальция, бентонитовые глины)	То же	1–20
Повышающие вспучиваемость сырья (снижающие насыпную плотность керамзита)	Твердые: – органические в виде порошка для корректировки состава шихты (уголь, торф, опилки, сульфатный шлам-лигнин, сапропель)	В шихту	1–3
	– неорганические в виде порошка (алунитовая порода, серные соли щелочных или щелочноземельных металлов, пиритные огарки)	То же	2–20
	– неорганические в виде порошка для нанесения на поверхность гранул (каолин, огнеупорная и тугоплавкая глины, цемент, шамотная пыль и др.)	В печь в зону обжига либо на гранулы керамзита	1,5–3,0

**Механизм вспучивания** – это переход из твердого в пиропластическое состояние при повышении температуры за счет образования легкоплавких эвтектик и взаимодействия жидкой и твердой фаз. Количественно процесс вспучивания характеризуется коэффициентом вспучивания.

Объем пор, образующихся при вспучивании керамзита, рассчитывается следующим образом:

$$V_{\text{пор}} = \frac{4}{3} \pi r^3 N, \quad (8.6)$$

где  $r$  – радиус пор, мм;  $N$  – количество пор.

Пористость до и после обжига находится как соотношение

$$E = K_{\text{в}} \frac{\Pi_2}{\Pi_1}, \quad (8.7)$$

где  $K_{\text{в}}$  – коэффициент, учитывающий часть возврата;  $\Pi_2$  и  $\Pi_1$  – пористость после и до обжига соответственно;  $E$  – коэффициент расширения пор, равный:

$$E = \frac{V_2}{V_1}, \quad (8.8)$$

где  $V_2$  – объем материала после вспучивания, м<sup>3</sup>;  $V_1$  – исходный объем материала, м<sup>3</sup>.

Коэффициент вспучивания определяется отношением объемной массы сухих и вспученных гранул:

$$K_{\text{всп}} = \frac{\gamma_0^{\text{г}}(1 - 0,01\text{ППП})}{\gamma_0^{\text{к}}}, \quad (8.9)$$

где  $\gamma_0^{\text{г}}$  и  $\gamma_0^{\text{к}}$  – объемная масса соответственно сухой и вспученной гранулы; ППП – потери при прокаливании.

Коэффициент выхода – это насыпной объем керамзитового гравия, полученного из 1 м<sup>3</sup> сухих гранул. Связь между коэффициентом вспучивания и выхода выражается зависимостью вида

$$K_{\text{вых}} = \frac{K_{\text{всп}}}{(1 - 0,01\text{ППП}) \frac{100 - V_{\text{п}}^{\text{к}}}{100 - V_{\text{п}}^{\text{г}}} K_{\text{nd}} K_{\text{nt}}}, \quad (8.10)$$

где  $V_{\text{п}}^{\text{г}}$  и  $V_{\text{п}}^{\text{к}}$  – объем межзерновых пустот в глиняных гранулах и керамзите соответственно, %;  $K_{\text{nd}}$  – коэффициент неоднородности

диаметра гранул керамзита, или отношение насыпной массы всех гранул к фракции 20–40 мм (принимается 1,2–1,3);  $K_{nt}$  – коэффициент неравномерности обжига, учитывающий изменения объемного веса керамзита (равен 1,2–1,5).

Различают четыре основных способа производства керамзита: шликерный, сухой, порошково-пластический и пластический.

*Шликерный метод* подготовки массы используется при высоком содержании карбонатов и высокой влажности глины. Данный способ подготовки требует тщательного перемешивания глины с добавками. Подготовка массы осуществляется в следующей последовательности (рис. 8.3).



Рис. 8.3. Подготовка массы при шликерном способе производства керамзита

Для первичного измельчения можно применять валково-зубчатые дробилки, дезинтеграторные вальцы и др. Емкость глиноболтушки составляет до 35 м<sup>3</sup>. Для разжижения шликера добавляют электролиты (жидкое стекло и сода) и горячую воду от скрубберной очистки. Недостаток метода – повышенный расход топлива и невысокая производительность.

*Сухой способ* переработки сырья и приготовления гранул применяется в производстве однородного плотного (камнеподобного) гли-

нистого сырья (глинистые сланцы, аргиллиты и др.) и реже рыхлого сырья пониженной влажности, не требующих ввода добавочных материалов. При данном методе глиняные гранулы не формируются, а образуются дроблением и рассевом карьерной глины, которая не должна содержать включений известняка, так как при этом способе удалить их из глины невозможно.

Исходное сырье проходит две ступени измельчения:

1) до размера зерен 100–300 мм;

2) сортировка по фракциям 2–5, 5–10, 10–20 мм на грохотах, или ситобурате.

Дробильно-сортировочный узел устанавливается непосредственно в карьере. Подготовка производится в следующей последовательности: ящичный питатель → зубчатые вальцы → сушильный барабан → грохот → вращающаяся печь.

По *порошково-пластическому способу* вначале помолом сухого глинистого сырья получают порошок, а потом из этого порошка при добавлении воды получают пластическую массу, из которой формируют гранулы.

Необходимость помола связана с дополнительными затратами. Кроме того, если сырье недостаточно сухое, требуется его сушка перед помолом. Но в ряде случаев этот метод подготовки сырья целесообразен: если сырье неоднородно по составу, то в порошкообразном состоянии его легче перемешать и гомогенизировать; если требуется вводить добавки, то при помоле их легче равномерно распределить; если в сырье есть вредные включения зерен известняка, гипса, то в размолотом и распределенном по всему объему состоянии они уже не опасны; если такая тщательная переработка сырья приводит к улучшению вспучивания, то повышенный выход керамзита и его более высокое качество оправдывают произведенные затраты.

При *пластическом способе* производства керамзита коэффициент вариации пластической прочности составляет 5–10%. Исходя из значения коэффициента вариации подбирают соответствующее оборудование с учетом влажности сырья и влажности сырьевых компонентов на переделах. Эти свойства определяются по значению коэффициента консистенции, который находится по формуле

$$K = \frac{W - W_p}{W_{пл}}, \quad (8.11)$$

где  $W$  – влажность сырья, %;  $W_p$  – влажность сырья на переделах, %;  $W_{пл}$  – число пластичности глин, %.

Технологическая схема производства керамзита пластическим способом приведена ниже (рис. 8.4).



Рис. 8.4. Технологическая схема производства керамзита пластическим способом



Обжиг керамзита осуществляется во вращающихся печах размером 2,5×40 и 2,3×22 м. Схема процессов, происходящих при обжиге керамзита во вращающейся печи, представлена на рис. 8.5.

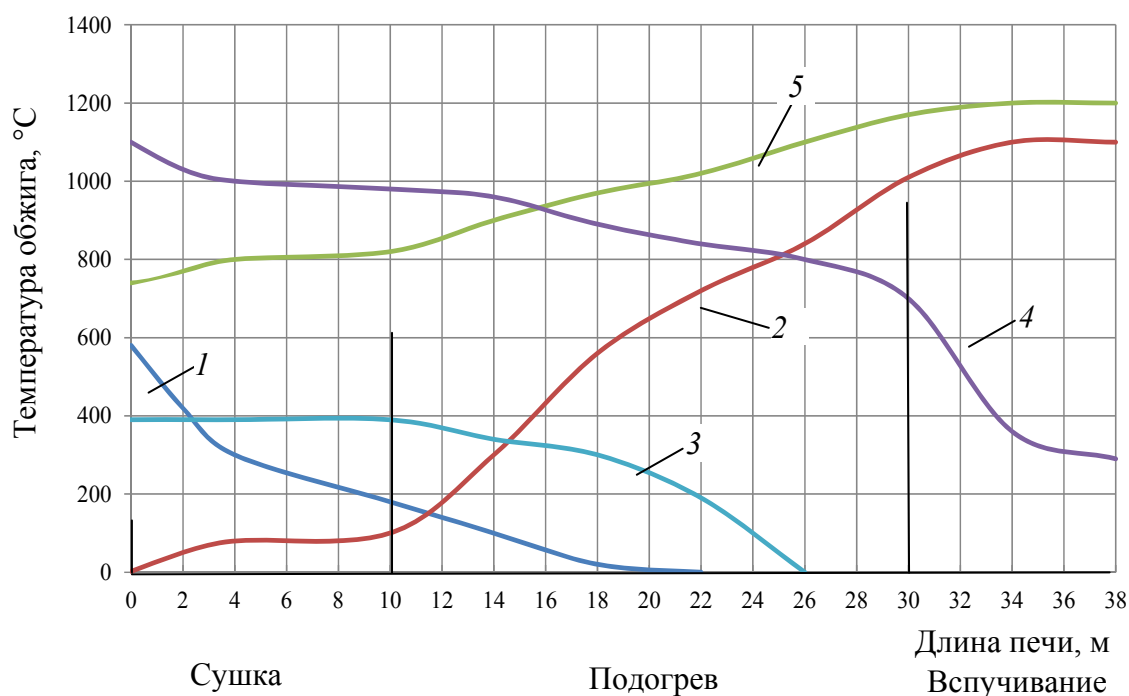


Рис. 8.5. Схема процессов, происходящих во вращающейся печи при обжиге керамзита:

- 1 – кривая удаления гигроскопической влаги; 2 – кривая нагрева материала;
- 3 – кривая изменения потерь при прокаливании; 4 – кривая изменения плотности материала; 5 – кривая изменения температуры газов в зонах печи

В зоне подогрева происходит реакция дегидратации, выгорания неорганических примесей. Скорость нагревания составляет до 30°С/мин в зависимости от размера гранул, время выдержки при 500°С – от 3 до 10 мин. На втором этапе обжига (от 500 до 1300°С) скорость подъема температуры достигает 100°С/мин. В результате гранулы приобретают пиропластическое состояние и происходит их вспучивание.

## 8.4. ПРИМЕР РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТА

Шихтовой состав массы включает, %: глина Витебская – 97, мазут – 3. Химический состав глины представлен оксидами, %: SiO<sub>2</sub> – 47,5, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 10,4, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 23,1, CaO – 6,6, MgO – 3,3, ППП – 10.

Определим часовую производительность по формуле

$$Q_1 = \frac{Q_{\text{пр}} \cdot 1000}{T_{\text{год}} K_{\text{и}}} = \frac{200 \cdot 1000}{8760 \cdot 0,94} = 24,29 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $Q_{\text{пр}}$  – производственная мощность,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $T_{\text{год}}$  – годовое количество рабочих часов;  $K_{\text{и}}$  – коэффициент использования годового фонда рабочего времени.

Тогда массовая производительность составит:

$$G_1 = Q_1 \gamma_{\text{кер}} = 24,29 \cdot 400 = 9716 \text{ кг/ч}.$$

Рассчитаем количество сухой глины по следующей формуле:

$$G_2 = G_1 \frac{1}{1 - \frac{\text{ППП} + B_{\text{ун}}}{100}} = 9716 \cdot \frac{1}{1 - \frac{10 + 20}{100}} = 13\,880 \text{ кг/ч},$$

где ППП – потери при прокаливании, %;  $B_{\text{ун}}$  – величина уноса, % (принимается равной 20%).

Найдем количество влажной глины по формуле

$$G_3 = G_2 \frac{1}{1 - \frac{W}{100}} = 13\,880 \cdot \frac{1}{1 - \frac{8}{100}} = 15\,086,96 \text{ кг/ч},$$

где  $W$  – относительная влажность полуфабриката, %.

Определим количество испаряемой влаги с помощью следующей формулы:

$$G_4 = \frac{G_3 W}{100} = \frac{15\,086,96 \cdot 8}{100} = 1206,9 \text{ кг/ч}.$$

Тогда объем испаряемой влаги составит:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{G_4}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1206,9}{0,804} = 1501,1 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Потери массы при прокаливании вычислим из выражения

$$G_5 = \frac{G_2 \text{ППП}}{100} = \frac{13\,880 \cdot 10}{100} = 1388 \text{ кг/ч}.$$

Найдем массу уноса по следующей формуле:

$$G_6 = \frac{G_2 B_{\text{ун}}}{100} = \frac{13\,880 \cdot 20}{100} = 2776 \text{ кг/ч}.$$

Рассчитаем массу гидратной воды, выходящей из сырья, используя формулу

$$G_7 = G_2 \frac{\text{ППП} - \text{CO}_2}{100} = 13\,880 \cdot \frac{10 - 8,78}{100} = 169,34 \text{ кг/ч.}$$

Тогда объем гидратной воды равен:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{G_7}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{169,34}{0,804} = 210,6 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Вычислим массу углекислого газа, выделившегося из сырья, на основании следующей формулы:

$$G_8 = \frac{G_2 \cdot \text{CO}_2}{100} = \frac{13\,880 \cdot 8,78}{100} = 1218,66 \text{ кг/ч.}$$

Тогда объем выделившегося углекислого газа составит:

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{G_8}{\rho_{\text{CO}_2}} = \frac{1218,66}{1,977} = 616,42 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Определим количество сырых гранул по формуле

$$Q_2 = \frac{G_2}{\rho_{\text{сыр}}} = \frac{13\,880}{1400} = 9,91 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Удельный расход сырья найдем по следующей формуле:

$$k = \frac{G_2}{G_1} = \frac{9,91}{24,29} = 0,408.$$

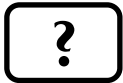
Сводный материальный баланс приведен в табл. 8.7.

Таблица 8.7

**Материальный баланс производства керамзита**

Приход материала	кг/ч	%	Расход материала	кг/ч	%
1. Загрузка сырцовыми гранулами	15 086,96	97	1. Количество испаряемой влаги	1 206,9	7,76
2. Мазут	465,07	3	2. Количество выделившегося углекислого газа	1 218,66	7,84
			3. Количество выделившейся гидратной воды	169,34	1,09
			4. Пылеунос	2 776,0	17,85
			5. Готовый продукт	9 716,0	62,47

Приход материала	кг/ч	%	Расход материала	кг/ч	%
			6. Продукты горения ма-зута	465,07	2,99
<i>Итого</i>	15 552,03	100	<i>Итого</i>	15 551,97	100



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Приведите классификацию и назначение искусственных пористых заполнителей.
2. В чем состоит сущность процесса агломерации?
3. Назовите основные свойства аглопоритового щебня и песка.
4. Дайте характеристику основных сырьевых материалов для изготовления аглопорита.
5. Опишите технологический процесс подготовки шихты аглопорита.
6. В чем заключаются особенности спекания и охлаждения аглопорита?
7. Приведите схему рабочего процесса ленточной агломерационной машины.
8. Назовите основные свойства керамзита и его отличия от аглопорита.
9. Поясните основы теории вспучивания глин.
10. Перечислите основные факторы, обуславливающие газотворную способность возникновения пиропластического состояния глин.
11. Какое влияние оказывает интенсивность нагрева гранул на их вспучиваемость?
12. Как определяются коэффициенты вспучивания и выхода керамзита?
13. Назовите технологические операции при пластическом способе подготовки керамзитовых гранул.
14. В чем заключаются особенности шликерного способа производства керамзита?
15. Как происходит сушка, обжиг и охлаждение керамзитового гравия?
16. Перечислите основные способы снижения объемной массы и повышения прочности керамзита.

# 9

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРЕПИЦЫ

Черепица относится к кровельному материалу и подразделяется на пазовую, штампованную, ленточную, плоскую, коньковую, S-образную и др. По размерам черепица выпускается следующих видов, мм: 310×190, 339×210, 160×155 и 333×220.

К черепице предъявляются следующие требования: она должна быть водонепроницаемая (водопоглощение менее 10%), морозостойкость – более 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания, прочность при изгибе – не менее 7 МПа.

Для производства черепицы используются высокопластичные глины, шамот и другие материалы. Глинистое сырье для производства черепицы должно иметь число пластичности 15–25, воздушную усадку не более 8%, общую усадку при температуре обжига 950–1080°С не более 12%, хорошую связность, необходимую для получения прочного полуфабриката, и малую чувствительность к сушке.

В производстве черепицы применяют различные добавочные материалы: песок, шамот, дегидратированную глину, каолин и др. Песок не должен содержать посторонних включений и фракций размером более 1,2 мм, а также пылевидных частиц менее 0,1 мм. Вводят песок в массу в количестве 15–25%. Шамот, получаемый измельчением боя кирпича и черепицы, вносят в массу в количестве 10–20%, дегидратированную глину – 20–40%.

Для подготовки массы используется как шликерный, так и пластический способ. При содержании крупных известковых включений целесообразно производить подготовку глины по сухому методу: сушка → помол → сепарация.

Пластический способ формования наиболее старей. При его использовании применяют массу влажностью 18–19%. Формование осуществляется в вакуумных прессах, что способствует повышению механической прочности труб в высушенном состоянии и снижению температуры спекания. Удельное давление при формовании составляет 10 МПа.

Пазовая, коньковая черепица прессуются на допрессовочных прессах в металлических или гипсовых формах из порошка влажностью не более 8%. Металлические формы смазываются смесью керосина и стеарина. Можно также использовать и электроосмотическую форму, в которой глина помещается под плюсом, а матрицы пресса – под минусом. Отформованную черепицу подвергают отделке, обрезают заусеницы, пробивают технологические отверстия.

Сушку черепицы необходимо проводить при высокой влажности и низкой температуре теплоносителя. Сушка осуществляется на стеллажах в камерных или туннельных сушилках. Продолжительность сушки составляет 1–5 сут. Влажность после сушки равна  $(6 \pm 1)\%$ . На вагонетках с девятого ряда полок по высоте размещается черепица. Длина сушилки составляет 30–36 м, ширина – 1,1–1,4 м, высота – 1,5–1,7 м. Ускорить сушку черепицы можно, если поместить рамки под углом  $60^\circ$ .

При необходимости выпуска цветной черепицы ее покрывают ангобом или глазурью после формования или после сушки. Для этого на свежесформованную черепицу методом пульверизации наносят тонкий слой ангоба в виде шликера. Затем покрытую ангобом черепицу сушат и направляют на обжиг. При наличии в сырье растворимых солей наносить ангоб или глазурь лучше на высушенную черепицу. Черепицу покрывают вручную обливанием или при помощи пистолета-распылителя, а также механически – на круговом пластинчатом конвейере методом пульверизации.

При садке в печь черепицу устанавливают на ребро в пакетах. Каждая пара черепицы укладывается шипами внутрь. Обжигают черепицу в кольцевых или туннельных печах. Расход условного топлива на 1000 шт. составляет 180–230 кг. Обжиг длится 32 ч при температуре  $1000^\circ\text{C}$ . Чтобы придать черепице блестящий вид, ее покрывают прозрачной глазурью, вводя в печь при обжиге поваренную соль.

