

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра строительных технологий и конструкций

Н. И. АШУРКО, Е. В. БОЙКАЧЕВА, А. Б. БЕЛОКОБЫЛОВА

ИСКУССТВЕННЫЕ ПОРИСТЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНА

Учебно-методическое пособие

Гомель 2019

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра строительных технологий и конструкций

Н. И. АШУРКО, Е. В. БОЙКАЧЕВА, А. Б. БЕЛОКОБЫЛОВА

ИСКУССТВЕННЫЕ ПОРИСТЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНА

Рекомендовано учебно-методическим объединением в сфере высшего образования Республики Беларусь по образованию в области строительства и архитектуры в качестве учебно-методического пособия для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

Гомель 2019

УДК 691.322(075.8)

ББК 38.626

A98

Рецензент – начальник Управления менеджмента качества ОАО «Строительно-монтажный трест № 27» *С. П. Комовская*

Ашурко, Н. И.

A98 Искусственные пористые заполнители для бетона : учеб.-метод. пособие / Н. И. Ашурко, Е. В. Бойкачева, А. Б. Белокобылова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 69 с.

ISBN 978-985-554-795-3

Подготовлено с целью методического обеспечения работы студентов на практических занятиях. Содержит основные требования, предъявляемые к искусственным заполнителям для легких бетонов; информацию по проектированию технологических линий по производству искусственных пористых материалов, а также рекомендации по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Заполнители для бетона».

Предназначено для студентов специальности «Производство строительных изделий и конструкций».

УДК 691.322(075.8)

ББК 38.626

ISBN 978-985-554-795-3

© Ашурко Н. И., Бойкачева Е. В.,
Белокобылова А. Б., 2019

© Оформление. БелГУТ, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИСКУССТВЕННЫМ ПОРИСТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЯМ	5
1.1 Керамзит. Аглопорит.....	5
1.2 Шлаковая пемза. Шунгзит	8
1.3 Вспученный перлит.....	11
1.4 Вспученный вермикулит.....	14
1.5 Термолит.....	15
2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ	17
2.1 Керамзит	17
2.2 Аглопорит.....	36
2.3 Шлаковая пемза.....	44
2.4 Шунгзит	45
2.5 Вспученный перлит.....	47
2.6 Вспученный вермикулит	52
2.7 Термолит	54
3 ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ...	55
3.1 Задание	55
3.2 Состав, объем и правила оформления	55
3.3 Этапы и сроки выполнения	56
4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	57
4.1 Введение	57
4.2 Характеристика выпускаемой продукции. Характеристика сырья	57
4.3 Выбор и обоснование технологической схемы	57
4.4 Технологические расчеты при проектировании производства	57
4.5 Контроль производства и качества продукции	66
4.6 Охрана труда и окружающей среды.....	67
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	68

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано с целью помочь студенту овладеть навыками и методикой самостоятельного решения производственных и технологических задач при организации производства искусственных пористых заполнителей.

Применение легких пористых заполнителей позволяет получать эффективные легкие бетоны для теплоизоляции, стеновых панелей, монолитных стен и разнообразных несущих конструкции; дает возможность уменьшить толщину и массу наружных стен, что ведет к снижению потерь тепла в окружающую среду и индустриализации строительства. Замена обычных тяжелых заполнителей пористыми позволяет существенно изменить свойства бетонов в желаемом направлении, т. е. уменьшить плотность, улучшить теплоизоляционные свойства и т. д. Каждые 10 % уменьшения массы конструкции снижают ее стоимость на 3 %. Таким образом, переход от тяжелых бетонов с плотностью до 2400 кг/м^3 к легким бетонам плотностью $1200\text{--}1400 \text{ кг/м}^3$ (до 1800 кг/м^3) является существенным источником снижения себестоимости строительства. Достаточная прочность ряда пористых заполнителей обеспечивает возможность получения на их основе конструкционных легких бетонов высокой прочности.

Главным источником обеспечения строительства искусственными пористыми заполнителями являются специально созданные предприятия. Данные предприятия создаются там, где есть в них потребность, и базируются, как правило, вблизи местных источников сырья и промышленных предприятий, образующих отходы, пригодные для производства легких заполнителей для бетона. Пористые искусственные заполнители – неорганические зернистые сыпучие строительные материалы, изготавливаемые по специальной технологии или получаемые из отходов металлургического и химического производства, включающих термическое или иное воздействие.

В настоящем учебно-методическом пособии рассмотрены технические требования, виды сырья и технология производства некоторых искусственных пористых заполнителей. Описан порядок выполнения расчетно-графической работы по дисциплине «Заполнители для бетона».

При пользовании учебно-методическим пособием целесообразно проверить действие ссылок на технические нормативные правовые акты (ТНПА) в информационной системе общего пользования (<http://tnpa.by/>). Если заменен ТНПА, на который дана ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого ТНПА с учетом всех внесенных в данную версию изменений.

1 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИСКУССТВЕННЫМ ПОРИСТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЯМ

1.1 Керамзит. Аглопорит

В настоящее время большое развитие получило производство керамзитового гравия. Керамзитовый гравий был запатентован Стефаном Хейдом (США, 1918 г.) и известен за рубежом под названием хайдита. В СССР опытные работы по его получению были начаты в 20-х годах XIX в. Е. В. Костырко, а в послевоенные годы продолжены С. П. Онацким. Опытное производство керамзита было организовано в нашей стране в 1939 г., промышленное – в 1950-х годах. В 1965 г. было выпущено 6,3, а в 1970 г. – 13 млн м³ керамзита.

Керамзит – материал, получаемый обжигом со вспучиванием подготовленных гранул (зерен) из глинистых и песчано-глинистых пород (глин, суглинков, глинистых сланцев, аргиллита, алевролита), шунгитосодержащих пород, трепелов, золошлаковой смеси или золы-уноса тепловых электростанций.

Аглопорит – материал, получаемый спеканием при обжиге подготовленных гранул (зерен) песчано-глинистых пород, трепелов и других алюмосиликатных материалов, а также отходов от добычи, переработки и сжигания ископаемого твердого топлива (зола тепловых электростанций и отходы углеобогащения).