В последние годы на зарубежных предприятиях в шихту вводят гальваношламы в количестве до 2% и тонкомолотый антрацит до 2%. В общем расход материала на 1000 шт. коньковой черепицы составляет: глина –  $2 \text{ м}^3$ , топливо – 960 кг, электроэнергия – 860 кВт/ч.

Для производства черепицы используется оборудование фирмы «Морандо». Технологическая схема производства коньковой и марсельской черепицы приведена на рис. 9.1.

Производство черепицы (марсельской, S-образной, коньковой и др.) можно осуществлять с использованием пластической технологии подготовки масс и современного оборудования, технологическая схема которой состоит из следующих технологических операций (рис. 9.2).

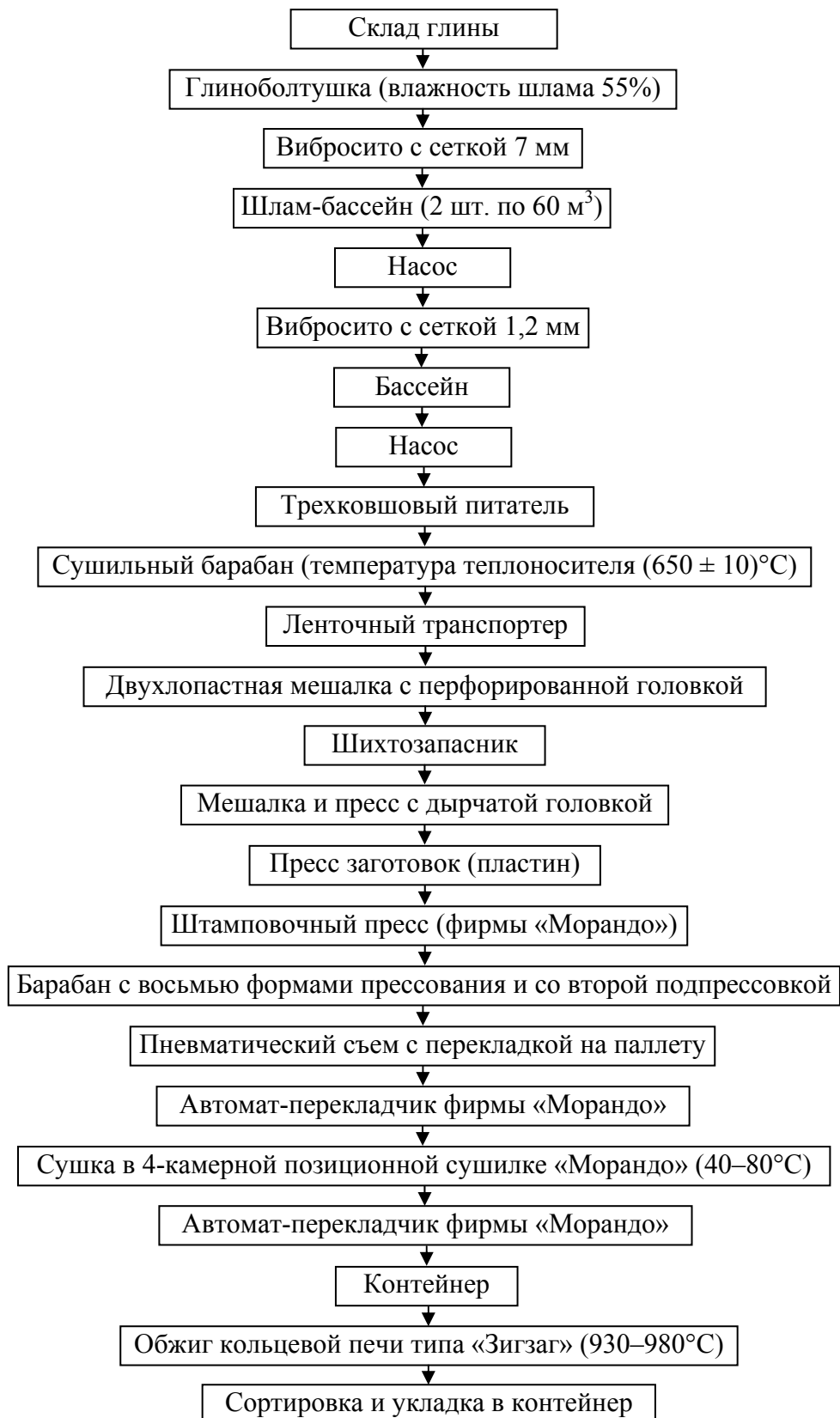


Рис. 9.1. Технологическая схема производства коньковой и марсельской черепицы

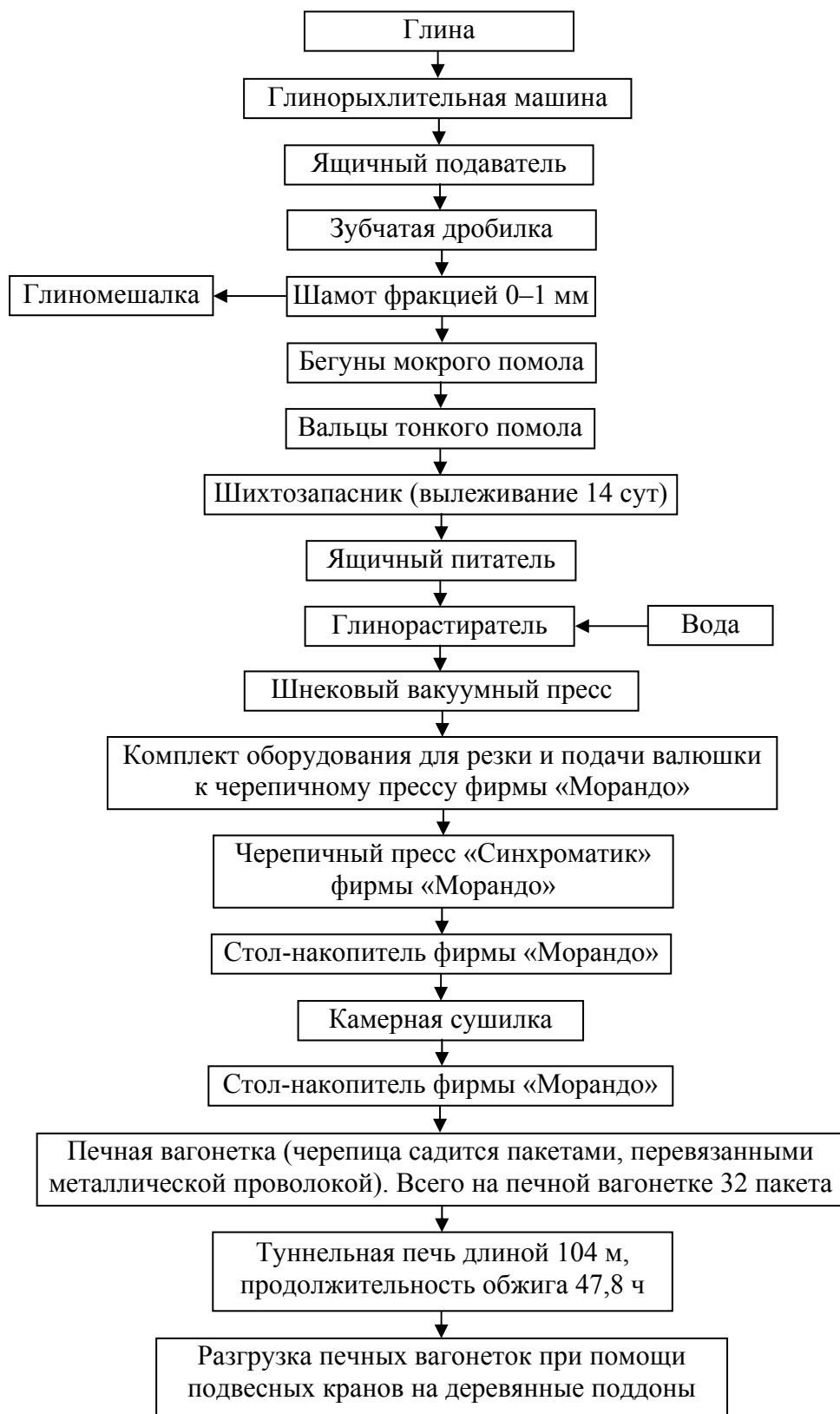
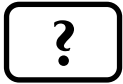


Рис. 9.2. Технологическая схема подготовки массы пластическим способом





## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чем заключается назначение и каковы технические требования, предъявляемые к керамической черепице?
2. Перечислите основные виды черепицы.
3. Какие основные сырьевые материалы используются в производстве черепицы?
4. Назовите основные технологические операции при подготовке массы пластическим способом.
5. Приведите технологическую схему производства черепицы при подготовке массы шликерным способом.
6. Перечислите особенности формования ленточной, пазовой, S-образной, коньковой черепицы.
7. В чем заключается ангобирование и глазурирование черепицы?
8. Каков режим сушки и обжига черепицы?

# 10

## ХИМИЧЕСКИ СТОЙКАЯ КЕРАМИКА

*Химически стойкой керамикой* является керамика, обладающая стойкостью к воздействию различных химических реагентов в жидком и газообразном состоянии. К наиболее распространенным реагентам относятся минеральные кислоты (серная, соляная, азотная), а также растворы щелочей. Керамические изделия, противостоящие действию указанных химических реагентов, называют кислото- и щелочестойкими.

Кристаллический муллит  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , образующийся при обжиге, является наиболее кислотостойким. По его количеству оценивают химическую стойкость изделий. Практически ее величину определяют путем кипячения керамических порошков в концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaOH}$  по потере массы. Химически стойкие керамические изделия должны обладать минимальной пористостью, которая зависит от технологических способов ее производства. Химически стойкие изделия подразделяются на три группы: шамотированные глинистые грубозернистые (кирпич, плиты); тонкозернистые (химическая аппаратура); фарфоровые (химическая аппаратура).

В табл. 10.1 приведены основные свойства кислотостойких изделий.

Таблица 10.1

**Основные свойства кислотостойких изделий**

Свойства	Группы изделий		
	грубозернистые	тонкозернистые	фарфоровые
Водопоглощение, %	2–10	0,2–3,0	0–0,5
Кажущаяся плотность, $\text{кг/м}^3$	2000–2700	2100–2250	2300–2400
Предел прочности, МПа:			
– при сжатии	30–120	80–150	400–500
– изгибе	10–20	25–70	70–100
– растяжении	6–10	15–25	25–30
Кислотостойкость, %	95–98	97,0–99,5	99,5–99,7
Термостойкость (количество теплосмен)	2–20	2–30	>15
Термический коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6, \text{C}^{-1}$	2,5–5,5	2,5–6,0	4,0–6,0

К щелочам наиболее устойчивы корунд, магнезиальная шпинель, магнезиально-силикатные массы. Химически стойкие изделия, как видно из табл. 10.1, подразделяются на грубозернистые пористого строения и тонкозернистые плотного строения.

По назначению изделия классифицируются на футеровочные, насадочные и химическую аппаратуру. Грубозернистые изделия используются для футеровки и защиты химических аппаратов и конструкций. Они изготавливаются из грубозернистых масс в форме кирпича или плит. Кирпич размером 230×113×65 мм – прямой, 230×113×65×65 мм – клиновой торцевой, 230×113×65×55 мм – клиновой рядовой. Независимо от формы кирпич должен обладать следующими свойствами: кислотостойкость – 94–96%, водопоглощение – 8–10%, предел прочности при сжатии – 20–25 МПа, термостойкость – две теплосмены. Химически стойкие керамические плитки обладают не только высокой химической стойкостью, но и термостойкостью, что достигается введением в массы различных добавок.

Плитки подразделяются на пять классов в зависимости от назначения: КШ – кислотоупорные шамотные; КФ – кислотоупорные фарфоровые; ТКШ – термокислотоупорные шамотные; ТКД – термокислотоупорные дунитовые; КС – кислотоупорные сухого прессования. Марки и основные свойства плиток приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2

**Марки и основные свойства химически стойких керамических плиток**

Свойства	Марка плиток				
	КШ	КФ	ТКШ	ТКД	КС
Водопоглощение, %	8	0,5	8	3	5
Кислотостойкость, %	97	99	97	98	96
Предел прочности, МПа:					
– при сжатии	40	130	400	100	30
– изгибе	10	30	10	20	10
Термостойкость (количество теплосмен)	2	2	8	15	2

Химическая аппаратура бывает двух типов: аппараты без движущихся частей и аппараты с движущимися деталями.

К первой группе относятся ванны, котлы, трубы и др.; ко второй группе – насосы, мешалки и др.

Химическую аппаратуру получают из тонкодисперсных высокопластичных масс методом пластического формования и литья в гипсовые формы. Главным сырьевым компонентом является спекающиеся

огнеупорные и тугоплавкие глины с содержанием 20–35%  $Al_2O_3$ , 55–65%  $SiO_2$ . К вредным примесям относятся крупные железистые включения в виде пирита, сидерита. В состав массы вводят также кварцевый песок, тальк, дунит, карбид кремния и др. Состав массы представлен 60–70% глины и 30–40% шамота. В плитки также вводят указанные выше добавки. Схема получения грубозернистых кислотоупорных изделий приведена ниже (рисунок).

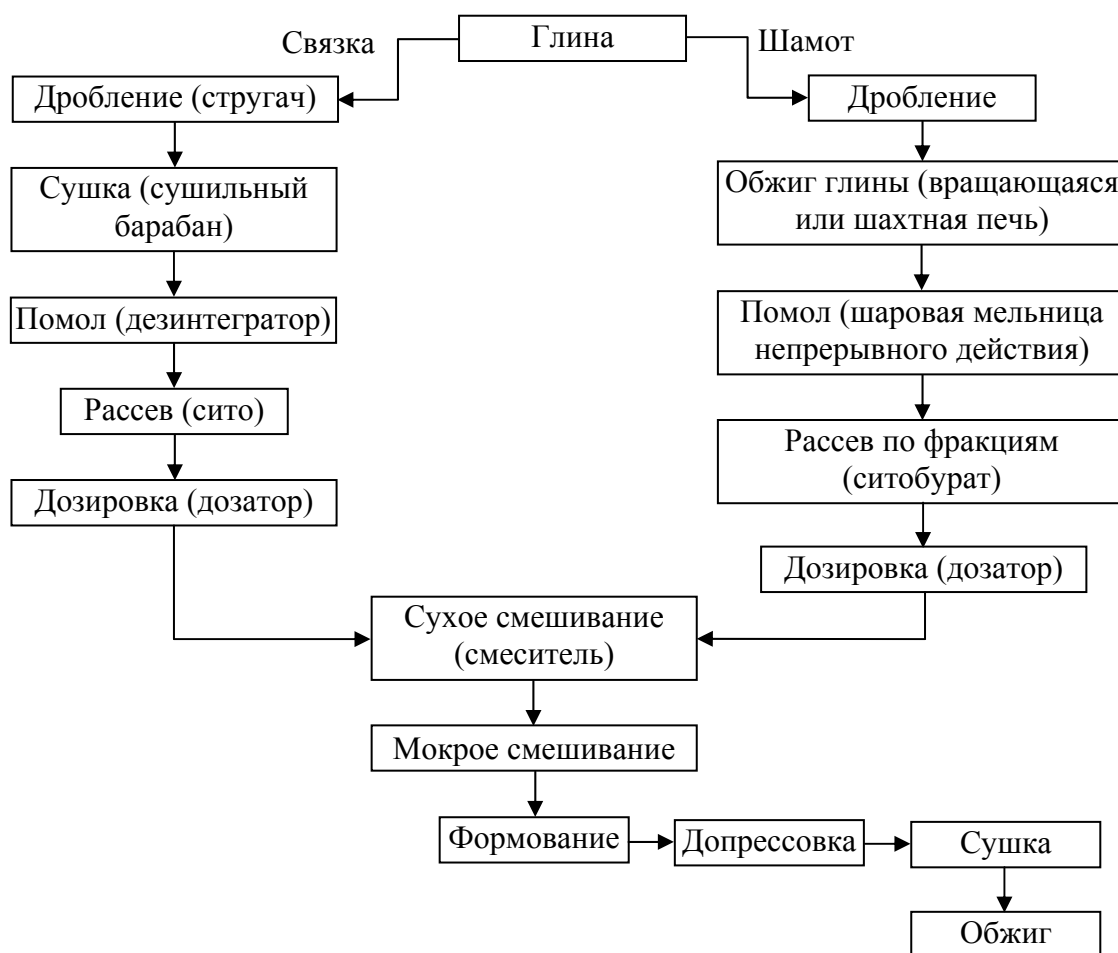


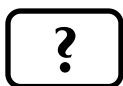
Схема получения грубозернистых кислотоупорных изделий

Шамот должен иметь водопоглощение 4–6%, поэтому его обжигают до большей плотности. Особенность введения добавок заключается в том, что их вносят на стадии смешивания. Изделия сложной конфигурации формуют на допрессовочных прессах. Влажность массы составляет 17–18%, давление – 2–3 МПа. Плитки можно формовать без допрессовки пакетным способом на ленточных вакуумных прессах. Перемычку в пакетах разрезают резательным полуавтоматом.

Однако данный метод устарел, и пакеты получают из порошков путем прессования на гидравлических прессах. Отформованные изделия высушивают, а затем обжигают при температуре 1200°C.

Химическую аппаратуру изготавливают из тонкодисперсных масс с интервалом спекания выше 100°C, водопоглощение готовых изделий составляет 1–3%. Изделия простой формы получают пластическим способом, а сложной – литьем в гипсовые формы.

В этом случае подготовка массы схожа с подготовкой фарфоровой массы. Для повышения теплопроводности в состав массы вводят корунд или карборунд; для увеличения механической прочности – пиррофиллит. Химическую аппаратуру покрывают химически стойкими глазурями, обжиг ведется при температуре 1300°C.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чем заключается назначение и каковы свойства химически стойких керамических изделий?

2. Назовите основные сырьевые материалы, используемые для производства химически стойких керамических изделий.

3. Перечислите способы производства химически стойких грубозернистых керамических изделий.

4. В чем заключаются особенности производства химически стойких тонкозернистых керамических изделий?

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗРАЗЦОВ

С лицевой стороны изразцы покрываются глазурью, с внутренней стороны имеется борт-румпа. Изразцы могут быть гладкими и рельефными, прямыми и угловыми. По размерам и форме изразцы подразделяются на московские большие –  $400 \times 220 \times (55-60)$  мм; ростовские средние и малые –  $335 \times 220 \times (50-55)$  мм и  $240 \times 220 \times (50-55)$  мм; рустик со срезанными ребрами –  $130 \times 205 \times 45$  мм; уступы –  $220 \times 90$  мм и цоколь –  $220 \times 150 \times 35$  мм. Толщина плиты с румпой составляет 55–60 мм.