Если керамзит, который, как правило, получается более пористым и легким, чем аглопорит, используется преимущественно для стеновых панелей, то для аглопорита главной областью применения являются конструкционные легкие бетоны. Аглопоритобетон с пределом прочности 20–30, а в отдельных случаях и до 50 МПа, идет на изготовление предварительно напряженных железобетонных конструкций перекрытий и покрытий, большепролетных балок и ферм, мостовых пролетных строений и т. д. Замена в этих конструкциях тяжелого бетона легким аглопоритобетоном значительно повышает их эффективность. Кроме того, аглопоритобетон применяют как конструктивно-теплоизоляционный материал. В частности, в Минске из аглопоритобетона выполнены монолитные стены высотных зданий, возведенных бетонированием в скользящей опалубке.

Требования, предъявляемые к керамзиту и аглопориту, изложены в СТБ 1217 «Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия». Настоящий стандарт распространяется на искусственные пористые гравий керамзитовый, керамзит щебнеподобный, щебень аглопоритовый и песок аглопоритовый и керамзитовый, изготавливаемые различными методами из минерального глинистого сырья с различными добавками и без них.

Гравий, щебень, керамзит щебнеподобный и песок являются негорючими материалами, и их применяют в качестве заполнителей в ходе приготовления легких бетонов по СТБ 1187 «Бетоны легкие. Технические условия» и

силикатных бетонов по ГОСТ 25214 «Бетон силикатный плотный. Технические условия», а также теплоизоляционных засыпок.

Гравий, щебень и керамзит щебнеподобный изготавливают следующих основных фракций: 5–10 мм; 10–20 мм; 20–40 мм. Каждая из фракций содержит все размеры зерен в интервале, определяемом между минимальным и максимальным значениями размера зерен.

Песок, в зависимости от зернового состава, подразделяют на три группы: 1 – для конструкционно-теплоизоляционного бетона; 2 – для конструкционного бетона; 3 – для теплоизоляционного бетона.

Зерновой состав песка должен соответствовать указанному в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Зерновой состав песка

Размер отверстия контрольного сита, мм	Полный остаток на контрольном сите по объему для групп песка		
	1	2	3
5	0–10	0–10	Не нормируется
1,25	20–60	30–50	»
0,315	45–80	65–90	
0,16	70–90	90–100	
Проход через сито 0,16	10–30	0–10	

Предельные значения марок по насыпной плотности для различных видов пористых гравия, щебня, керамзита щебнеподобного и песка должны соответствовать приведенным в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Предельные значения марок по насыпной плотности для различных видов пористых гравия, щебня, керамзита щебнеподобного и песка

Наименование материала	Марка по насыпной плотности, кг/м ³	
	минимальная	максимальная
Гравий керамзитовый	200	600
Керамзит щебнеподобный	400	800
Щебень аглопоритовый	400	900
Песок керамзитовый	500	1000
Песок аглопоритовый	600	1100

В зависимости от прочности, определяемой испытанием в цилиндре, гравий, керамзит щебнеподобный и щебень подразделяют на марки по прочности. Марки по прочности гравия, керамзита щебнеподобного и щебня в зависимости от марок по насыпной плотности должны соответствовать требованиям таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Марки по прочности гравия, керамзита щебнеподобного и щебня в зависимости от марок по насыпной плотности

Марка по насыпной плотности	Марки по прочности, не менее		
	керамзитового гравия	керамзита щебнеподобного	аглопоритового щебня
200	П15	–	–
250	П25	–	–
300	П35	–	–
350	П50	–	–
400	П50	П50	П35
450	П75	П75	П50
500	П100	П75	П50
550	П100	П100	П75
600	П125	П125	П75
700	П150	П125	П100
800	П200	П150	П150
900	П200	П150	П150

Гравий, керамзит щебнеподобный и щебень должны быть морозостойкими и обеспечивать требуемую марку легкого бетона по морозостойкости. Потеря массы после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания не должна превышать 8 %.

В гравии, щебне, керамзите щебнеподобном и песке, применяемых в качестве заполнителей для армированных бетонов, содержание водорастворимых сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃ не должно превышать 1 % по массе.

Структура аглопоритового щебня должна быть устойчивой против силикатного распада. Потеря массы при определении стойкости против силикатного распада не должна превышать 8 %.

Потеря массы при кипячении для керамзитового гравия и щебнеподобного керамзита не должна превышать 5 % по массе. Таким испытанием выявляется наличие опасных известковых включений – «дутиков».

Потеря массы при прокаливании должна быть: для аглопоритового щебня – не более 3 %; для аглопоритового песка – не более 5 %.

Содержание слабообожженных зерен (частиц) в аглопоритовом щебне не должно превышать 5 % по массе.

В отличие от керамзитового гравия, аглопоритовый щебень характеризуется большей долей открытых пор, заполняемых в бетоне водой и цементным тестом. Это приводит к некоторому повышению расхода цемента, но одновременно способствует упрочнению заполнителя и сцеплению его с цементным камнем, что благоприятно сказывается на возможности получения высокопрочного аглопоритобетона. Аглопорит отличается сравнительно высокой однородностью по насыпной плотности

и прочности, что создает предпосылки для его эффективного применения в бетоне.

Важным показателем при подборе составов легких бетонов является водопоглощение легких заполнителей, которое составляет ориентировочно 20–30 % по массе (СТБ 1217 не регламентируется).

Одной из разновидностей керамзита является **обжиговый зольный гравий**. Сырьем для производства обжигового зольного гравия служат золы теплоэлектростанций, в том числе и из отвалов после их гидроудаления.

Технология предусматривает сушку и помол золы, затем ее окатывание в шаровидные гранулы диаметром около 15 мм. Для облегчения грануляции и обеспечения достаточной прочности гранул золу смачивают водным раствором ЛСТ (лигносульфонатов технических) или же добавляют глину. Далее гранулы подсушивают и обжигают в коротких вращающихся печах прямооточного действия, причем их подают сразу в высокотемпературную (около 1200 °С) зону печи. Для повышения пористости гравия в золу можно добавлять древесные опилки.