Печные изразцы должны выдерживать быстрое нагревание, не трескаться и не давать цека на глазури. Основные требования к изделиям: в изломе не должно быть трещин и пустот; лицевая поверхность должна быть гладкой; коэффициент линейного расширения черепка должен согласовываться с коэффициентом линейного расширения глазури; глазурь должна равномерно покрывать лицевую поверхность изделия и прочно с ней сцепляться.

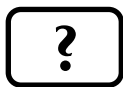
Основным сырьем служат огнеупорные, тугоплавкие и мергелистые глины. Глина должна быть малочувствительной к сушке, обладать хорошими формовочными свойствами. В качестве отошителя используется кварцевый песок. Для подбора глазури в глину вводят известь в виде мела (мергеля). Глинистый мергель улучшает сцепление глазури с черепком. Если глина отвечает всем требованиям, то мел не добавляется. Содержание  $\text{CaCO}_3$  допускается до 20–35%.

Для формования изделий лучше использовать глину, которая подвергалась климатической обработке (вымораживанию). При пластическом способе после измельчения глины добавляют 50–60% воды. При сухой подготовке глина сушится до 8–10%. После размола и дозирования при перемешивании с отошающими добавками увлажняется до 18–22%.

В румпе должны быть сделаны отверстия для крепления к стене. Изразцы обжигают по технологии двукратного обжига. Температура утильного обжига составляет 900–920°C. После первого обжига изразцы шлифуют на шлифовальных дисках производительностью до

2000 шт./смена. Перед тем как нанести глазурь, изразцы очищают от пыли. Глазурь производится в специальной машине и транспортируется мембранным насосом к месту ее нанесения. В основном применяют глазури светлых тонов. После глазурования изразцы укладывают лицевыми сторонами друг к другу. Для обжига используют туннельные и муфельные печи. Обожженные изразцы должны иметь гладкую поверхность и не иметь трещин. Термические коэффициенты линейного расширения глазури и черепка должны совпадать.

Технологическая схема производства изразцов приведена в приложении 4.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Назовите основные требования, предъявляемые к керамическим изразцам.
2. Приведите классификацию и назначение изразцов.
3. Как производится выбор сырьевых материалов и глазури для производства изразцов?
4. Перечислите способы подготовки керамической массы при производстве изразцов.
5. Назовите технологические особенности производства изразцов пластическим способом.
6. В чем заключаются особенности формования, сушки и обжига керамических изразцов?

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ

Дренажные трубы применяются при мелиоративных работах, осушении переувлажненных почв, в дорожном строительстве и других отраслях промышленности.

В соответствии с требованиями ГОСТ 8411–74 «Трубы керамические дренажные. Технические условия» трубы должны иметь длину 333–500 мм, внутренний диаметр 25–300 мм при толщине стенок 8–24 мм. Они могут быть шестигранными и круглыми, иметь перпендикулярный срез к продольной оси. Внутренняя поверхность трубы гладкая, а в изломе – однородная структура. Пористость трубы должна составлять 18–20%. Для повышения водопроницаемости внутри труб делают канавки, а также продольные прорезы, что позволяет увеличить водозахват до 96 л/мин на 1 м. Разрушающая нагрузка должна быть не менее 1,47–1,96 МПа. Трубы должны выдерживать гидравлическое давление не менее 0,049 МПа, морозостойкость – не менее 15 циклов. Трубы должны противостоять истиранию минеральными частицами, обладать высокой стойкостью против действия агрессивных грунтовых вод.

Производство дренажных труб аналогично получению керамического кирпича. Технологическая схема производства дренажных труб приведена в приложении 5.

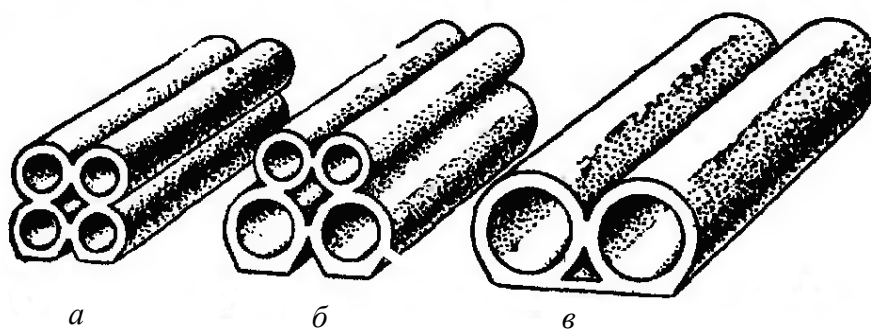
Сырьем для изготовления дренажных труб служат легкоплавкие немергелистые глины и суглинки, не содержащие зерен известняка размером более 1,5 мм и каменистых включений.

Для производства дренажных труб большого диаметра используют в основном легкоплавкие пластичные глины (число пластичности более 15, воздушная усадка 4–9%, температура спекания 1050–1150°C). Малопластичные глины (число пластичности 7–15) или суглинки применяют в производстве труб малого диаметра (40–75 мм). В качестве отощителей используют кварцевый песок, бой дренажных труб. В производстве труб диаметром свыше 125 мм применяют шамот, дегидратированную глину размером частиц бо-



лее 2 мм. Для повышения пористости добавляют 2–3% тонкомолотого угля.

Переработку исходных сырьевых материалов и формование труб проводят по пластической технологии. Формуют трубы на ленточных вакуумных прессах отдельным и пакетным способами. В одном пакете при диаметре трубы 50 мм – 4 шт., 75 мм – 3 шт., 100 мм – 2 шт., при диаметре более 125 мм – по одной трубе (рисунок). Цикл формования трубы составляет 0,2–0,3 с. Трубы в формуемых пакетах разделены тонкими перемышками, что позволяет повысить плотность садки при сушке и обжиге.

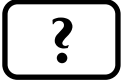


Пакеты из труб различного диаметра:  
*a* – 50 мм; *б* – 50 и 75 мм; *в* – 100 мм

Поскольку дренажные трубы предназначены для приема и стока вод, то в их конструкции предусмотрены ровная обрезка края и отсутствие раструба, что позволяет при укладке труб осуществить беспрепятственное стекание воды через щели в их стыках.

Сушат дренажные трубы в туннельных противоточных сушилках: малого диаметра – в горизонтальном положении, а большого диаметра в вертикальном положении. Продолжительность сушки зависит от диаметра и составляет для труб малого диаметра до 30 ч, большого – до 60 ч. Температура теплоносителя составляет 75–90°C. Влажность труб после сушки равна 2–4%.

Обжиг труб всех размеров производится в кольцевых и туннельных печах. При совместном обжиге трубы малого диаметра вкладываются в трубы большого диаметра и обжигаются в вертикальном положении. Трубы малого диаметра обжигают, укладывая их на вагонетку с подсадкой кирпича (совмещенная садка). Температура обжига составляет 920–1050°C, продолжительность – 22–45 ч. Трубы, обжигаемые в пакетах, раскалывают на отдельные трубы и укладывают в штабеля. Съем с 1 м<sup>3</sup> печи составляет 4000–7200 шт. в месяц.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чем заключается назначение и каковы основные требования, предъявляемые к дренажным трубам?
2. Перечислите сырьевые материалы, используемые для производства труб длиной 333–500 мм малого и большого диаметра.
3. Опишите процесс переработки сырья и подготовки массы при изготовлении труб малого и большого диаметра.
4. Как происходит формование труб пакетным, отдельно пакетным и отдельным способами?
5. В чем заключаются особенности сушки и обжига дренажных труб малого и большого диаметра?

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБ

Керамические канализационные трубы относятся к изделиям с плотным, спекшимся черепком и предназначены для фекальных и канализационных агрессивных сетей. Они покрыты снаружи и внутри глазурью, водонепроницаемы и изготавливаются из огнеупорных или тугоплавких глин с добавками.

Трубы выпускают диаметром от 125 до 600 мм при длине 800, 1000, 1200, 1500 мм и толщине стенок 18–41 мм. Для монтажа трубопроводов изготавливают крестовины, тройники, отводы, переходы, пробки и муфты, которые изображены на рис. 13.1.

У каждой трубы есть раструб, а для лучшей герметизации стыков – нарезки не менее пяти витков на наружной стороне конца ствола трубы и столько же на внутренней стороне раструба.

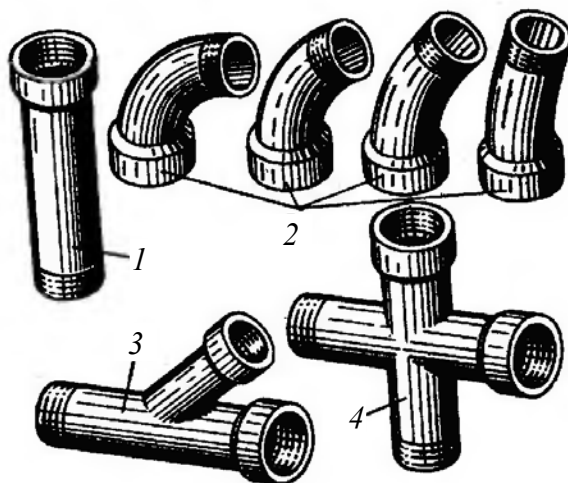


Рис. 13.1. Керамическая труба и детали монтажа:  
1 – труба; 2 – колена; 3 – тройник; 4 – крестовина

Трубы должны выдерживать гидравлическое давление более 0,2 МПа и внешнюю нагрузку менее 0,2–0,3 кН. Водопоглощение

плотнспекшегося черепка должно составлять до 9% (для I сорта) и 11% (для II сорта). Трубы должны иметь кислотостойкость не менее 92%.

С учетом технических требований для производства канализационных труб используются тугоплавкие и огнеупорные глины. Минеральный состав применяемых преимущественно каолинито-гидрослюдистых, каолинитовых глин с содержанием глинистой фракции 2 мкм – до 35–45%, 2–20 мкм – 15–25%, свыше 20 мкм – 35–45%.

По химическому составу для производства канализационных труб пригодны глины с содержанием:  $Al_2O_3$  – более 20–25%,  $SiO_2$  < 70%,  $CaO$  < 2%,  $Fe_2O_3$  – 3–35%,  $R_2O$  < 4%. Содержание свободного кварца должно быть менее 15%. Более высокое содержание оксида кальция увеличивает пористость и водопроницаемость труб. Оксиды щелочных металлов понижают температуру спекания, способствуют образованию жидкой фазы, упрочняют черепок, при этом их общее содержание должно быть не более 10%. В состав массы можно вводить легкоплавкие глины и суглинки с температурой плавления до 1350°C.

В качестве отошающей добавки применяется шамот, который частично (до 10%) может быть заменен крупнозернистым кварцевым песком. Для повышения прочности высушенных труб рекомендуется вводить в массу 0,2–0,5% ПАВ.

В качестве сырьевых материалов для приготовления глазури применяют легкоплавкую глину, перлит, марганцевую руду, поваренную соль. Канализационные трубы могут формоваться пластическим и полусухим способами. В связи с этим подготовка массы ведется мокрым (пластическим), сухим, шликерным методами.

Технологическая схема изготовления канализационных труб приведена в приложении 6.

Как видно из технологической схемы, в результате обработки глины получается пресс-порошок глины-связки с влажностью 9–11% с фракционным составом зерен: 1,0–0,5 мм – 15–25%, менее 0,5 мм – 75–85%. Для получения шамота необходимо провести обжиг брикетов, полученных на ленточных прессах или пресс-вальцах. Брикет обжигают в шахтной или вращающей печи. Температура обжига составляет 1150–1200°C. Обжиг во вращающей печи более производителен, но требует повышенного расхода топлива, кроме этого, наблюдается значительный пылеунос.

После обжига шамот подвергается измельчению в щековых дробилках. Тонкий помол производят в шаровой или трубной мельнице.

Рассев шамота по фракциям можно осуществлять на вибрационном грохоте, ситобурате или других установках. Гранулометрический состав шамота следующий: зерна размером 3–1 мм – 20–25%, 1,0–0,5 мм – 20–25%, менее 0,5 мм – 50–65%; водопоглощение равно 8–10%. Соотношение шамот : глина в массе примерно составляет 40 : 60%, что обеспечивает усадку не более 10%.

При подготовке массы сначала происходит сухое измельчение, а затем мокрое (до 18–20%) в двухвальном смесителе. После этого керамическая масса поступает на ленточные прессы, где осуществляется формование валюшек, которые далее направляются на вылеживание в течение 5–7 сут и затем на формование изделий. Канализационные трубы формуют на вертикальных и горизонтальных прессах. Схема процесса формования приведена на рис. 13.2.

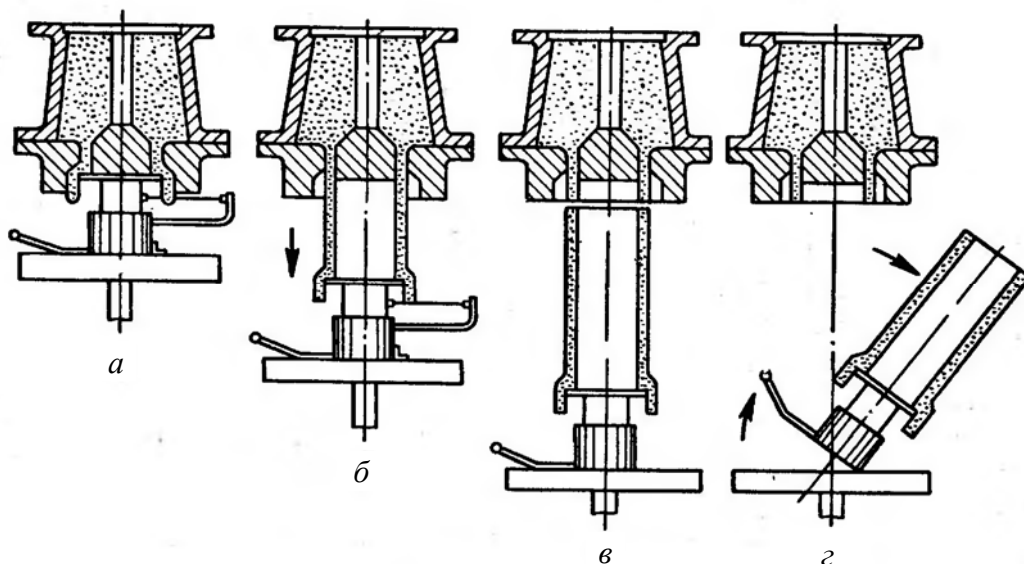


Рис. 13.2. Схема процесса формования трубы:  
*а* – начало формования; *б* – формирование ствола и раструба;  
*в* – окончание формования и отрез трубы;  
*г* – отбор трубы

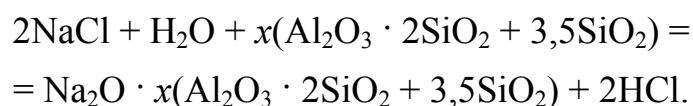
Отформованные трубы подвешивают с помощью штока на цепной конвейер и направляют на сушку. Сушку производят в камерных, конвейерных и туннельных сушилках. Температура теплоносителя составляет 90–140°C, относительная влажность – 90%. Сушка труб диаметром 150–250 мм длится 14–22 ч, труб большого диаметра – 28–40 ч. В конвейерных сушилках скорость движения цепи конвейера составляет 0,64–1,30 м/мин, относительная влажность теплоносителя – 65–80%. Трубы сушат горячим воздухом с температурой

80–140°C, продолжительность сушки составляет 20–40 ч, расход топлива на сушку – 30–35 кг на 1 т трубы.

Глазурование труб производят сырыми глазурями с температурой размягчения 1080–1180°C. Глазурь готовят совместным помолом исходных компонентов при соотношении материал : мелющие тела : вода – 1 : 1 : 1. Тонина помола определяется остатком на сите 10 000 отв./см<sup>2</sup>, который не должен превышать 2%. Плотность глазури составляет 1360–1450 кг/м<sup>3</sup>, влажность – 49–52%. Глазурование производится методом окунания труб в бассейн с глазурью. Расход глазури составляет 2–3% от массы трубы. Можно глазуровать трубы методом пульверизации. Цвет глазурного покрытия зависит от содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и печной атмосферы.

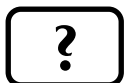
Глазурование соляной глазурью осуществляется в печах периодического действия. После достижения в печи температуры 1120–1180°C в топку порциями периодически через 50–60 мин забрасывают поваренную соль, которая под действием температуры и среды разлагается и взаимодействует с компонентами массы.

В общем виде процесс глазурования можно представить следующим уравнением:



Обжиг канализационных труб производится в основном в туннельных печах. Трубы устанавливают на вагонетку на подскутчный материал (преимущественно шамотный кирпич). В зависимости от диаметра труб их могут ставить раструбом вверх и вниз. Продолжительность обжига труб зависит от вида печи и может составлять от 30 до 60 ч. Для обжига труб высотой до 2 м используются печи высотой до 2,5 м, шириной 5–6 м с плоским сводом взамен арочного.

Основные виды брака при производстве труб: структурные трещины, расслоение черепка, плешины, трещины, отслаивание, деформация, пузыри, вздутия.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Приведите ассортимент, классификацию и свойства канализационных труб.
2. Перечислите сырьевые материалы, используемые при производстве канализационных труб.

3. Опишите технологическую схему подготовки керамической массы для формования труб пластическим способом.

4. Как осуществляется сушка канализационных труб?

5. Назовите глазури для канализационных труб, способы подготовки и нанесения на их внешнюю и внутреннюю поверхности.

6. Как наносятся соляные глазури? Приведите возможные реакции, которые протекают на поверхности труб.

7. Как осуществляется обжиг канализационных труб (теплотехнические агрегаты и температурная кривая обжига)?

## ПРОИЗВОДСТВО САНИТАРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Санитарные керамические изделия предназначаются для установки в санитарных узлах, бытовых и других помещениях зданий различного назначения. Изделия в зависимости от показателей внешнего вида выпускаются I и II сортов. В табл. 14.1 приведены основные свойства санитарных керамических изделий.