Насыпная плотность зольного гравия – 300–800 кг/м³. Насыпная плотность гравия фракций 5–10 и 10–20 мм близка. Предел прочности при сдавливании в цилиндре приблизительно соответствует требованиям к керамзитовому гравия той же насыпной плотности.

Основное назначение – конструкционно-теплоизоляционные бетоны.

1.2 Шлаковая пемза. Шунгизит

Требования, предъявляемые к шлаковой пемзе и шунгизиту, изложены в ГОСТ 32496–2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия». Настоящий стандарт распространяется на искусственные пористые гравий шунгизитовый, щебень шлакопемзовый и песок шунгизитовый, шлакопемзовый, применяемые в качестве заполнителей при приготовлении легких бетонов по СТБ 1187 «Бетоны легкие. Технические условия» и силикатных бетонов по ГОСТ 25214 «Бетон силикатный плотный. Технические условия».

Гравий шунгизитовый – искусственный пористый заполнитель, полученный обжигом со вспучиванием подготовленных гранул (зерен) из шунгитового сырья, содержащего тонкораспределенный аморфный углерод – шунгит.

Щебень шлакопемзовый – искусственный пористый заполнитель, полученный поризацией расплава шлаков металлургического производства.

Шлакопемзовый щебень используют главным образом в конструкционно-теплоизоляционных бетонах ограждающих конструкций. В силу меньшей их теплопроводности возможно применение шлакопемзобетона повышенной

плотности без ухудшения его теплозащитных свойств по сравнению, например, с керамзитобетоном: шлакопемзобетон с плотностью 1400 кг/м^3 имеет примерно такую же теплопроводность, как керамзитобетон с плотностью 1200 кг/м^3 .

Шлакопемзовый щебень М800 может использоваться при получении высокопрочных бетонов для различных несущих конструкций. Однако необходимо иметь в виду возможность коррозии стальной арматуры в шлакопемзобетоне из-за содержания в шлаке серы. При производстве предварительно напряженных конструкций, особенно с проволочной арматурой, стойкость арматуры в шлакопемзобетоне должна быть установлена специальным исследованием.

Пористые заполнители в зависимости от размеров зерен подразделяют:

- на крупный заполнитель (гравий и щебень) размером зерен от 5 до 40 мм;
- мелкий заполнитель (пористый песок) размером зерен менее 5 мм.

Гравий и щебень должны изготавливаться следующих основных фракций:

- от 5 до 10 мм;
- от 10 до 20 мм;
- от 20 до 40 мм.

Пористый песок в зависимости от области применения подразделяют на три группы:

- 1) для легкого конструкционного бетона;
- 2) легкого конструкционно-теплоизоляционного бетона;
- 3) легкого теплоизоляционного бетона.

Зерновой состав пористого песка, применяемого для изготовления легких конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных бетонов, должен находиться в пределах, указанных в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Зерновой состав пористого песка, применяемого для изготовления легких конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных бетонов

Размер отверстия контрольного сита, мм	Полный остаток на сите, % по объему, для бетона	
	конструкционно-теплоизоляционного	конструкционного
5	0–10	0–10
2,5	10–40	15–35
1,25	20–60	30–50
0,63	30–70	40–65
0,315	45–80	65–90
0,16	70–90	90–100
Менее 0,16	10–30	0–10

Зерновой состав пористого песка, применяемого для изготовления теплоизоляционных бетонов, не нормируется.

В зависимости от насыпной плотности гравий, щебень и песок подразделяют на марки. Минимальная и максимальная марки по насыпной плотности гравия, щебня и песка должны соответствовать приведенным в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Минимальная и максимальная марки по насыпной плотности гравия, щебня и песка

Наименование заполнителя	Марка по насыпной плотности	
	минимальная	максимальная
Шунгизитовый гравий	М300	М800
Шлакопемзовый щебень	М300	М800

В зависимости от прочности при сдавливании в цилиндре (далее – прочность) гравий и щебень подразделяют на марки. Марки по прочности гравия и щебня зависят от марок по насыпной плотности и должны соответствовать приведенным в таблице 1.6.

Марка по морозостойкости гравия и щебня должна быть не ниже F15. Потеря массы после 15 циклов переменного замораживания и оттаивания не должна превышать 8 %.

Содержание в гравии расколотых зерен не должно превышать 15 % по массе.

Таблица 1.6 – Марки по прочности гравия и щебня в зависимости от марок по насыпной плотности

Марка по насыпной плотности	Марка по прочности	
	шунгизитового гравия	шлакопемзового щебня
М300	П25	П25
М350	П35	П35
М400	П35	П35
М450	П50	П50
М500	П50	П50
М600	П75	П75
М700	П100	П100
М800	П150	П125
М900	П200	–
М1000	П250	–

Среднее значение коэффициента формы зерен гравия должно быть не более 1,5 (**коэффициент формы зерен** – отношение наибольшего размера зерен гравия к наименьшему). При этом количество зерен с коэффициентом формы более 1,5 не должно превышать 15 % для гравия, применяемого для легких бетонов классов по прочности на сжатие В12,5

включительно, и 10 % – для легких бетонов классов по прочности на сжатие выше В12,5.

В гравии, щебне и песке, применяемых в качестве заполнителей для армированных легких бетонов, содержание водорастворимых сернистых и сернокислых соединений в пересчете SO_3 не должно превышать 1 % по массе.

Коэффициент размягчения гравия и щебня, применяемых для легких бетонов, должен быть не менее 0,75 (**коэффициент размягчения** – отношение прочности заполнителя в насыщенном водой состоянии к прочности заполнителя в сухом состоянии).

Водопоглощение гравия и щебня в течение 1 ч не должно превышать, % по массе:

30 – для марок по насыпной плотности до М400;

25 – для марок по насыпной плотности М450–М600;

20 – для марок по насыпной плотности М700–М1000.

Влажность поставляемых гравия, щебня и песка должна быть не более 5 % по массе.

Потеря массы при кипячении для шунгизитового гравия не должна превышать 4 %.

Шлакопемзовый щебень должен быть устойчив против силикатного распада. Потеря массы при определении стойкости против силикатного распада не должна превышать 5 %.

Для пористых заполнителей, применяемых для изготовления легких теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных бетонов, должна определяться теплопроводность.

1.3 Вспученный перлит

Вспученный перлит – материал, получаемый вспучиванием при обжиге подготовленных зерен из вулканических водосодержащих пород (перлит, обсидиан и др.).

Месторождения перлитов, а также обсидианов и других аналогичных вулканических стекол выявлены в Закарпатье, Армении, Азербайджане, Грузии, Приморском крае России, Бурятии.

В перлите содержится около 1–2 % (иногда больше) связанной воды. При обжиге (1000–1250 °С) перлит размягчается и под давлением паров высвобождаемой воды сильно вспучивается. Коэффициент вспучивания – до 10–12. Чем он больше, тем меньше расход сырья на единицу объема продукции. Поэтому многие предприятия, производящие легкий вспученный перлит, работают на привозном сырье с умеренной себестоимостью продукции. Однако если коэффициент вспучивания меньше, удельные затраты на перевозку сырья увеличиваются и себестоимость продукции возрастает.

Вспученный перлит отличается от других пористых заполнителей высоким водопоглощением, которое тем больше, чем больше степень вспучивания.

В отличие от других пористых заполнителей, мелкие фракции вспученного перлита легче крупных. Это объясняется особенностями вспучивания стекловидных пород по сравнению, например, с глинистыми. Так, при производстве керамзита мелкие глиняные гранулы (до 5 мм) часто совсем не вспучиваются, так как еще до размягчения теряют все образующиеся при обжиге газы.

Перлитовая же стекловидная порода удерживает газы, и чем лучше она прогревается в мелких гранулах, тем интенсивнее вспучивается.

Применяют вспученный перлит в качестве теплоизоляционного материала и заполнителя для особо легких теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных, а также жаростойких бетонов.

В ряде случаев перлитовый песок используют как мелкий заполнитель в других видах легкого бетона: керамзитоперлитобетоне, шлакопемзоперлитобетоне и других, в которых крупный заполнитель – керамзит, шлаковая пемза, а мелкий – вспученный перлит.

В связи с большим водопоглощением вспученного перлита и замедленной влагоотдачей представляет интерес его гидрофобизация растворами ГКЖ (гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость), при которой значительно уменьшается водопоглощение и создаются условия для более эффективного использования вспученного перлита.

Требования, предъявляемые к вспученному перлиту, изложены в ГОСТ 10832–2009 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия». Настоящий стандарт распространяется на песок и щебень перлитовые вспученные, получаемые путем термической обработки природного перлитового сырья из вулканических стекловатых водосодержащих пород кислого состава.

Вспученный песок используют при изготовлении легких бетонов, тепло- и звукоизоляционных материалов и изделий, штукатурных растворов, сухих строительных смесей, а также в качестве теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемых поверхностей от –200 до +875 °С. Вспученный щебень используют в качестве заполнителя при изготовлении легких бетонов.

Вспученный перлитовый песок в зависимости от зернового состава подразделяют на группы:

ВПР – вспученный песок рядовой – от 0,16 до 5,0 мм;

ВПК – вспученный песок крупный – от 1,25 до 5,0 мм;

ВПС – вспученный песок средний – от 0,16 до 2,5 мм;

ВПМ – вспученный песок мелкий – от 0,16 до 1,25 мм;

ВПП – вспученный песок очень мелкий (вспученный перлитовый порошок) – до 0,16 мм.

Вспученный щебень в зависимости от зернового состава подразделяют на группы:

ВПЩК – вспученный щебень крупный – свыше 10 до 20 мм;

ВПЩМ – вспученный щебень мелкий – от 5 до 10 мм.

Вспученный песок в зависимости от насыпной плотности подразделяют на марки: М75, М100, М150, М200, М250, М300, М350, М400, М500; вспученный щебень – М200, М250, М300, М350, М400, М500.

Вспученный щебень в зависимости от прочности при сдавливании в цилиндре подразделяют на марки: П15, П25, П35, П50, П75, П125, П100, П150.

Физико-механические показатели вспученного песка должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Физико-механические показатели вспученного песка

Показатель	Марка по насыпной плотности								
	М75	М100	М150	М200	М250	М300	М350	М400	М500
Теплопроводность при температуре (25±5) °С, Вт/(м·°С), не более	0,043	0,052	0,058	0,064	0,070	0,076	0,079	0,081	0,093
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа, не менее	Не нормируется			0,10	0,15	0,30	0,35	0,40	0,60
<i>Примечание</i> – Прочность при сдавливании в цилиндре определяют на вспученном песке с размером зерен от 1,25 до 2,5 мм, применяемом для изготовления легких бетонов.									

Прочность при сдавливании в цилиндре вспученного щебня в зависимости от марки по прочности и марки по насыпной плотности должна соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Прочность при сдавливании в цилиндре вспученного щебня

Марка по насыпной плотности	Марка по прочности
М200	П15
М250	П25
М300	П35
М350	П45
М400	П50
М500	П75
М600	П100
М700	П150

Водопоглощение вспученного щебня в зависимости от марки по насыпной плотности должно соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Водопоглощение вспученного щебня

В процентах

Показатель	Марка по насыпной плотности							
	M200	M250	M300	M350	M400	M500	M600	M700
Водопоглощение по массе, не более	125	100	75	65	50	30	25	10

Вспученный щебень при испытании на морозостойкость должен выдерживать не менее 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания, при этом потеря массы после испытания не должна превышать 8 %.

Для изготовления вспученных песка и щебня используют природное перлитовое сырье из вулканических стекловатых водосодержащих пород кислого состава по ГОСТ 25226.