Таблица 14.1

Свойства санитарных керамических изделий

Свойства	Фаянс	Полуфарфор	Фарфор
Воздушная усадка, %	5–6	4–5	3,8–4,0
Общая усадка, %	10–12	11–12	12–13
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1920–1960	2000–2200	2250–2300
Водопоглощение, %	10–12	До 5	0,2–0,5
Предел прочности, МПа:			
– при ударе	0,15–0,20	0,18–0,21	0,35–0,45
– изгибе	15–30	38–45	70–80
– сжатии	90–100	130–250	350–400
Модуль упругости, МПа	220–240	300–400	500–600
Средний коэффициент термического расширения при нагревании от 20 до 760°C	$(7-8) \cdot 10^{-6}$	$(5-6) \cdot 10^{-6}$	$(4-5) \cdot 10^{-6}$

Изделия изготавливаются в соответствии с ГОСТ 300493–96 методом литья в гипсовые формы на механизированных стендах и под давлением в полимерные формы. Ассортимент выпускаемых изделий приведен ниже:

- унитазы козырьковые с косым выпуском детские без цельноотлитой полочки, фарфоровые (Ун КДФ);
- унитазы козырьковые с косым выпуском с цельноотлитой полочкой, фарфоровые (Ун КцФ);



- бачки смывные, непосредственно устанавливаемые на унитазе с верхним пуском, фарфоровые (БУ впФ);
- керамические пьедесталы для умывальников;
- керамические пьедесталы (консольные) для умывальников, фарфоровые;
- умывальник овальный первой величины без спинки с переливом, фарфоровый (УмОв1бСпФ);
- умывальник овальный второй величины без спинки с переливом, фарфоровый (УмОв2бСпФ);
- умывальник овальный третьей величины без спинки с переливом, фарфоровый (УмОв3бСпФ);
- умывальник трапециевидный второй величины со спинкой без перелива, фарфоровый (УмТр2СФ);
- умывальник полукруглый пятой величины без спинки с переливом, фарфоровый (УмГО5СпФ);
- умывальник полукруглый второй величины без спинки с переливом, фарфоровый (УмП2бСпФ);
- умывальник полукруглый третьей величины без спинки с переливом, фарфоровый (УмП3бСпФ);
- умывальник угловой без спинки, фарфоровый (УмУгбСФ);
- умывальник (рукомойник) овальный с переливом, фарфоровый (УмОвбСпФ);
- биде тип 2 (двух видов);
- писсуары фарфоровые без цельноотлитого сифона (ПФ).

#### **14.1. ПРИМЕНЯЕМОЕ СЫРЬЕ, СОСТАВЫ МАСС И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

Компоненты сырья для приготовления шликера для получения полуфабриката на механизированных стандах включают: каолин обогащенный для керамических изделий (каолин Глуховецкий); шихту АОЗТ «Веско» из огнеупорных и тугоплавких глин марки Веско-Гранитик; глину 13250 Штефан-Шмидт; песок кварцевый; материалы кварцполевошпатовые (пегматит Вишневогорский); бой обожженных изделий (бой фарфоровый); стекло натриевое жидкое; соду кальцинированную; буроугольный щелочной реагент.

Компоненты сырья для приготовления шликера для получения полуфабриката на стандах литья под давлением включают: шихту

АОЗТ «Веско» из огнеупорных и тугоплавких глин марки Веско-Гранитик; глину Штефан-Шмидт; каолин обогащенный для керамических изделий (каолин Глуховецкий КС-1); материалы кварцполевошпатовые (пегматит Вишневогорский); песок кварцевый; бой обожженных изделий (бой фарфоровый); электролиты (сверх 100%): стекло натриевое жидкое; соду кальцинированную и бурогольный щелочной реагент.

Компоненты сырья для глазури включают: кварцполевошпатовое сырье для тонкой керамики (пегматит Чупинский, пегматит Чалмозеро); песок кварцевый; шихту из глин Андреевского месторождения (глина Веско-Гранитик); каолин обогащенный для косметической промышленности (каолин Глуховецкий); мел; циркосил 5 (Циркобит МО); углекислый барий; белила цинковые; тальк RMP-450; сверх 100%: кобальт серноокислый; пептапон-52.

Санитарные керамические изделия выпускаются на основе фаянсовых, полуфарфоровых и фарфоровых масс.

Примерное соотношение компонентов в зависимости от способа формования полуфабриката приведено в табл. 14.2.

Таблица 14.2

**Соотношение компонентов шихты для изготовления санитарных керамических изделий**

Наименование компонента	Содержание компонентов, %, при изготовлении изделий методами	
	стендовое литье	литье под давлением
Глина	19–22	22–26
Каолин	19–30	30–31
Кварц	28–32	28–32
Полевой шпат	10–15	8–10

При подборе сырья следует руководствоваться следующими положениями:

- 1) повышенное содержание отощающих добавок ускоряет набор черепка;
- 2) при увеличении содержания отощающих добавок может произойти снижение прочности отливки и образование трещин;
- 3) увеличение добавок электролитов приводит к хрупкости массы.

Основные требования к шликерам в производстве санитарных керамических изделий представлены в табл. 14.3.

## Требования, предъявляемые к шликерам

Параметры шликера	Фаянс		Полуфарфор	Фарфор
	обычный	шамотированный		
Влажность, %	29–30	27–28	20–31	30–32
Скорость набора черепка:				
– 30 с	12–15	10–12	12–15	6–14
– 30 мин	26–28	17–22	23–28	15–40
Коэффициент загустевания	2,0–2,5	3,4–3,7	2,0–2,5	2,0–3,5

Для производства санитарных керамических изделий используются два вида литья – литье в гипсовые формы и литье на стендах под давлением.

Шликер готовится отдельным помолом сырьевых материалов в шаровой мельнице мокрого помола с последующим роспуском глинистых материалов в турбораспускателе. Весовая дозировка сырьевых материалов в шаровую мельницу проекта 2511 (шихта Веско-Гранитик, песок кварцевый, материалы полевошпатовые) производится автоматически в соответствии с рецептом, откорректированным лабораторией с учетом влажности сырья. Дозировка молотого боя фарфоровых изделий осуществляется в соответствии с рецептом путем взвешивания на весах и последующей подачей подвесным электротельфером в шаровую мельницу. Помол отошающих добавок в шаровых мельницах производится до остатка на контрольном сите с сеткой № 0063 не более 5%. Параметры шликера в шаровых мельницах: плотность – 1670–1720 кг/м<sup>3</sup>, влажность – 30–35%. Шликер, а также остаток глины, каолин, глина Штефан-Шмидт подаются в турбораспускатель, где происходит роспуск глинистых материалов и смешивание их со шликером. Готовый шликер из турбораспускателя поступает в сливной бассейн, а затем в заливочные нагревательные емкости. Температура подогрева составляет до 40°C. Горячий шликер под давлением 13 бар подается в полимерную форму. Вода из шликера удаляется через поры формы, а на поверхности остается твердая масса отформованного черепка. Затем производится слив избыточного шликера и закрепление черепка под давлением воздуха, а также извлечение изделий из формы.

Аналогично готовится шликер для литья на механизированных стендах. Готовый шликер подается в бассейн для выстаивания в течение

3–5 сут. Затем шликер поступает в емкости, нагревается до  $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$  и загружается в гипсовые формы. Набор отливки происходит на протяжении 1,5–2,0 ч. Остатки шликера сливаются из формы, и он поступает на повторное использование. В течение 50–70 мин происходит подвялка изделий, выемка из формы, оправка с последующей сушкой.

Сушка полуфабриката всех изделий производится в люлечных сушилках непрерывного действия. Полки люлек обиты версонитом или другим мягким материалом. Загрузка изделий выполняется равномерно по всей люлке. С целью ускорения сушки установлены внутренние сопла, которые обдувают изделия горячим воздухом. Температура теплоносителя составляет  $60\text{--}90^\circ\text{C}$ , продолжительность сушки – не менее 8 ч, массовая доля влаги после сушки – не более 1%.

Затем производится керасиновый контроль. Изделия, прошедшие керасиновый контроль, поступают на участок глазурования. Для глазурования используются сырые нефриттованные глазури. Влажность глазури составляет 29–33%, массовая доля остатка на сите № 0045 – 0,4–0,6%. Перед глазурованием изделия очищаются сжатым воздухом и увлажняются. Давление глазури на автоматической установке (робот) составляет 1,50–1,75 бар. Заглазурированные изделия подаются на участок обжига. Массовая доля влаги в изделиях перед загрузкой в печь должна быть не более 1%.

Обжиг изделий производится в туннельной печи открытого пламени с автоматическим регулированием на печных вагонетках с канализированным подом. Вид топлива – природный газ. Печная вагонетка должна иметь канализированный под в виде одноярусной этажерки, выполненной из огнеупорных плит. Рабочая поверхность вагонетки должна быть ровной и покрыта ангобом с массовой долей влаги  $(30 \pm 2)\%$ . Перед садкой изделий проверяется ходовая часть печной вагонетки и ее футеровка, очищается пространство канализированного пода от кусков шамота и вагонетка обдувается сжатым воздухом. Изделия ставятся на печную вагонетку вручную, садка изделий должна соответствовать схемам. Частота толкания вагонеток составляет 22 вагонетки в сутки.

Максимальная температура обжига санитарных керамических изделий составляет  $1200^\circ\text{C}$ . Температурный режим обжига идет в соответствии с кривой обжига, которая представлена на рис. 14.1.

Схема получения санитарных керамических изделий приведена на рис. 14.2 (см. на с. 102).

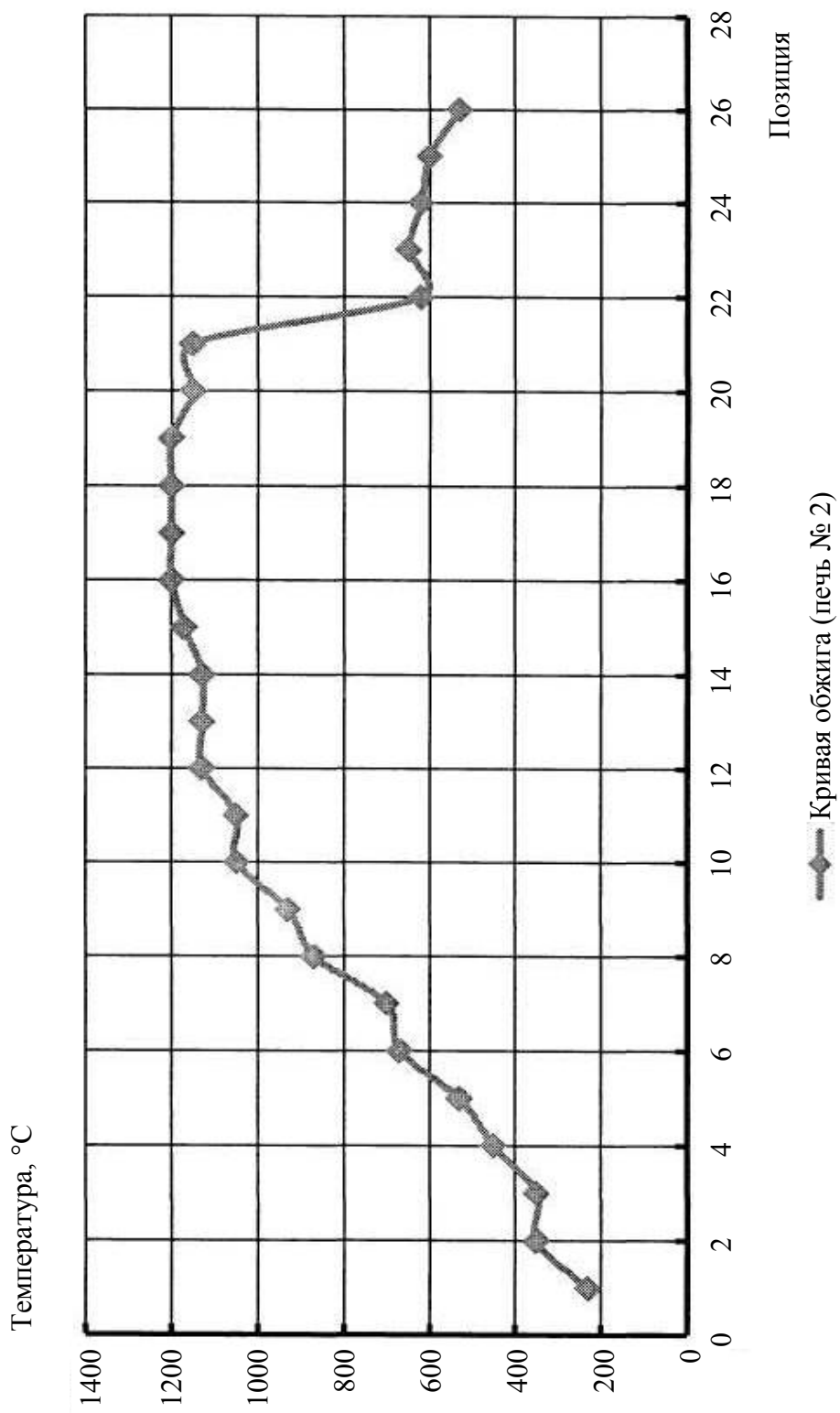


Рис. 14.1. Температурная кривая обжига санитарных керамических изделий

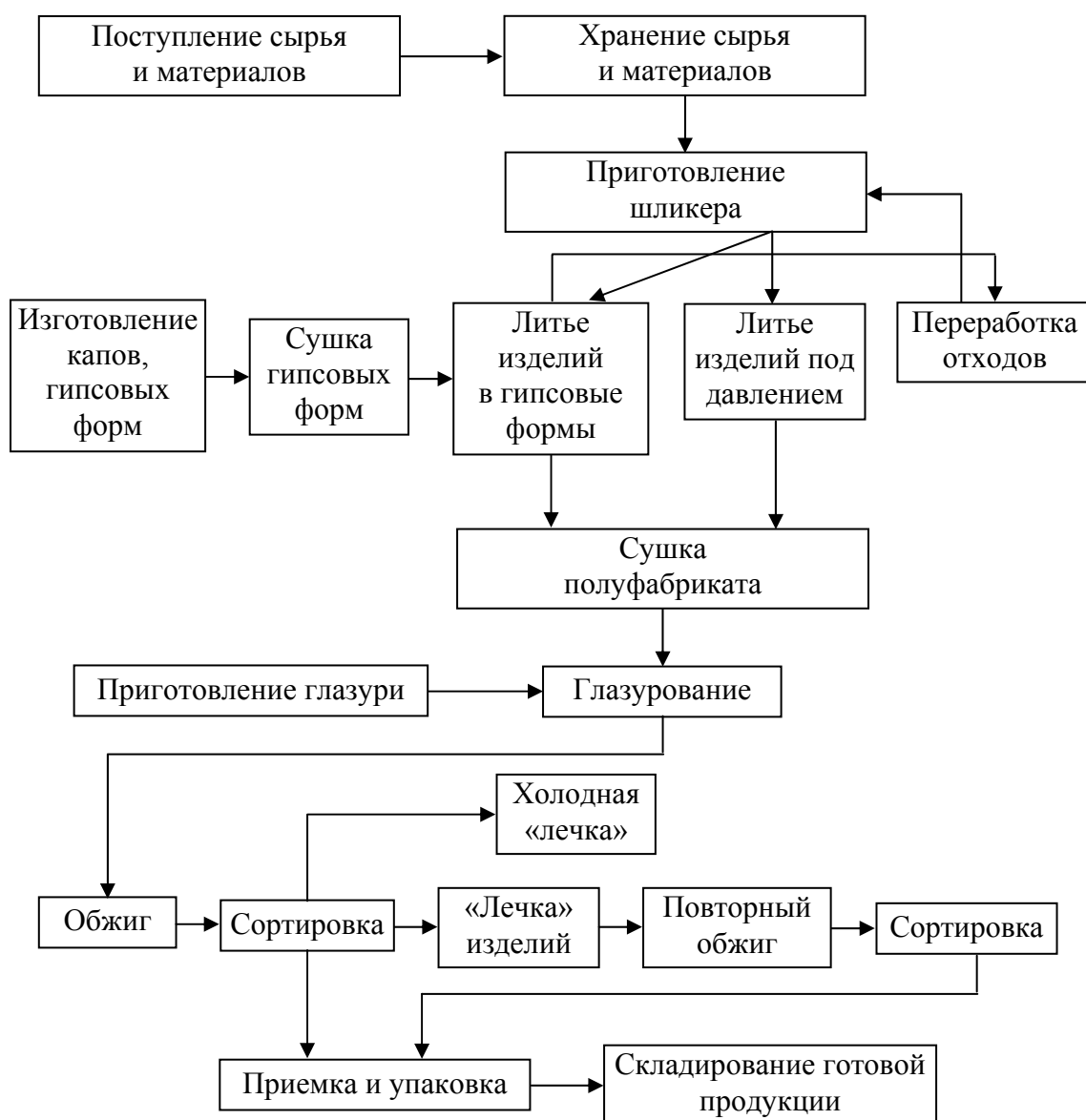


Рис. 14.2. Технологическая схема производства санитарных керамических изделий

## 14.2. «ЛЕЧКА» ИЗДЕЛИЙ

Дефектное изделие, подлежащее холодной «лечке», устанавливается на стол для сортировки. При необходимости поверхность изделия очищается от загрязнений. Производится заделка дефектных мест с помощью специальных паст. Исправленное изделие оставляется для затвердевания на 1,5–2,0 ч. Далее осуществляется сортировка исправленных изделий в соответствии с ГОСТ 15167–93, ГОСТ 30493–96 и ГОСТ 13449–82.

Дефектное изделие, подлежащее «лечке» с последующим обжигом, устанавливается оправщиком-чистильщиком на поворотном-оправочный столик, тщательно обдувается сжатым воздухом, очищается от загрязнений. Производятся все необходимые операции перед повторным обжигом: зачистка с помощью пневматического и ручного инструмента, заделка шпатлевочными пастами, доглазуровка. Изделия после «лечки» оставляются для подсушки. Подготовленное изделие после подсушки ставится на печную вагонетку. Для садки изделий на верхний ярус используется снижатель.

После исправления дефектов санитарных керамических изделий производится повторный их обжиг в печи периодического действия SSK 440/170-6. В этой же печи может осуществляться первичный обжиг полуфабриката. Печь периодического действия состоит из модулей, каждый из которых содержит вагонетку. Для обеспечения равномерного распределения тепла по всей печи и удерживания температуры на требуемом уровне в каждом модуле установлены горелки как вертикально, так и горизонтально. Материал охлаждается подачей воздуха в печь через горелки, которые выключены, и обдуватели, расположенные под сводом.

Печная вагонетка имеет вид двухъярусной этажерки, выполненной из огнеупорных плит. Рабочая поверхность вагонетки должна быть ровной и покрыта ангобом с массовой долей влаги ( $30 \pm 2$ )%.

Перед садкой изделий проверяется ходовая часть печной вагонетки и ее футеровка, очищается пространство канализированного пода от кусков шамота и вагонетка обдувается сжатым воздухом.

После загрузки вагонеток с изделиями в печь повышают температуру. Максимальная температура обжига должна быть не более 1200°C.

### **14.3. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА САНИТАРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

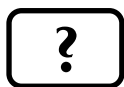
Качество санитарных изделий зависит от многих факторов: от исходного сырья, применяемых масс и глазурей, состояния технологического оборудования, степени механизации технологического процесса, соблюдения технологической дисциплины. Существенное влияние на качество выпускаемой продукции оказывает режим работы предприятия, а именно: поточность технологического процесса, сменность работы основных цехов. Качество продукции также зависит от элементов малой механизации по технологическим переделам;

от механизации массоприготовления, т. е. от применения непрерывно действующих агрегатов для измельчения и роспуска глинистых материалов; от степени конвейеризации основных технологических процессов.

Качество изделий санитарной керамики и их товарный вид в значительной мере обусловлены качеством исходного сырья и гипса. Так, образование посечек, из-за которых в значительной степени снижается сортность изделий, связано с низким качеством просяновского каолина мокрого обогащения. Однако отрицательное влияние просяновского каолина мокрого обогащения может быть в какой-то мере устранено за счет использования многокомпонентных масс, а также частичного применения каолинов сухого обогащения.

Использование многокомпонентных масс является очень полезным при применении глинистого сырья с колеблющимися свойствами. Такие массы широко используются за рубежом.

Большое влияние на качество изделий оказывает сырье, применяемое в глазурах. Если в массах могут быть использованы полевошпатовые и кварцевые материалы с относительно высоким содержанием красящих оксидов (полевошпатовые отходы или хвосты и т. д.), то требования к сырью, применяемому в глазурах, значительно более высокие. Например, содержание  $Fe_2O_3$  в полевошпате для глазури не должно превышать 0,2%.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Сформулируйте требования, предъявляемые к санитарным керамическим изделиям.
2. На какие виды по составу масс подразделяются санитарные керамические изделия? Назовите их основные свойства.
3. В чем заключается подготовка исходных компонентов для производства санитарных керамических изделий методом литья?
4. Какие требования предъявляются к шликерам?
5. Перечислите особенности литья шликера под давлением в гипсовые формы.
6. Опишите режим подвялки и сушки санитарных керамических изделий.
7. Какие глазури используются в производстве санитарных керамических изделий? Назовите методы их контроля.
8. Перечислите способы глазурования санитарных керамических изделий.



## ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК

Керамической промышленностью выпускаются: керамические глазурованные плитки для внутренней облицовки стен, фризové плитки, фасонные детали (ГОСТ 6141–91), плитки для полов (ГОСТ 6787–90) и керамический гранит. Для производства керамических плиток широкого ассортимента применяются современные автоматические линии, включающие подготовку шликера, термическое обезвоживание, полусухое прессование, сушку, декорирование и обжиг.

Номенклатура выпускаемой продукции включает:

- плитки керамические глазурованные для внутренней облицовки стен (СТБ 1354-2002);
- вставки керамические глазурованные для внутренней облицовки стен (СТБ 1354-2002);
- плитки фризové керамические глазурованные для внутренней облицовки стен (СТБ 1354-2002);
- детали фасонные керамические глазурованные для внутренней облицовки стен (СТБ 1354-2002);
- плитки керамические для полов основные глазурованные (ГОСТ 6787–2001);
- плитки керамические для полов основные неглазурованные (грес) (ГОСТ 6787–2001);
- плитки керамические для полов бордюрные (ГОСТ 6787–2001);
- плитки керамические для полов основные глазурованные (рустик) (ГОСТ 6787–2001);
- керамогранит крупноразмерный плоский неглазурованный (ТУ ВУ 100297103.661-2009);
- керамогранит крупноразмерный плоский глазурованный (ТУ ВУ 100297103.661-2009);
- керамогранит крупноразмерный плоский полированный (ТУ ВУ 100297103.661-2009);
- ковры для полов из резаных элементов плиток керамических (ТУ ВУ 100297103.005-2005).

## 15.1. ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОБЛИЦОВКИ СТЕН

Плитки керамические глазурованные для внутренней облицовки стен выпускаются в соответствии с СТБ 1354-2002 и ГОСТ 6141–91, которые регламентируют их размеры, форму и физико-химические свойства. Керамические облицовочные плитки изготавливаются:

1) с гладкой лицевой поверхностью следующих форматов: 200×200, 300×200, 400×275, 600×300 мм;

2) с рельефной лицевой поверхностью следующих форматов: 200×200, 300×200, 400×275, 600×300 мм.

По форме плитки подразделяют на квадратные, прямоугольные и фигурные. Боковые грани изделий могут быть без завала или с завалом, глазурованная поверхность – гладкой или рельефной, одноцветной или многоцветной.

В табл. 15.1 приведены основные физико-химические свойства, которым должны отвечать плитки для внутренней облицовки стен.

Таблица 15.1

### Физико-химические свойства керамических плиток

Свойства	Норма
Водопоглощение, %, не более	16 (24)*
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	15,0
Термическая стойкость глазури, °С, не менее:	
– плиток, покрытых белой глазурью	150
– плиток, покрытых цветной глазурью	125
Твердость глазури по Моосу, не менее	5

\* Водопоглощение для плиток из масс, содержащих карбонаты и полиминеральную глинистую составляющую.

Технология производства облицовочных плиток предусматривает использование качественных сырьевых материалов с последующей переработкой.

Приготовление шликера осуществляется совместным помолом сырьевых компонентов в шаровых мельницах мокрого помола ТМНР-24. Обезвоживание шликера производится в атомизаторах АТМ-110, прессование плиток линии FMS-2500/105 – на одном из трех установленных прессов типа РН-2090 производства фирмы SACMI, прессование плиток линии FMS-2850 – на двух установленных прессах типа РН-2590 производства фирмы SACMI. Сушка плиток на линиях осу-

ществляется в горизонтальной роликовой сушилке проекта JMS или в вертикальной кассетной сушилке типа EVA 793. Утильный обжиг плиток выполняется в роликовых печах проекта FMS-2500/105. Процесс декорирования плиток включает: ангобирование и глазурование установкой VELA или KERABLADE, нанесение рисунков системой Rotocolor. Процесс декорирования некоторых видов рисунков может осуществляться без нанесения ангоба. Политой обжиг производится в роликовых печах проектов FMS-2500/105 и FMS-850.

Технологическая схема получения керамических глазурованных плиток для внутренней облицовки стен на линиях FMS-2500/105 и FMS-2850 приведена в приложении 7.

## 15.2. ПРОИЗВОДСТВО ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ

Керамические плитки для полов должны соответствовать требованиям ГОСТ 6787–2001. Они должны иметь указанные в технической документации размер, форму, водопоглощение, термическую стойкость глазури и др. Требования, предъявляемые к керамическим плиткам для полов, представлены в табл. 15.2.

Таблица 15.2

**Требования, предъявляемые к керамическим плиткам для полов**

Показатель	Значение для плиток	
	неглазурованных	глазурованных
Водопоглощение, %, не более	3,5	4,5
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее, для плиток толщиной:		
– до 9 мм включительно	28	28
– свыше 9 мм	25	25
Износостойкость (по кварцевому песку), г/см <sup>2</sup> , не более	0,18	–
Износостойкость, степень	–	1–4
Термическая стойкость глазури, °С	–	125
Морозостойкость, число циклов, не менее	25	–
Твердость глазури по Моосу, не менее	–	5

Для производства керамических плиток для полов используются огнеупорные глины, каолины, полевые шпаты, кварцевый песок и другие материалы. Технологическая схема включает приготовление

шликера, термическое обезвоживание, полусухое прессование, сушку, декорирование, обжиг, сортировку.

Пластические материалы дозируются в соответствии с принятым рецептом. Дозировка производится на ленточном конвейере, на котором установлены непрерывные весы (взвешивающий ролик). Они корректируют скорость дозировки материала, поступающего из бункера на ленточный конвейер. Системой конвейеров пластические материалы подаются на реверсивный передвижной конвейер, который загружает их в турбораспускатель. Для улучшения роспуска глинистых компонентов в турбораспускатель добавляется дефлокулянт.

Влажность суспензии составляет 40–45%. После роспуска глинистая суспензия сливается через сито в расходную емкость с мешалкой, из которой при помощи пневмокамерного насоса откачивается в мельницу непрерывного помола. Чтобы исключить попадание крупных кусков в турбораспускатель, под питатели для глинистого сырья установлен вал с лопастями. Над ленточным конвейером, подающим сырье в турбораспускатель, для удаления металлических включений расположен магнитный сепаратор.

Сыпучие материалы из бункеров, снабженных ленточными питателями, управляемыми инверторами, поступают на собирающий конвейер и транспортируются в емкость для сыпучих компонентов мельницы непрерывного помола ММС-180. Соответственно, в мельницу подаются также глинистая суспензия, вода, электролиты.

Система непрерывного помола состоит из трех однокамерных барабанов, механически связанных и оснащенных отдельными приводами.

Непрерывный проход шликера из одной камеры в другую обеспечен специально установленными решетками и диафрагмами. Это позволяет вводить добавки на промежуточных стадиях помола, осуществлять замену мелющих тел в отдельном барабане. При помощи инверторов можно установить различные скорости вращения и получить режим оптимального помола. Производительность такой мельницы составляет порядка 40 т/ч. В качестве мелющих тел используются алюбитовые шары.

Шликер из мельницы сливается через сито в емкость, снабженную индикатором уровня, откачивается пневмокамерным насосом на вибросита и проходит также магнитное обогащение. После ситового и магнитного обогащения шликер сливается в емкость с мешалками. Параметры готового шликера следующие:

- массовая доля влаги – 36,5%;
- плотность – 1640 кг/м<sup>3</sup>;
- остаток на сите № 0063 < 2,0;
- вязкость – 2,0–2,4°Е.

### 15.3. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ ТИПА «ГРЕС»

Для производства плиток грес применяются цветные пресс-порошки, полученные при смешивании базового шликера (вышеописанного) и пигмента в соотношении 3 : 1 при помоле в микрошаровой мельнице. Затем происходит смешивание цветного шликера с заданным объемом базового шликера в напольных емкостях с лопастными мешалками.

Из напольных емкостей как базовый, так и цветной шликер раздельно мембранным насосом подаются в емкости атоизатора АТМ, проходят ситовое обогащение и поступают на термическое обезвоживание. Параметры сушки шликера в атоизаторе следующие:

- 1) давление распыления шликера –  $(2,1 \pm 0,3)$  МПа ( $(21 \pm 3)$  бар);
- 2) температура на входе – 610°С;
- 3) температура на выходе –  $(120 \pm 10)$ °С;
- 4) массовая доля влаги пресс-порошка – 5,0–5,8%.

Механизм образования гранул – сложное явление. В начале сушки частицы перемещаются по траектории без вращения. Происходит испарение и затверждение внешней пленки формирующегося зерна. По мере сближения твердых частиц капли сжимаются. Время теплообмена между двумя фазами определяет форму зерна. Если время короткое, то водяной пар, образованный внутри зерен, не может выйти за пределы затвердевшей пленки и раскалывает зерно. Если теплообмен долгий, то образованный внутри частицы пар может выйти из капли с более холодной стороны, что позволит формировать более плотную пленку, и зерно приобретает сферическую форму, которая обеспечивает получение равномерного состава одинаковой влажности. Схема подачи и сушки порошка в распылительной сушилке приведена на рисунке.

Размер пресс-порошка составляет 180–300 мкм. Важнейшим фактором для определения свойств порошка является его текучесть при заполнении пресс-форм. Текучесть снижается при повышении влажности

пресс-порошка. Пресс-порошок, содержащий средние частички размером 200–220 мкм, имеет более высокую текучесть, которая составляет примерно 17 с при влажности 5,9%, кажущуюся плотность – 1030–1150 кг/м<sup>3</sup>. На гранулометрический состав пресс-порошка оказывают влияние давление распыления и вязкость шликера. При высоком давлении образуются гранулы меньшего размера, а при высокой влажности – более крупные гранулы.

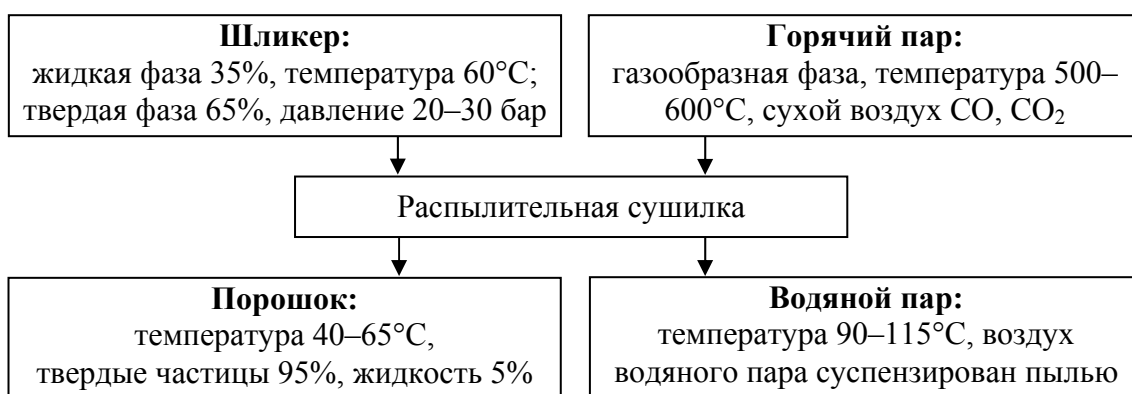


Схема подачи и сушки порошка в распылительной сушилке

После атомизатора пресс-порошок проходит ситовое обогащение на сите с сеткой № 8 и поступает в силоса для усреднения по влажности (не менее 8 ч). Затем из силосов пресс-порошок транспортируется ленточным конвейером на вибросито в бункера над прессами.

Назначение прессования – придать плиткам необходимые размеры без дефектов. Основным дефектом является расслоение (образование воздушных пузырей). От образования микроструктуры плиток зависит прочность на изгиб, их прочность, усадка и т. д. На процессы прессования оказывают влияние физические характеристики частиц (объемная плотность, которая включает твердую фазу, воздух и влагу и определяется их соотношением), а также текучесть пресс-порошков, гранулометрический состав. От текучести пресс-порошков зависит производительность прессов. Низкая объемная плотность указывает на необходимость вытеснения большего объема воздуха из прессовки. Объемная плотность зависит от плотности гранул, промежутков между ними и способа приготовления гранул. Установлено, что зерна, высушенные в распылительных сушилках, имеют более низкую плотность, чем полученные в грануляторах. В связи с этим более целесообразно применять распылительные сушилки, которые позволяют получить частички с плотностью  $(0,3–1,0) \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>. Влага оказывает влияние на текучесть пресс-порошков.

Современные тенденции показывают, что потребность в керамических плитках увеличивается, особенно растет спрос на большеформатные плитки. Для производства большеформатных плиток необходимо иметь высокой мощности прессы, возможность нанесения сложного украшения при прессовании, которое включает окрашенные гранулированные зерна глазури, метод нанесения в сухом состоянии, использование двойного прессования. При производстве не только большеформатных, но и обычных плиток при уплотнении порошков необходимо учитывать следующие факторы:

- повышенная объемная плотность порошков, полученных методом распылительной сушки, согласуется с моделями, которые были предложены, изучены и усовершенствованы при использовании непластичных агломератов;

- давление уплотнения агломератов уменьшается, если увеличивается содержание влаги;

- поведение агломератов, полученных методом распылительной сушки, на этапе уплотнения и объемная плотность прессованной плитки в основном зависят от содержания остаточной влаги пресс-порошка.

Однако при этом необходимо учитывать и усадку плиток после сушки. Более низкая усадка наблюдается в образцах с более высокой объемной плотностью, что свойственно меньшему содержанию пор в необожженном материале. Также неравномерную усадку может вызвать различная объемная плотность на разных участках одной и той же плитки, неравномерное заполнение пресс-формы, что и приводит к отклонению по размерам плиток.

Прессование плиток производится в прессах фирмы SACMI различной мощности (РН-2090, РН-2850 и др.). Прессы оборудованы пресс-формами для одновременного прессования нескольких плиток разных размеров. Максимальный размер керамгранита (грес) крупноразмерного 600×600 мм, минимальный – 200×200 мм.

Отпрессованные плитки поступают на роликовый сборник прессы, где происходит накопление, зачистка, снятие заусениц, очистка монтажной поверхности.

Сушка – удаление воды в виде пара, т. е. переход из жидкого в газообразное состояние. Она зависит от температуры, количества конденсируемых молекул в газообразном состоянии. При сушке достигается баланс между количеством молекул, переходящих в пар и конденсируемых в жидкости. Она соответствует определенному давлению (давление насыщенного пара) и возрастает с повышением

температуры. Когда давление достигает атмосферного, происходит кипение. Пар выделяется не только с поверхности жидкости, но и самой жидкости в виде пузырьков. Чем ниже атмосферное давление, тем ниже и температура кипения.

Сушка плиток осуществляется в вертикальной кассетной сушилке типа EVA-743. Продолжительность сушки составляет  $(76 \pm 15)$  мин. Максимальная температура достигает  $(120 \pm 30)^\circ\text{C}$  в зависимости от типа сушилок EVA-702 или EVA-712, время сушки у которых равно 98 и 75 мин соответственно. Остаточная влажность должна быть не более 0,5%. После сушки плитки покрываются кристаллином для повышения устойчивости их к загрязнению. Перед нанесением кристаллина поверхность плитки очищается и увлажняется водой. Рабочая плотность кристаллина составляет  $(1,200 \pm 0,023)$  г/м<sup>3</sup>. Декорирование и глазурование плиток производится ангобом, глазурями, мастиками, пигментами.

#### **15.4. ГЛАЗУРОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ И ПЛИТОК ГРЕС**

Для глазурования используются водные и неводные суспензии, представленные глазурями. Для покрытия плиток применяются сырые и фриттованные глазури. Расход энергии для размолва глазури составляет 10 кВт на 1 т за 1 ч помола при числе оборотов  $17 \text{ мин}^{-1}$ . Глазурная суспензия сливается в бассейн с мешалкой. Чтобы не было осаждения суспензии, используются мешалки, число оборотов которых равно  $20 \text{ мин}^{-1}$ . Помимо лопастных мешалок применяются спиральные, турбинные, работающие на высоких оборотах. Для подачи глазури к технологическим линиям используются насосы, в основном диафрагменные и центробежные. Тонина помола глазури контролируется на виброситах, а также производится и магнитная сепарация, т. е. очистка глазури от железа. Технологический процесс приготовления глазури состоит из взвешивания поступающей фритты и других дозируемых материалов. Помол – энергоемкий процесс, во время которого расходуется до 10% потребляемой энергии на предприятии. При помоле вводят добавки – пластифицирующие, гексаметафосфат, полиакрилат, жидкое стекло и др. Выгрузка мельниц производится за счет трения внутренних частей мельниц с глазурью. Температура суспензии при помоле повышается до  $35\text{--}50^\circ\text{C}$ . При размолве цветных глазурей осуществляется промывка мельницы.