1.4 Вспученный вермикулит

Вспученный вермикулит – материал, представляющий собой сыпучий зернистый материал чешуйчатого строения, получаемый в результате обжига природных гидратированных слюд.

Вермикулит – разновидность слюды, магниевое-железистый гидроалюмосиликат с содержанием связанной воды 8–18 %. Это сравнительно мягкая горная порода золотистого цвета с перламутровым блеском.

Месторождения вермикулита встречаются в России на Урале, в Мурманской области, Якутии, в ряде районов Сибири и Дальнего Востока.

При температуре 1000–1200 °С вермикулит вспучивается, увеличиваясь в объеме в 15–20 раз и более. Получается пористый материал в виде песка и щебня с насыпной плотностью 80–300 кг/м³.

Вермикулит применяют в качестве теплоизоляционной засыпки при температуре изолируемых поверхностей от –260 до +1100 °С, для изготовления теплоизоляционных изделий, а также в качестве заполнителя для легких бетонов и для приготовления штукатурных растворов: огнезащитных, теплоизоляционных и звукопоглощающих.

Из вспученного вермикулита можно получать особо легкие бетоны небольшой прочности для теплоизоляции. В крупнопанельном домостроении вермикулитобетон используется для утепления панелей наружных стен и совмещенных кровельных покрытий.

Требования, предъявляемые к вспученному вермикулиту, изложены в ГОСТ 12865–67 «Вермикулит вспученный». Вермикулит в зависимости от размера зерен делят на следующие фракции:

- крупные – с размером зерен от 5 до 10 мм;
- средние – от 0,6 до 5 мм;
- мелкие – до 0,6 мм.

Вермикулит в зависимости от плотности подразделяют на марки: 100; 150 и 200. Вермикулит должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Требования, предъявляемые к вспученному вермикулиту

Показатель	Норма для марок		
	100	150	200
1 Плотность, кг/м ³ , не более	100	150	200
2 Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град), не более, при средней температуре:			
(25±5) °С	0,055	0,060	0,065
(325±5) °С	0,130	0,135	0,140
3 Влажность, % по массе, не более	3	3	3

1.5 Термолит

Термолитом называют материал в виде щебня или гравия, получаемый при обжиге кремнистых опаловых пород (трепелы, диатомиты, опоки) без вспучивания.

Требования, предъявляемые к термолитовым заполнителям, изложены в ГОСТ Р 56507–2015 «Заполнители термолитовые на основе кремнистого сырья. Технические условия». Настоящий стандарт распространяется на искусственные пористые термолитовые гравий, щебень и песок, изготавливаемые способом термической обработки кремнистых пород и применяемые в качестве заполнителей для легких конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов по СТБ 1187, ГОСТ 25820 и силикатных бетонов по ГОСТ 25214.

Гравий термолитовый – искусственный пористый заполнитель, полученный обжигом со спеканием и поризацией подготовленных гранул (зерен) из кремнистых пород (трепелов, диатомитов, опок).

Щебень термолитовый – искусственный пористый заполнитель произвольной, преимущественно угловатой формы, полученный спеканием и поризацией в результате обжига фракционированных камнеподобных кремнистых пород (трепела, диатомиты, опоки) или дроблением термолитового гравия крупных фракций и кусков.

Песок термолитовый – искусственный пористый заполнитель с насыпной плотностью не более 1200 кг/м³ и размерами зерен менее 5 мм, получаемый при обжиге кремнистых пород мелкой фракции или дроблением термолитовых гравия и щебня и имеющий стабильную структуру.

Термолитовые заполнители в зависимости от размеров зерен подразделяют:

– на крупный заполнитель (гравий и щебень) размером зерен от 5 до 40 мм (основные фракции: 5–10; 10–20; 20–40 мм);

– мелкий заполнитель (песок) размером зерен менее 5 мм.

В зависимости от насыпной плотности гравий, щебень и песок подразделяют на марки. Минимальная и максимальная марки по насыпной плотности гравия, щебня и песка должны соответствовать приведенным в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Минимальная и максимальная марки по насыпной плотности гравия, щебня и песка термолитовых

Наименование заполнителя	Марка по насыпной плотности	
	минимальная	максимальная
Термолитовый гравий и щебень	M600	M1000
Термолитовый песок	M600	M1200

Марки по прочности термолитовых гравия и щебня в зависимости от марок по насыпной плотности должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Марки по прочности термолитовых гравия и щебня в зависимости от марок по насыпной плотности

Марка гравия и щебня по насыпной плотности	Марка гравия и щебня по прочности
M600	П125
M700	П150
M800	П200
M900	П250
M1000	П300
M1100	П350
M1200	П400

Марка по морозостойкости термолитовых гравия и щебня должна быть не ниже F15. Потеря массы после 15 циклов переменного замораживания и оттаивания не должна превышать, % по массе:

- 8 – для бетонов с маркой по морозостойкости F150 и менее;
- 5 – для бетонов с маркой по морозостойкости более F150.

Коэффициент размягчения термолитовых гравия и щебня должен быть не менее 0,75.

Водопоглощение термолитовых гравия и щебня в течение 1 ч не должно превышать, % по массе:

- 25 – для марки по насыпной плотности M600;
- 20 – для марок по насыпной плотности более M600.

В термолитовых заполнителях, применяемых для армированных легких бетонов, содержание водорастворимых сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃ не должно превышать 1 % по массе.

Термолитовые гравий и щебень:

– не должны содержать известковых и других включений, вызывающих потерю массы при кипячении более 5 %;

– должны быть устойчивыми против силикатного распада. При определении стойкости против силикатного распада потеря массы не должна превышать 8 %;

– должны быть устойчивыми против железистого распада. При определении стойкости против железистого распада потеря массы не должна превышать 5 %;

– не должны содержать более 3 % по массе слабообожженных зерен.

Термолитовые заполнители, применяемые для бетонов, должны обладать стойкостью к воздействию щелочей цемента.

Для термолитовых заполнителей, применяемых при изготовлении легких конструкционно-теплоизоляционных бетонов, должна определяться теплопроводность.