Для получения плиток структурированного типа «грес-рустик» используются пуансоны со структурированной лицевой поверхностью. Декорирование производится цветной глазурью с зачисткой структурированной лицевой поверхности и нанесением рисунка через сетку-трафарет. После этого на поверхность плитки наносится белая глазурь или кристаллин. Закрепление глазури и мастики осуществляется фиксирующим раствором. Для многоцветных рисунков используется шелкограф ДЕА-93.

Для декорирования плиток применяются ангобы. Ангоб является более плотным, чем материал ангобируемого изделия. Он придает материалу белое или цветное покрытие лицевой поверхности и является промежуточным слоем толщиной менее 0,2 мм между черепками и глазурью. В состав ангоба входит кварцевый песок, циркон, полевошпат, каолины, огнеупорные глины. Технология приготовления ангоба зависит от вводимых компонентов, состоит в их тонком измельчении до остатка на сите № 0056 0,03–0,06%. Ангоб после обжига должен иметь водопоглощение не менее 10%, иначе не будет сцепления с наносимой глазурью. Параметры глазури: плотность для керамических плиток и керамогранита –  $(1,85 \pm 0,05)$  кг/м<sup>3</sup>, время истечения –  $(20 \pm 10)$  с. Нанесение рисунков может производиться ротационной печатью установкой Rotocolor.

Декорирование также выполняется путем продавливания мастики на плитку через трафаретные печатные формы, позволяющие получить оттиск краски на поверхности плиток. Состав мастики: флюс, краситель, полигликоль, циркобит. Декорирование может осуществляться на установке Vertical DRY путем просыпания порошка через ленту-транспортер, на которой выгравирован рисунок.

Для нанесения глазури используются разные системы, которые включают смачивающее устройство поверхности плиток. Глазурь можно наносить методом распыления. Обычно в этом случае используется глазурь низкой плотности, что позволяет предотвратить образование комков и капель. Давление воздуха для распыления находится в интервале 2–6 атм.

Для нанесения глазури сухим способом применяется гранулированная глазурь с широким диапазоном гранулометрического состава. Поверхность плиток покрывается клеем или мокрой глазурью. При попадании гранул на поверхность плитки они прилипают к ней. Лишние гранулы сдуваются воздухом и возвращаются в систему подачи. Нанесение глазури методом полива производится по принципу «через щель – вал».

Глазурь может подаваться под давлением с применением системы Vela. Эта система позволяет наносить красители вместе с основной глазурью и обеспечивает получение разнообразных декоративных элементов. Смешивание глазури с цветными продуктами позволяет расширить и разнообразить декоративную палитру.

В последнее время разработана система вращающихся дисков диаметром 120–180 мм на расстоянии 50 см от поверхности плитки. Система позволяет использовать глазури различной плотности и вязкости. Диски располагаются в виде пакетов, а глазурь подается через трубу с отверстиями в дисках. Скорость вращения пакетов составляет 3000–4000 мин<sup>-1</sup>.

Для получения эстетичных эффектов глазурь можно наносить в виде капель. В этом случае применяется трубчатое устройство, похожее на дисковые аппараты. Только вместо дисков установлена цилиндрическая перфорированная труба с отверстиями, через которые разбрасывается глазурь на поверхность плитки. Таким образом, для нанесения глазури используется следующее устройство конусного типа: поливом, вращающимися дисками, распылителями, а также подача капель и нанесение сухой гранулированной глазури.

В последнее время для декорирования керамических плиток применяются чернила. Чернила – это пасты или жидкости различной вязкости, состоящие из твердых частиц, диспергированных в жидком растворителе. Они легко наносятся на поверхность плитки толщиной 0,1 мм. Твердая часть состоит из красителей, которые представляют собой кристаллические или флюсующие смеси, содержащие красители, которые подвергаются тонкому помолу и сушке. В качестве жидкой фазы используется гликоль, полиэтиленгликоль и др. Они должны обладать хорошими связующими, пластифицирующими свойствами. Для нанесения чернил применяются специальные печатные установки.

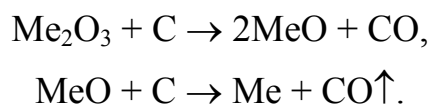
Для декорирования плиток в процессе прессования используется каретка Croma. В этом случае устанавливаются два гидравлических пресса РН-3800 и РН-6200, на которых оборудована каретка двухслойной подачи цветного пресс-порошка в окна матрицы. Также могут быть использованы гранулы и сухие глазури. Толщина отпрессованного слоя составляет не более 3 мм. Лицевые и боковые поверхности штампов должны быть ровными и гладкими. Верхний и нижний пуансоны должны быть подогреты до температуры 35–55°C. Удельное давление прессования составляет при работе на каретке Croma, МПа (бар): для плиток гресс, гресс-рустик, керамогранит –  $35,5 \pm 5,5$  ( $355 \pm 55$ );

для глазурованных плиток –  $27 \pm 5$  ( $270 \pm 50$ ). Отпрессованные плитки направляются в вертикальную сушилку EVA-787.

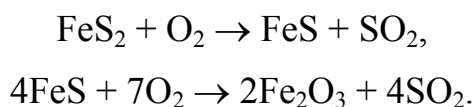
В результате обжига керамические плитки приобретают твердость, прочность, пористость и непроницаемость, химическую стойкость. При обжиге происходит плавление стекловидного покрытия и его сцепление с керамическим материалом. В процессе обжига отмечается передача тепловой энергии плитке до необходимой температуры за определенное время с целью получения керамического материала. Нагрев увеличивает амплитуду колебания атомов материала и расширяет его. Пределы расширения зависят от химических свойств, структуры, возможных превращений при обжиге. Физическое превращение также производит оплавление в результате образования стеклофазы. После плавления уменьшается пористость, увеличивается плотность, происходят твердофазные реакции и формирование кристаллических структур. Пигменты и другие добавки для матовости могут оставаться нерастворимыми. Процессы растворения и кристаллизации происходят в зоне контакта глазури и черепка.

Глубина слоя контакта зависит от тугоплавкости применяемого материала, при  $100^\circ\text{C}$  происходит удаление гигроскопической влаги; при  $200^\circ\text{C}$  – удаление кристаллизационной влаги, молекулы которой связаны со структурой материала; при  $350^\circ\text{C}$  – выгорание органических примесей; при  $850^\circ\text{C}$  – разложение сульфатов, карбонатов и других примесей; при  $450$  и  $650^\circ\text{C}$  – удаление структурной воды и разрушение глинистой кристаллической структуры; при  $573^\circ\text{C}$  – превращение  $\beta$ -кварца в  $\alpha$ -кварц и увеличение объема; при  $900^\circ\text{C}$  и выше – образование новых кристаллических фаз, силикатов и алюмосиликатов.

При охлаждении отмечается образование кристаллических и стекловидных фаз, которые придают материалу твердость и прочность. Путем изменения температуры и среды обжига можно регулировать фазообразование в материале и скорость нагревания, которая в некоторых случаях может привести к образованию черной полосы:



Если в массе имеется пирит, то может происходить такая реакция:



Наличие  $\text{CaSO}_4$  опасно. Она растворяется в воде и выделяется в виде кристаллов соли, которая может вызвать отслоение глазури:



При циркуляции воздуха и наличии глинистых материалов это приводит к образованию силикатов и алюмосиликатов кальция. Тонкие измельченные частички  $\text{CaO}$  вступают в реакцию, что вызывает расширение образцов и снижение усадки. Присутствие полевых шпатов и их высокая вязкость (микроклин) позволяют сохранять форму изделий, при этом образуются игольчатые кристаллы муллита и алюмосиликатов, которые переплетаются друг с другом и со стекловидной фазой и образуют структуру с высокой прочностью. Кристаллизация продолжается до тех пор, пока жидкость имеет текучесть. Глазурь не вызывает каких-либо химических реакций, так как наиболее характерные для их реакции происходят в стекловидной фазе, делая глазурь прозрачной или матовой. Цикл обжига – температурно-временная последовательность процесса.

Обжиг плиток производится в роликовых печах, регулировка аэродинамических, температурных режимов осуществляется изменением количества работающих газовых горелок, включающих изменение расхода газа, открытием шиберов на трубопроводе и т. д. Максимальная температура обжига составляет  $(1200 \pm 20)^\circ\text{C}$ . Тепловая обработка в зависимости от размеров плиток длится от 50 до  $(70 \pm 5)$  мин.

На линии сортировки для выбраковки плиток установлены роликовые устройства над конвейером с давлением  $(0,20 \pm 0,03)$  МПа, что позволяет предотвратить попадание плиток с невидимым треском.

Упаковка плиток выполняется на машине с автоматической установкой WRAP and COVER с разделением стопок.

## **15.5. ФУРНИТУРА И ОТДЕЛОЧНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

В состав фурнитуры входят плитки, декорированные при двукратном, трехкратном и четырехкратном обжиге: мозаика, полоски, бордюрные плитки, которые подбираются под стенную и половую плитку.

Фурнитура и отделочные материалы относятся к продуктам третьего и четвертого обжига. За последние годы потребность не только в отделочных элементах, но и в полосковых и плиточных плитках возросла.

Ниже приведена краткая характеристика типов фурнитуры:

- 1) материалы, полученные путем двукратного, трехкратного и четырехкратного обжига облицовочных плиток;
- 2) элементы, полученные в результате полусухого прессования или экструзии;
- 3) элементы или детали бордюрного типа (угловые плитки, полосы);
- 4) композиции из мелких деталей, различных материалов, таких как мрамор;
- 5) отделочные элементы из нескольких составных частей (ступеньки, окантовка);
- 6) отделочные материалы, полученные путем использования специальных методов: лазерные, гравировочные, химическое травление, фрагментное полирование.

Технология производства фурнитурных отделочных элементов включает обработку полуфабриката (обожженных изделий) декалькоманией, трафаретной печатью, сложением точного декора. Трафаретные машины наносят порошки на обожженные изделия, которые закрепляются при температуре 960–980°C. Декорирование достигается посредством смешивания композиции, содержащей фритты, которые при обжиге образуют стекловидную фазу с частичной рекристаллизацией.

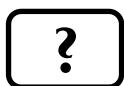
Для улучшения эстетики используется лопингование, которое включает полировку глазури, не удаляя поверхностных слоев, и оставляет зачищенными поры самой глазури. Получается эффект, который воспроизводит мрамор и другие природные камни. Для производства также применяется и водоструйная технология. Водяная струя содержит абразивные частицы и под высоким давлением разрезает твердую плотную керамику. Цифровое управление обеспечивает высокую точность полученных изделий.

Кроме того, используются керамические краски, которые состоят из фритт и пигментов. Их применяют в качестве надглазурных красок, наносят на обожженную плитку и закрепляют при температуре 700–750°C. К тому же используются и подглазурные краски. Они наносятся на изделия, которые затем покрываются прозрачной глазурью. Декорирование под металлик включает органические компоненты и драгоценные металлы, которые смешиваются с органометаллическими флюсами. На поверхности они образуют тонкую металлическую пленку. Применяют золото, серебро, платину, палладий как красящие элементы.

Технологическая схема производства отделочных элементов включает следующие процессы: прессование → сушка → нанесение глазури → обжиг → нанесение декоративных элементов → обжиг.

Прессование производится на прессах РН-690. Затем изделия подвергаются сушке, нанесению глазури и декорированию (в том числе и драгметаллами). Обжиг осуществляется в роликовых печах при температуре 750–870°C. Резка обожженных изделий выполняется на машинах резки непрерывного действия. Для получения декорированных изделий из стекла используется листовое стекло толщиной 8 мм, флюсы и вспомогательные материалы. Сам процесс состоит из следующих операций: резка стекла → заготовка стекла → декорирование → ангобирование → укладка на огнеупорные подложки → обжиг изделий → сортировка и упаковка.

Блок-схема производства отделочных элементов включает: пресс РН-690 → сушилка → нанесение глазури → хранение на полках → обжиг → нанесение глазури → зачистка → декорирование → обжиг.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие требования предъявляются к керамическим плиткам?
2. Приведите обоснование выбора сырьевых компонентов при изготовлении керамических плиток.
3. Опишите технологию приготовления шликера для термического обезвоживания в производстве плиток для внутренней облицовки стен.
4. Перечислите основные стадии термического обезвоживания шликера и прессования плиток.
5. В чем заключаются особенности сушки и нанесения ангобов и глазури для керамических плиток для внутренней облицовки стен однократного обжига?
6. Приведите технологические процессы приготовления шликеров в мельницах непрерывного помола.
7. Опишите получение пресс-порошков для производства окрашенного керамического гранита.
8. Перечислите основные стадии прессования, сушки, нанесения кристаллинов на керамические плитки грес.
9. Назовите методы декорирования керамических плиток для полов.
10. В чем заключаются особенности технологии производства фриза и декоративных вставок?



# ВОПРОСЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО КУРСА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ»

1. Классификация керамического кирпича, камней, блоков и требования, предъявляемые к ним.
2. Легкоплавкие глины. Химический, минеральный и гранулометрический состав.
3. Технологические свойства легкоплавких глин и суглинков.
4. Отошающие, выгорающие и пластифицирующие добавки в производстве стеновых керамических материалов.
5. Технология подготовки отошающих добавок в производстве керамического кирпича.
6. Природно-климатическая и механическая обработка глины при подготовке керамической массы.
7. Физико-химический и биологический способы обработки глиняной массы.
8. Технология подготовки керамической массы для пластического формования стеновых изделий.
9. Прессование кирпича и керамических камней из пластических масс.
10. Дефекты при пластическом формовании кирпича и способы их устранения.
11. Основные теоретические сведения о сушке кирпича-сырца.
12. Режим сушки и воздушная усадка керамических изделий.
13. Технология производства двухслойного лицевого, поризованного и клинкерного кирпича.
14. Технология производства ангобированного, глазурованного и объемно-окрашенного кирпича.
15. Подготовка глиняной массы для прессования кирпича компрессионным методом.

16. Преимущества и недостатки технологии производства кирпича компрессионным способом.
17. Процессы, протекающие при обжиге керамического кирпича.
18. Режим обжига и его влияние на качество керамических изделий.
19. Причины появления высолов и выцветов на поверхности кирпича и методы их устранения.
20. Дренажные трубы. Сырьевые материалы и технология производства.
21. Канализационные трубы. Обоснование выбора сырьевых материалов.
22. Технология производства канализационных труб пластическим способом.
23. Технология производства канализационных труб компрессионным методом.
24. Технология производства кислотоупорного кирпича и плиток. Формирование фазового состава и структуры.
25. Производство химически стойких керамических материалов тонкозернистого строения.
26. Технология производства керамических изразцов. Обоснование выбора сырьевых материалов.
27. Технологические особенности формования, глазурования и обжига керамических изразцов.
28. Классификация и требования к санитарно-керамическим изделиям.
29. Обоснование выбора сырьевых материалов и основные параметры шликера в производстве санитарных керамических изделий.
30. Способы формования и сушки фарфорово-фаянсовых изделий.
31. Производство санитарных керамических изделий методом литья под давлением.
32. Производство санитарных изделий на механизированных стандах.
33. Особенности обжига фарфоровых и фаянсовых изделий.
34. Классификация керамических плиток и требования, предъявляемые к ним.
35. Технология производства керамических плиток для внутренней облицовки стен.
36. Технология производства керамических плиток для полов.
37. Технология производства керамических плиток для полов типа «грес».
38. Способы декорирования керамических плиток.
39. Дефекты при глазуровании керамических изделий и методы их устранения.



# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

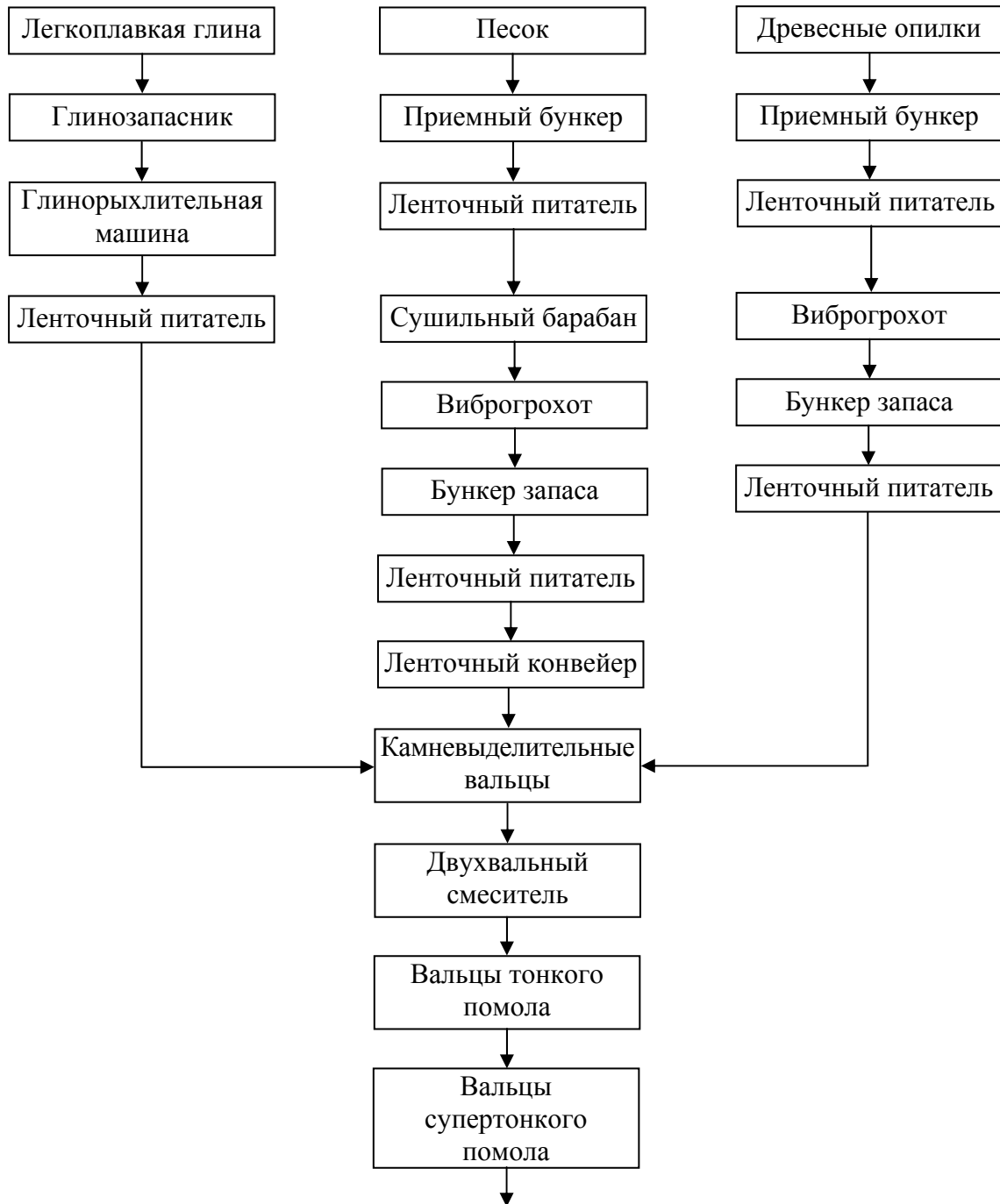


Схема изготовления поризованных блоков  
(начало; окончание см. на с. 122)