2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

2.1 Керамзит

Керамзит получают главным образом в виде керамзитового гравия, щебня и песка.

Керамзит – материал, получаемый обжигом со вспучиванием подготовленных гранул (зерен) из глинистых и песчано-глинистых пород (глин, суглинков, глинистых сланцев, аргиллита, алевролита), шунгитосодержащих пород, трепелов, золошлаковой смеси или золы уноса тепловых электростанций.

Керамзитовый гравий – заполнитель, вспученные зерна которого имеют округлую или гравелистую форму и шероховатую поверхность, с размерами зерен от 5 до 40 мм.

Керамзитовый щебень – заполнитель произвольной, преимущественно угловатой формы с размерами зерен от 5 до 40 мм, полученный при дроблении керамзита или вспучивании полуфабриката камнеподобного глинистого сырья.

Керамзитовый песок – заполнитель с размером зерен от 0,16 до 5 мм, полученный при обжиге мелких фракций полуфабриката или дроблении керамзита.

Сырье для производства керамзита.

Технические требования к сырью для производства керамзита изложены в ГОСТ 32026–2012 «Сырье глинистое для производства керамзитовых гравия, щебня и песка. Технические условия».

Глинистое сырье – тонкодисперсные осадочные породы, состоящие в основном из глинистых минералов (монтмориллонита, гидрослюда, каолинита и др.), содержащие минеральные (кварцевые, полевошпатные, карбонатные, железистые) и органические примеси.

Глинистое сырье, предназначенное для производства керамзитовых гравия, щебня и песка, соответствующих требованиям СТБ 1217–2000, оценивают по минералого-петрографической характеристике, содержанию основных химических составляющих, показателям физико-механических и технологических свойств.

Минералого-петрографическая характеристика глинистого сырья определяется при геологической разведке месторождений, проведении ис-

пытаний сырья и включает в себя минералогический состав, текстурные и структурные особенности, генезис, наличие крупнозернистых включений, кварца, тонкодисперсных фракций.

Содержание в глинистом сырье частиц глинистых минералов дисперсностью менее 0,005 мм должно быть не менее 30 %.

Содержание в пластичном глинистом сырье частиц дисперсностью менее 0,001 мм должно быть не менее 15 %.

Содержание в глинистом сырье крупнозернистых включений не должно превышать значений, при веденных в таблице 2.1.

Содержание в глинистом сырье кварца (свободного диоксида кремния $\text{SiO}_{2\text{св}}$) должно быть не более 30 % (допускается до 40 % для получения керамики с насыпной плотностью более 800 кг/м^3).

Таблица 2.1 – Содержание в глинистом сырье крупнозернистых включений

Размер крупнозернистых включений, мм	Содержание крупнозернистых включений, % по массе, не более	
	общее количество	в том числе карбонатных
От 0,5 до 1,0 включ.	5,0	3,0
Св. 1,0 до 5,0 включ.	3,0	2,0
Св. 5,0	2,0	1,0

Химический состав глинистого сырья оценивают по количественному содержанию диоксидов кремния и титана, оксидов алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия, суммы соединений серы в перерасчете на SO_3 , в том числе сульфидной серы S, фтора, хлора и органических веществ. Содержание основных химических составляющих в глинистом сырье должно находиться в пределах, указанных в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Содержание основных химических составляющих в глинистом сырье

Наименование химических составляющих глинистого сырья	Содержание, % по массе
Свободный диоксид кремния ($\text{SiO}_{2\text{св}}$)	Не более 30
Диоксид кремния (SiO_2)	» 70
Оксид алюминия (Al_2O_3)	От 10 до 25
Диоксид титана (TiO_2)	» 0,1 » 2,0
Сумма оксидов железа ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$)	» 2,5 » 12,0
Оксид кальция (CaO)	Не более 6,0
Оксид магния (MgO)	» 4,0
Сумма оксидов калия и натрия ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)	От 1,5 до 6,0
Сумма соединений серы в пересчете на SO_3 , в том числе сульфидной (S)	Не более 1,5 » 1,0
Сумма соединений фтора в пересчете на F_2	» 0,5
Сумма соединений хлора в пересчете на Cl_2	» 1,5
Органические вещества	» 3,0

Физико-механические свойства глинистого сырья оценивают по показателям естественной, фактической и формовочной влажности, числу пластичности, огнеупорности.

Естественная влажность – содержание воды в глинистом сырье в условиях его естественного залегания; определяют по результатам испытаний проб, отобранных при проходке горных выработок.

Фактическая влажность – содержание воды в пробе глинистого сырья, поступающего на испытания.

Формовочная влажность – содержание воды в пробе глинистого сырья, при котором глинистая масса обладает пластическими и формовочными свойствами.

Фактическую и формовочную влажность глинистого сырья определяют перед проведением всех видов испытаний.

Число пластичности – показатель, определяемый по разности значений влажности глинистой массы, соответствующих нижней границе текучести и границе раскатывания при переходе глины из пластического состояния в хрупкое. Глинистое сырье должно иметь число пластичности не менее 10.

Огнеупорность – свойство материала противостоять длительному воздействию высоких температур. Огнеупорность глинистого сырья должна быть не более 1350 °С (легкоплавкое глинистое сырье).

Технологические свойства глинистого сырья оценивают по оптимальной температуре термоподготовки, оптимальной температуре вспучивания, температурному интервалу вспучивания и коэффициенту вспучивания.

Оптимальная температура термоподготовки – температура, при которой гранулы полуфабриката не разрушаются в печи термоподготовки или в печи обжига и обеспечивается получение керамзита с минимальной средней плотностью гранул. Оптимальную температуру термоподготовки устанавливают в зависимости от вида глинистого сырья.

Вспучиваемость – свойство некоторых глинистых пород увеличиваться в объеме при обжиге с образованием прочного материала ячеистого строения.

Температурный интервал вспучивания – разность между оптимальной температурой вспучивания и температурой, при которой получают керамзит с минимальной средней плотностью гранул 1,0 г/см³. Температурный интервал вспучивания глинистого сырья должен быть не менее 40 °С.

Группы глинистого сырья по способности вспучиваться и показатели, характеризующие свойства каждой группы, приведены в таблице 2.3.

Коэффициент вспучивания – отношение объема вспученной гранулы к объему гранулы полуфабриката, поступающей на обжиг. Коэффициент вспучивания глинистого сырья должен быть не менее 2,5.

Оптимальная температура вспучивания – температура обжига, при которой получают керамзит с минимальной средней плотностью гранул без оплавления поверхности. Оптимальная температура вспучивания глинистого сырья не должна превышать 1260 °С.

Технология производства керамзита включает следующие основные технологические переделы:

- карьер глинистого сырья (разработка и рекультивация осуществляется по действующим ТНПА);
- отделение приема, переработки сырья и добавок, формовки гранул;
- сушильно-обжиговое отделение;
- отделение отсева по фракциям и складирование готовой продукции.

Разработку месторождений глинистых пород производят открытым способом. Для добычи глинистого сырья используют одноковшовые и многоковшовые экскаваторы, ведущие разработку в карьере по всей высоте уступа, без выделения отдельных пластов материала. При разработке камнеподобных глинистых горных пород (глинистых сланцев, аргиллитов) перед экскавацией сырья производят буровзрывные работы.

Таблица 2.3 – Классификация глинистого сырья по вспучиваемости

Группа глинистого сырья по вспучиваемости	Разновидность сырья	Число пластичности	Основные минералогические характеристики		Коэффициент вспучивания	Насыпная плотность керамзита, кг/м ³
			Глинистые минералы	Содержание кварца, %		
Хорошо вспучивающееся	Высокопластичные глины. Сланцы	Более 25	Монтмориллонит. Гидрослюда. Примесь каолинита в небольших количествах	Не более 15	4,5 и более	Менее 400
Средне вспучивающееся	Среднепластичные глины и суглинки. Аргиллиты. Сланцы	От 15 до 25	Гидрослюда. Монтмориллонит. Каолинит	Свыше 15 до 20 включ.	От 2,5 до 4,5	400–550 включ.
Слабо вспучивающееся	Умеренно пластичные глины и суглинки. Аргиллиты. Сланцы	От 10 до 15	Монтмориллонит. Каолинит. Гидрослюда	Свыше 20 до 30 включ.	Не менее 2,5	Более 550

Мягкие глинистые породы добывают в карьерах, работающих сезонно, камнеподобные – в течение всего года. Для обеспечения непрерывной работы заводов устраивают глинохранилища вместимостью до полугодового запаса сырья с предохранением его от промерзания. Запасы глины также хранят в промежуточных конусах, где она вылеживается в течение нескольких месяцев на открытом воздухе. В результате температурных воздействий, особенно мороза, переменного увлажнения и высушивания происхо-

дит предварительное разрушение естественной структуры сырья, значительно облегчающее ее последующую переработку в однородную формовочную массу.

Выбор способа переработки сырья определяется свойствами исходного сырья, а качество заполнителя зависит от режима термической обработки, при котором создаются оптимальные условия вспучивания подготовленных сырцовых гранул (зерен).

Различают четыре основных технологических схемы подготовки сырцовых гранул, или четыре способа производства керамзита: сухой, пластический, порошково-пластический и мокрый.

Сухой способ используют при наличии камнеподобного глинистого сырья (плотные сухие глинистые породы, глинистые сланцы). Он наиболее прост: сырье дробится и направляется во вращающуюся печь. Предварительно необходимо отсечь мелочь и слишком крупные куски, направив последние на дополнительное дробление. Этот способ оправдывает себя, если исходная порода однородна, не содержит вредных включений и характеризуется достаточно высоким коэффициентом вспучивания. Влажность сырцовых крошки не должна превышать 9 %.

Наибольшее распространение получил *пластический способ*. Рыхлое глинистое сырье по этому способу перерабатывается в увлажненном состоянии в вальцах, глиномешалках и других агрегатах (как в производстве кирпича). Затем из пластичной глиномассы на ленточных шнековых прессах или дырчатых вальцах формируются сырцовые гранулы в виде цилиндров, которые при дальнейшей транспортировке или при специальной обработке окатываются, округляются.

Качество сырцовых гранул во многом определяет качество готового керамзита. Поэтому целесообразна тщательная переработка глинистого сырья и формование плотных гранул одинакового размера. Размер гранул задается исходя из требуемой крупности керамзитового гравия и установленного для данного сырья коэффициента вспучивания.

Перерабатываемое оборудование выбирают в зависимости от физико-механических свойств глин: их влажности и дисперсности. Энергозатраты на переработку возрастают с повышением дисперсности сырья и уменьшением его влажности. Обычно формовочная влажность глин находится в пределах 18–28 %.

Гранулы с влажностью примерно 20 % могут сразу направляться во вращающуюся печь или, что выгоднее, предварительно подсушиваться в сушильных барабанах, в других теплообменных устройствах с использованием теплоты отходящих дымовых газов вращающейся печи. При подаче в печь подсушенных и подогретых гранул ее производительность может быть повышена.

Таким образом, производство керамзита по пластическому способу сложнее, чем по сухому, более энергоемко, требует значительных капиталов-

вложений. Однако переработка глинистого сырья с разрушением его естественной структуры, усреднение, гомогенизация, а также возможность улучшения его добавками позволяют увеличить коэффициент вспучивания.

Порошково-пластический способ отличается от пластического тем, что вначале помолом сухого глинистого сырья получают порошок, а потом из этого порошка при добавлении воды получают пластичную глиномассу, из которой формуют гранулы, как описано выше. Необходимость помола связана с дополнительными затратами. Кроме того, если сырье недостаточно сухое, требуется его сушка перед помолом. Но в ряде случаев этот способ 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.