Окончание (начало см. на с. 121)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

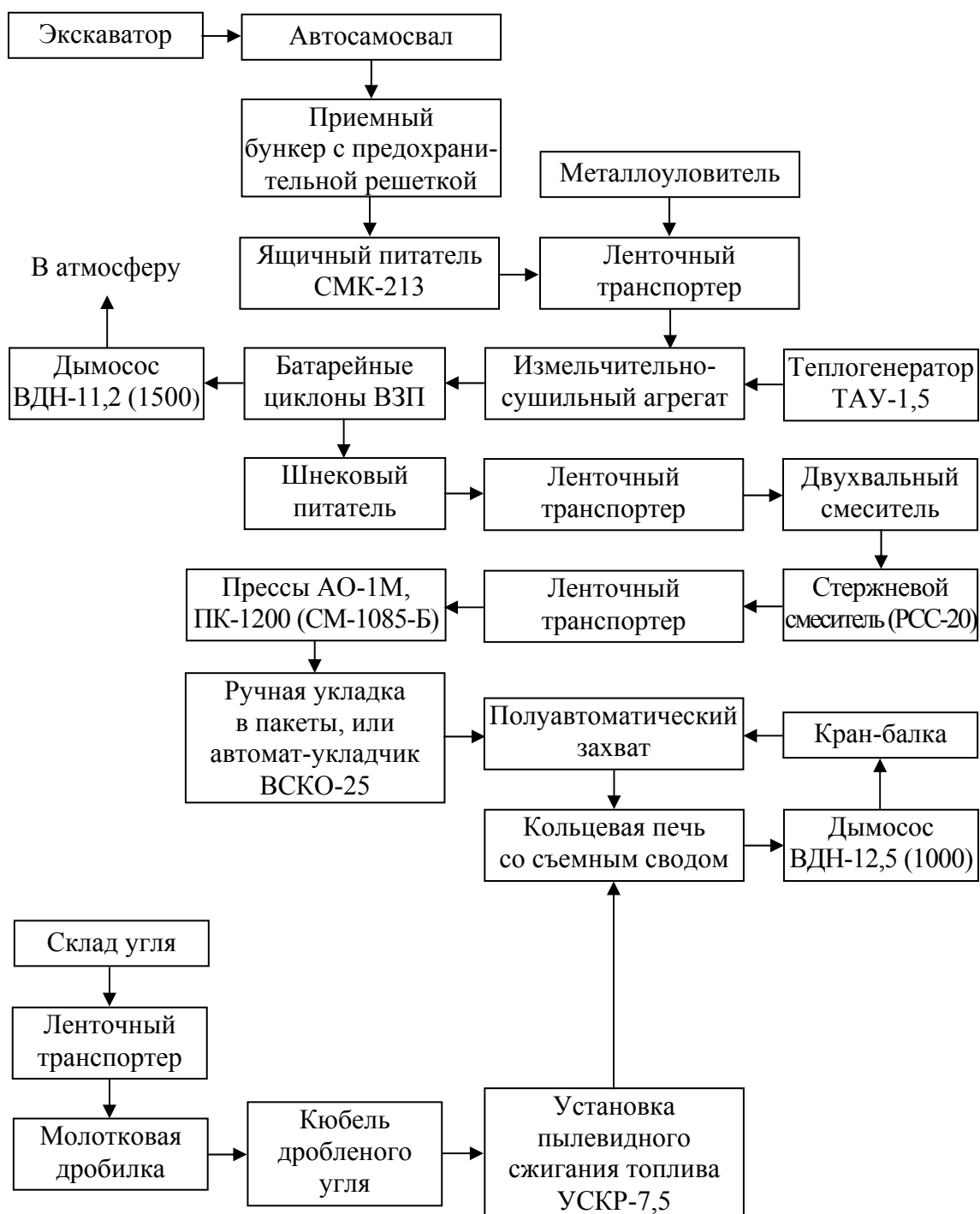


Схема производства кирпича с применением механоактивации

# ПРИЛОЖЕНИЕ 3

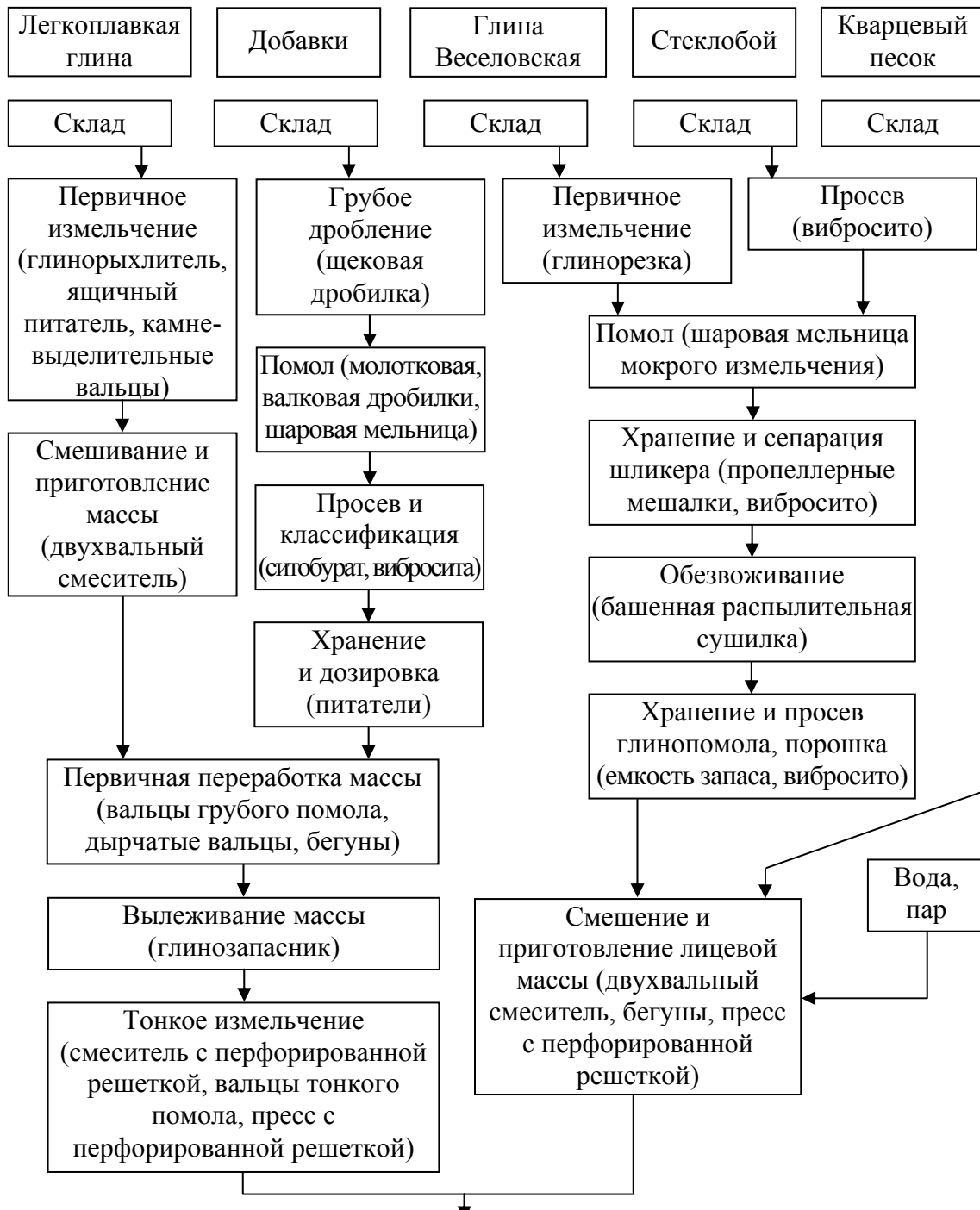
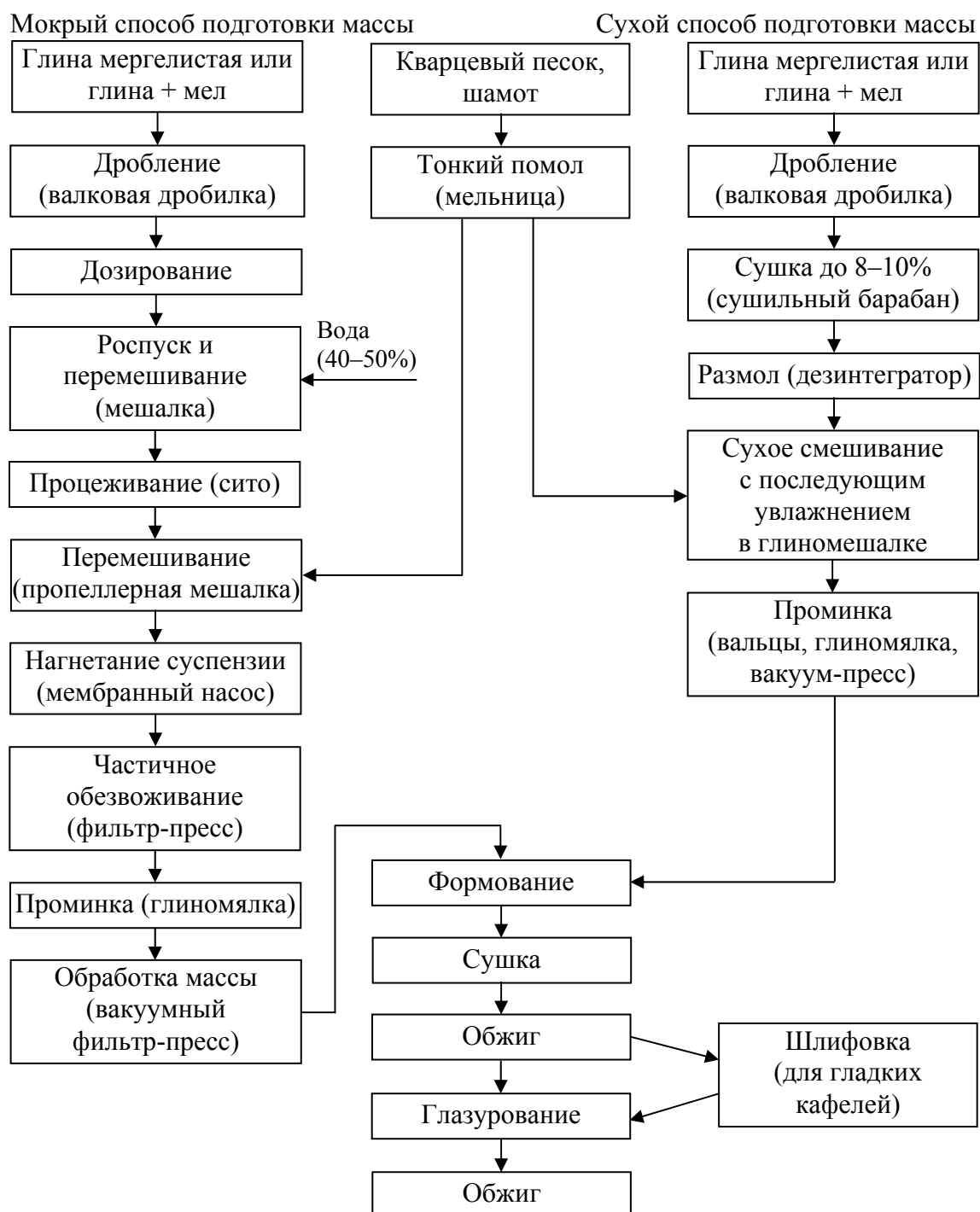


Схема производства керамического кирпича двухслойного формования (начало; окончание см. на с. 125)

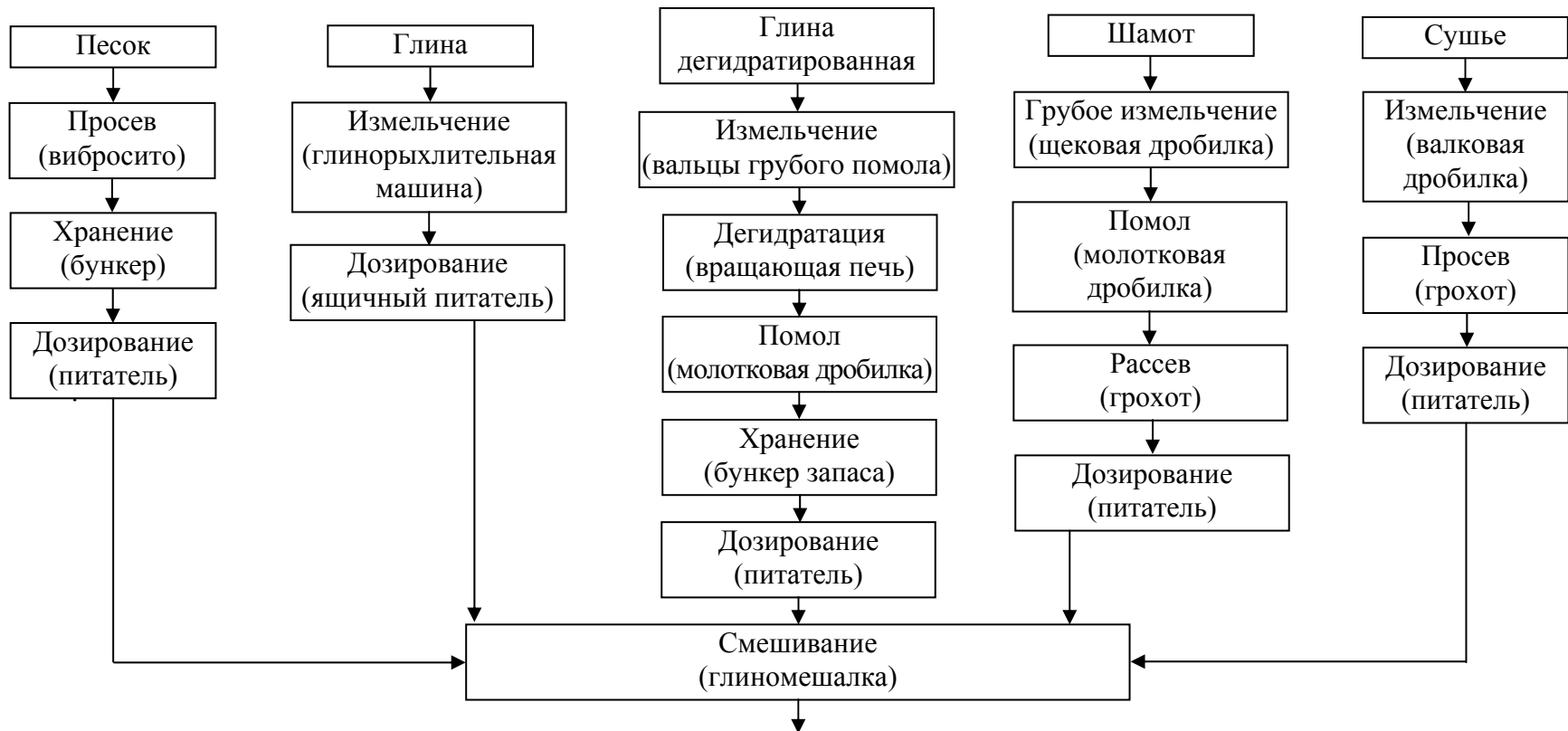


# ПРИЛОЖЕНИЕ 4

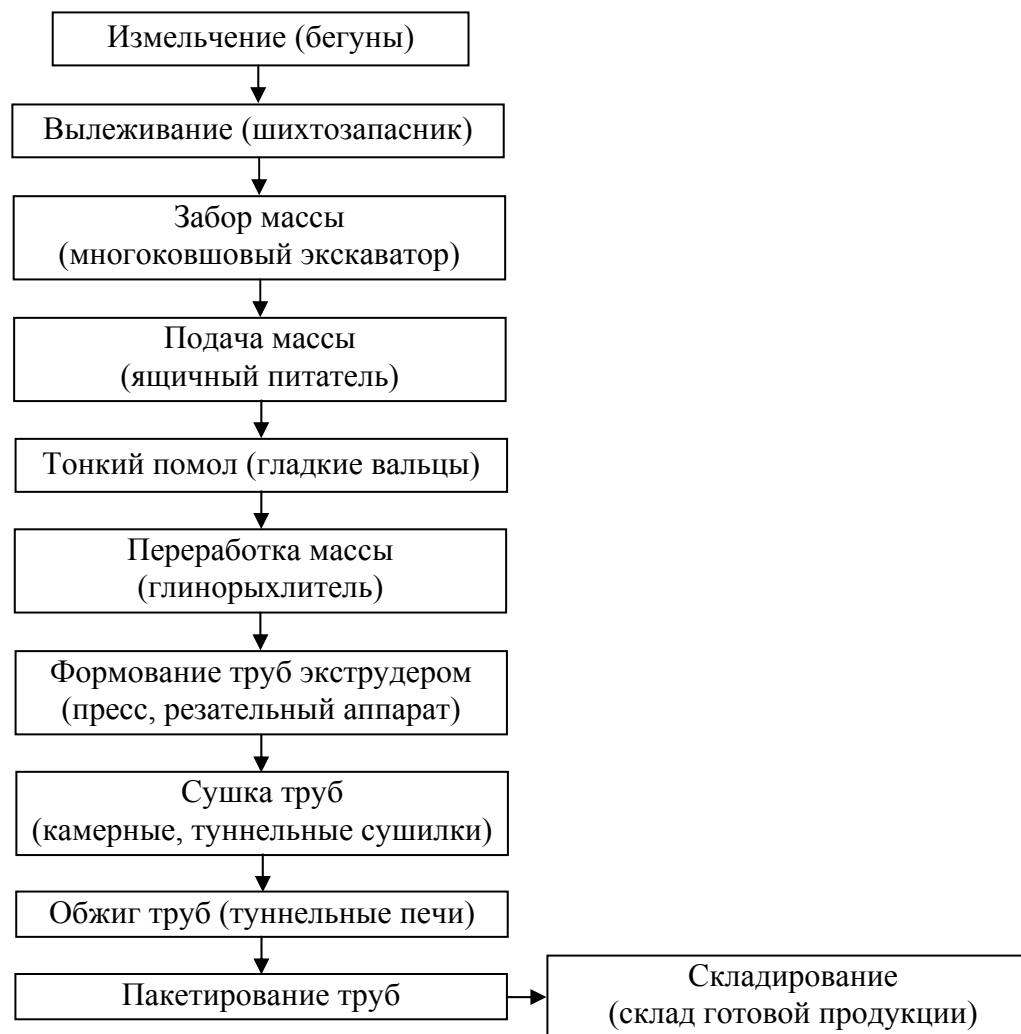


Технологическая схема производства изразцов

# ПРИЛОЖЕНИЕ 5



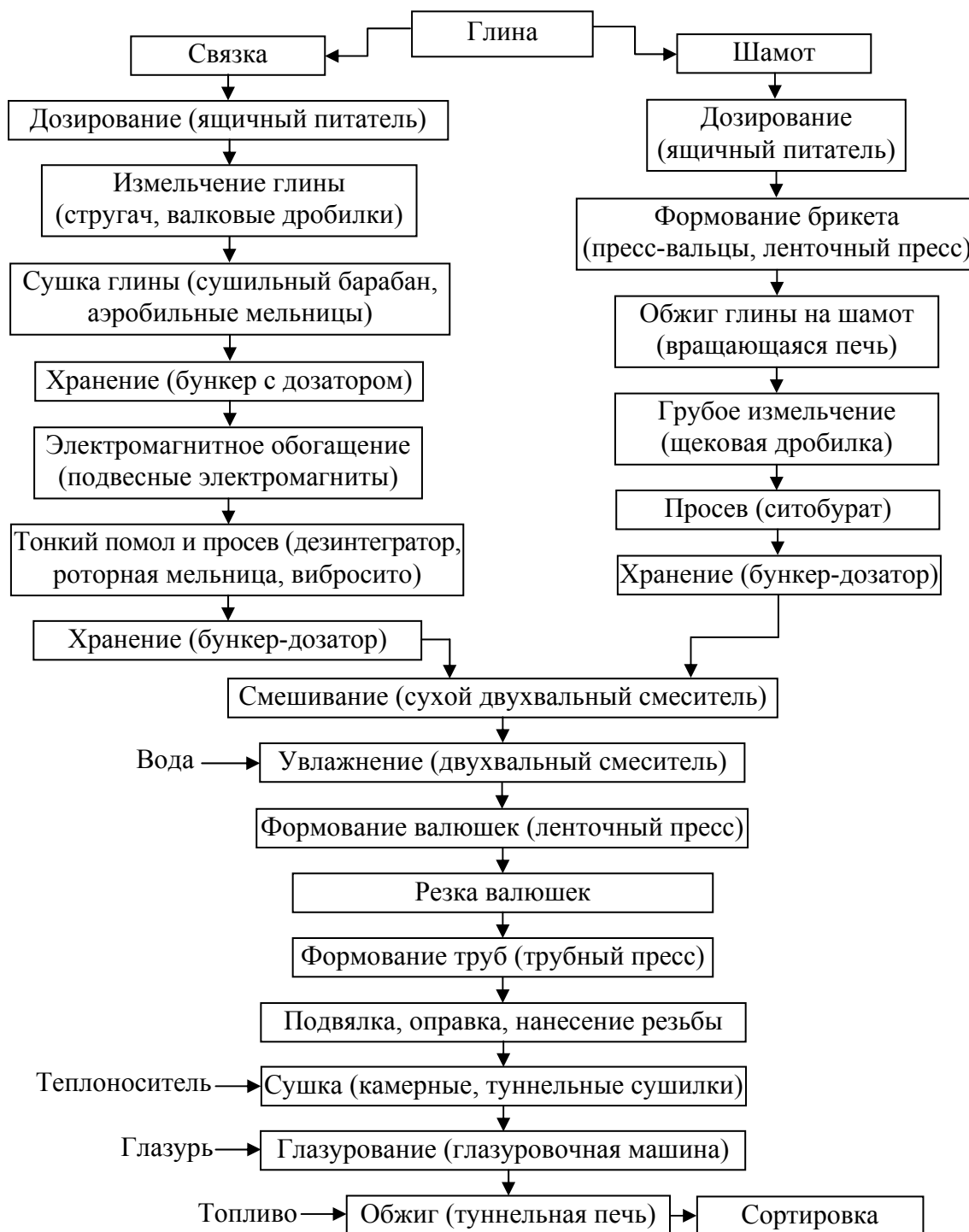
Технологическая схема производства дренажных труб (начало; окончание см. на с. 128)



Окончание (начало см. на с. 127)

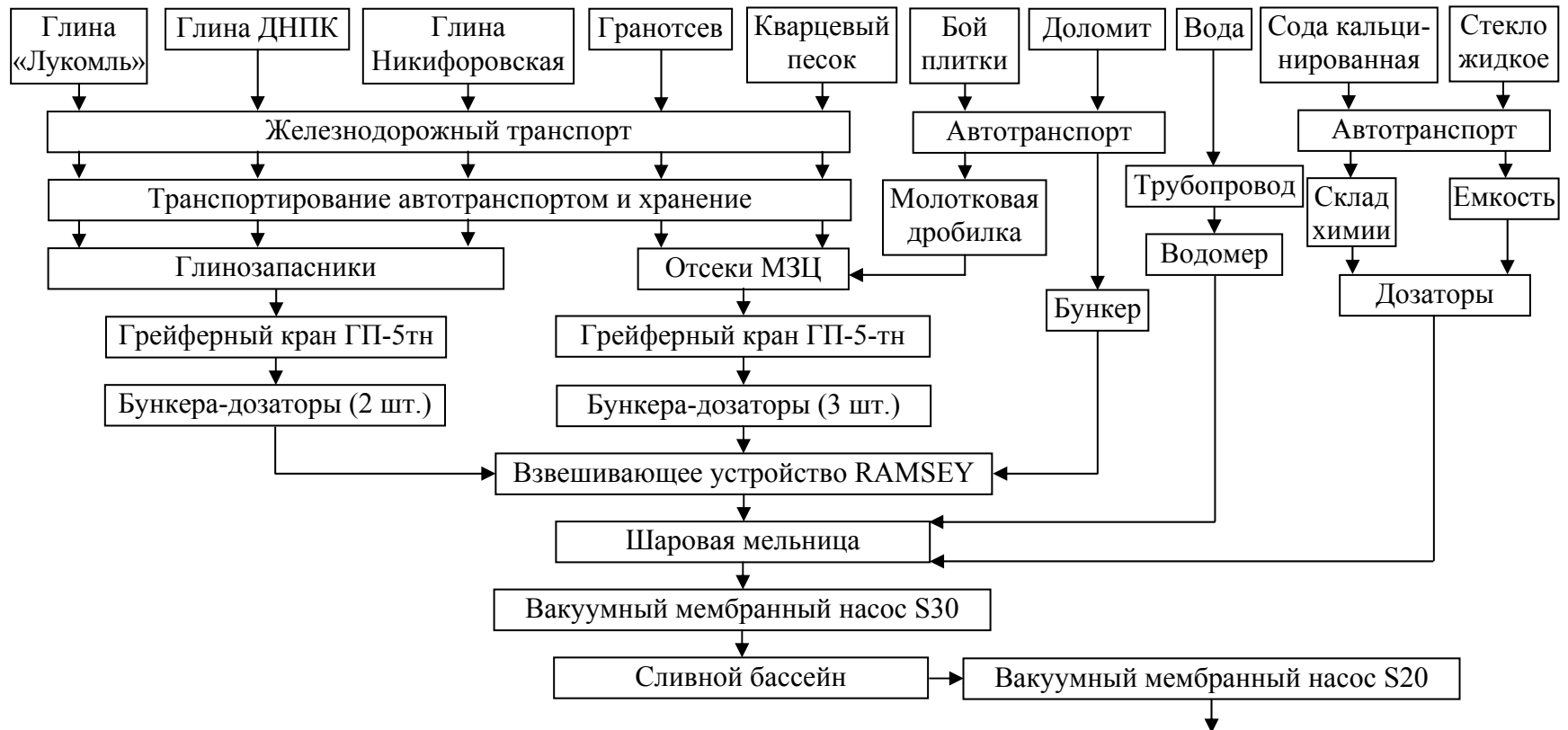


# ПРИЛОЖЕНИЕ 6

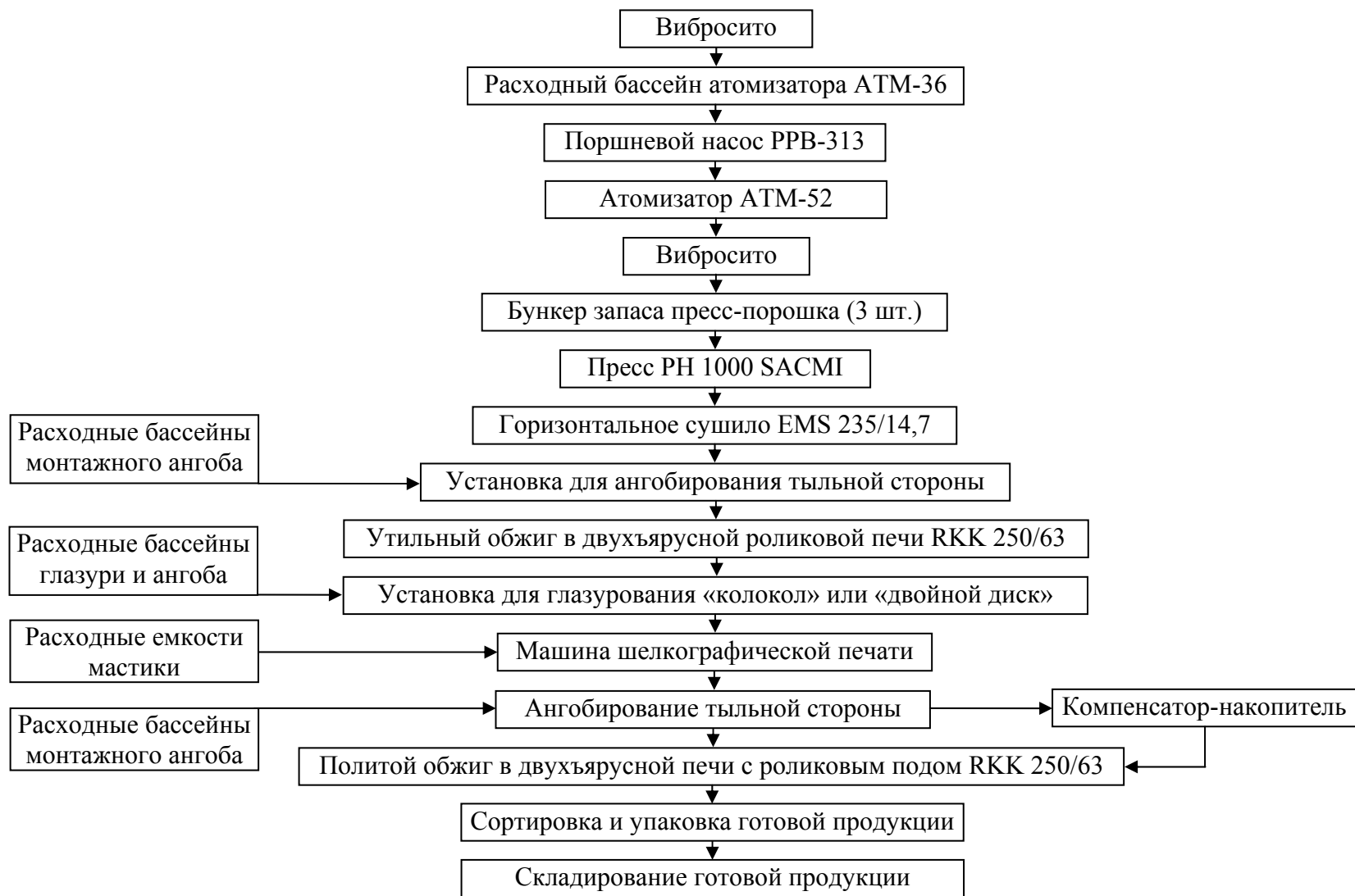


Технологическая схема изготовления канализационных труб

# ПРИЛОЖЕНИЕ 7



Технологическая схема производства керамических глазурованных плиток (начало; окончание см. на с. 131)



Окончание (начало см. на с. 131)



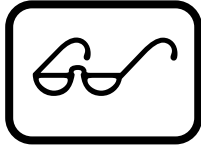
## ЛИТЕРАТУРА

1. Августиник, А. И. Керамика / А. И. Августиник. – Л.: Стройиздат, 1975. – 591 с.
2. Альперович, И. А. Лицевой керамический кирпич объемного окрашивания / И. А. Альперович // Строительные материалы. – 1993. – № 7. – С. 5–9.
3. Бахталовский, И. В. Механическое оборудование керамических заводов / И. В. Бахталовский, В. П. Барыбин, Н. С. Гаврилов. – М.: Машиностроение, 1982. – 432 с.
4. Бобков, В. В. Высолообразование на поверхности наружных стен / В. В. Бобков, А. И. Габитов, А. Е. Чуйкин // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С. 47–49.
5. Буянов, Ю. Г. Проблемы обогащения низкосортного глинистого минерального сырья в производстве тонкой строительной керамики / Ю. Г. Буянов, Б. П. Сердюк // Строительные материалы. – 2003. – № 3. – С. 34–36.
6. Вокалова, Т. В. Рациональное использование природного и техногенного сырья в керамических технологиях / Т. В. Вокалова, В. М. Погребенков // Строительные материалы. – 2007. – № 4. – С. 58.
7. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия: ГОСТ 530–2012. – Введ. 01.07.2013. – М.: Стандартинформ, 2012. – 39 с.
8. Губайдуллин, Г. А. Новые средства мониторинга процессов сушки керамических изделий / Г. А. Губайдуллин // Строительные материалы. – 2008. – № 4. – С. 38.
9. Химическая технология керамики и огнеупоров / И. Я. Гузман [и др.]. – М.: ОАО РАФ «Стройматериалы», 2003. – 493 с.
10. Жуков, Д. В. Скоростная сушка кирпича-сырца / Д. В. Жуков. – М.: Госстройиздат, 1959. – 148 с.
11. Ильевич, А. П. Машины и оборудование для заводов по производству керамики и огнеупоров / А. П. Ильевич. – М.: Высш. шк., 1979. – 344 с.
12. Инчик, В. В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен / В. В. Инчик. – СПб.: СПб ГА СУ, 1998. – 313 с.
13. Кашкаев, И. С. Технология глиняного кирпича / И. С. Кашкаев, Е. Ш. Шейнман. – М.: Стройиздат, 1978. – 288 с.

14. Комлева, Г. П. Объемное окрашивание и ангобирование лицевого керамического кирпича с использованием промышленных отходов / Г. П. Комлева // Строительные материалы. – 2007. – № 2. – С. 36.

15. Кондратенко, В. А. Керамические стеновые материалы: оптимизация их физико-химических свойств и технологических параметров производства / В. А. Кондратенко. – М.: Композит, 2005. – 512 с.

16. Кондратенко, В. А. Проблемы кирпичного производства и способы их решения / А. А. Кондратенко, В. Н. Пешков, Д. Н. Следнев // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 43.



# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	5
1.1. Классификация керамического кирпича и камней.....	5
1.2. Классификация и свойства керамических блоков.....	10
2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	13
2.1. Общие понятия о легкоплавких глинистых материалах.....	13
2.2. Минералогический и химический состав глин, технологические свойства.....	13
2.3. Отошающие, выгорающие и пластифицирующие добавки .....	21
3. ПЕРЕРАБОТКА СЫРЬЯ И ПОДГОТОВКА ФОРМОВОЧНЫХ МАСС .....	25
3.1. Пластическая обработка глин .....	25
3.2. Подготовка непластичных материалов.....	26
3.3. Приготовление пластических масс .....	26
3.4. Шликерная технология подготовки глиномассы.....	27
3.5. Обезвоживание шликера .....	29
4. ФОРМОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА И КАМНЕЙ ИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ И ПОЛУСУХИХ МАСС.....	31
4.1. Пластическое формование .....	31
4.2. Компрессионное формование .....	34
4.3. Производство различных видов керамического кирпича.....	35
4.3.1. Производство лицевого кирпича.....	35
4.3.2. Производство ангобированного кирпича.....	37
4.3.3. Производство объемно-окрашенного кирпича.....	37
4.3.4. Производство глазурованного кирпича.....	38
4.4. Виды брака при формовании .....	39
5. СУШКА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	42
6. ОБЖИГ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	45
6.1. Сущность и назначение обжига.....	45
6.2. Физико-химические процессы при обжиге .....	46
6.3. Печи для обжига.....	46
6.4. Брак при обжиге и причины его возникновения .....	48

7. ПРИМЕР РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОИЗВОДСТВА КИРПИЧА .....	51
8. ИСКУССТВЕННЫЕ ПОРИСТЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ .....	60
8.1. Технология производства аглопорита .....	60
8.2. Пример расчета производительности агломерационной машины .....	66
8.3. Технология производства керамзита .....	67
8.4. Пример расчета материального баланса производства керамзита .....	73
9. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРЕПИЦЫ .....	77
10. ХИМИЧЕСКИ СТОЙКАЯ КЕРАМИКА .....	82
11. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗРАЗЦОВ .....	86
12. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ .....	88
13. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБ .....	91
14. ПРОИЗВОДСТВО САНИТАРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ .....	96
14.1. Применяемое сырье, составы масс и технология производства .....	97
14.2. «Лечка» изделий .....	102
14.3. Пути повышения качества санитарных керамических изделий ..	103
15. ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК .....	105
15.1. Производство керамических плиток для внутренней облицовки стен .....	106
15.2. Производство плиток для полов .....	107
15.3. Описание технологии получения керамических плиток для полов типа «грес» .....	109
15.4. Глазурование керамических плиток для полов и плиток грес .....	112
15.5. Фурнитура и отделочные керамические элементы .....	116
ВОПРОСЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО КУРСА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ» .....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	126
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 .....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ 6 .....	129
ПРИЛОЖЕНИЕ 7 .....	130
ЛИТЕРАТУРА .....	132

Учебное издание

**Пиш** Иван Владимирович

## **ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. С. Ватеичкина*  
Компьютерная верстка *Е. С. Ватеичкина*  
Корректор *Е. С. Ватеичкина*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.