Мокрый (шликерный) способ заключается в разведении глины в воде в специальных больших емкостях – глиноболтушках. Влажность получаемой пульпы (шликера, шлама) – примерно 50 %. Пульпа насосами подается в шламбассейны и оттуда – во вращающиеся печи. В этом случае в части вращающейся печи устраивается завеса из подвешенных цепей. Цепи служат теплообменником: они нагреваются уходящими из печи газами и подсушивают пульпу, затем разбивают подсыхающую «кашу» на гранулы, которые окатываются, окончательно высыхают, нагреваются и вспучиваются. Недостаток этого способа – повышенный расход топлива, связанный с большой начальной влажностью шликера. Преимуществами являются достижение однородности сырьевой пульпы, возможность и простота введения и тщательного распределения добавок, простота удаления из сырья каменистых включений и зерен известняка. Этот способ рекомендуется при высокой карьерной влажности глины, когда она выше формовочной (при пластическом формовании гранул). Он может быть применен также в сочетании с гидромеханизированной добычей глины и подачей ее на завод в виде пульпы по трубам вместо применяемой сейчас разработки экскаваторами с перевозкой автотранспортом.

Сушка сырцовых гранул не является обязательной технологической операцией перед обжигом при производстве керамзита. Объясняется это тем, что в технологии керамзита без ущерба для качества готового продукта глинистые материалы из хорошо вспучивающихся пород или обогащенных добавками можно обжигать не только при любой формовочной влажности, но и в виде шлама, в котором содержание воды достигает 40–60 %. Наличие трещин, деформаций и разрушений в сырцовых гранулах существенного

влияния на конечный результат производства не оказывает, так как окончательное формирование зерен вспученного материала из гранул произвольной формы, в том числе и осколков разрушенного сырца, происходит в процессе обжига во вращающейся печи. При этом отмечается, что в процессе вспучивания все гранулы и их осколки увеличиваются в объеме и принимают, как правило, гравелистую форму без следов трещин и деформаций, полученных при сушке или предварительной тепловой обработке.

Таким образом, сушка гранулированного материала не вызывается требованиями технологии вспучивания глинистых пород. Но по соображениям технико-экономического порядка целесообразно в максимальной мере использовать тепло отходящих газов печей и остывающего керамзита для сушки и подогрева материала перед обжигом.

При производстве керамзита по сухому способу сушку не применяют. При производстве по мокрому способу этот процесс осуществляется в удлиненной зоне сушки вращающейся печи.

Искусственная сушка гранул применяется на предприятиях, работающих по пластическому способу. Приготовленный пластическим способом гранулированный полуфабрикат обычно имеет влажность 16–25 %.

Сушка сырцовых гранул может производиться во вращающейся печи для обжига или в отдельном сушильном агрегате (сушильном барабане или слоевом подготовителе).

При совмещении сушки и обжига в одной вращающейся печи ее работа непосредственно зависит от поступления сырцовых гранул с формующего оборудования, которое, так же как и печь, должно работать непрерывно. С технологической точки зрения для бесперебойного питания печей целесообразно иметь необходимый запас сырцовых гранул, которые не слипались бы при хранении. С этой целью производят предварительную подсушку гранул в сушильном барабане, за счет чего увеличивается их прочность и предотвращается возможность слипания между собой.

Сушильные барабаны представляют собой стальные цилиндры длиной от 8 до 30 м, диаметром от 1 до 2,8 м, устанавливаемые на двух опорах с наклоном к горизонту 2,5–6°. Для улучшения перемешивания материала, удлинения его пути и увеличения поверхности теплопередачи внутри сушильных барабанов устраивают пересыпающие устройства в виде лопастей, уголков и т. п. Теплоносителем при сушке служат отходящие из печи дымовые газы, температура которых при входе в сушильный барабан обычно не превышает 800 °С и может регулироваться добавками наружного воздуха, смешиваемого с горячими газами.

Продолжительность сушки составляет 20–40 минут. Для каждого материала режим сушки устанавливается опытным путем. Остаточная влажность после сушки колеблется от 7 до 15 %.

Применяют также эффективные сушильные агрегаты типа слоевых подготовителей, подготовителей псевдооживленного слоя, в которых сырцовые гранулы высушивают до нулевой влажности и подогревают перед обжигом.

Слоевой подготовитель (рисунок 2.1) выполнен в виде вертикальной конструкции высотой около 10 м, состоящей из приемного бункера, двух наклонных решеток, по которым самотеком перемещаются сырцовые гранулы, разгрузочного барабана и тетки. Сушка осуществляется отходящими из печи горячими газами, движение которых в подготовителе показано стрелками. Газы сначала проходят через материал на нижней решетке, затем рециркуляционным дымососом направляются под верхнюю решетку, а часть их – возвращается вниз.

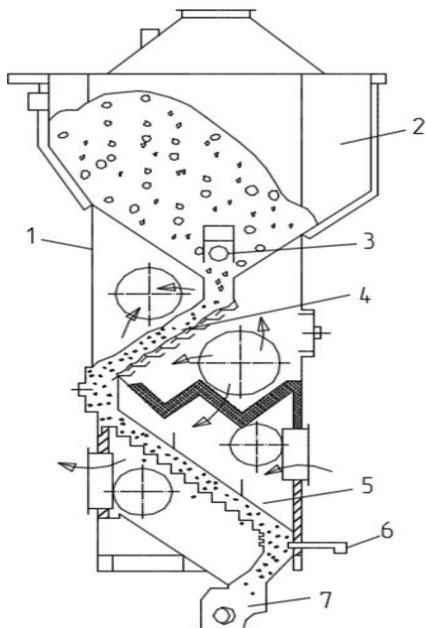


Рисунок 2.1 – Слоевой подготовитель:
1 – корпус; 2 – приемный бункер;
3 – указатель уровня материала; 4 – верхняя наклонная решетка; 5 – нижняя наклонная решетка; 6 – термопара; 7 – барабан разгрузочной тетки

Обжиг глиняных гранул по оптимальному режиму является основной технологической операцией в производстве керамзита. Для вспучивания глиняной гранулы нужно, чтобы активное газовыделение совпало по времени с переходом глины в пиропластическое состояние. Между тем в обычных условиях газообразование при обжиге глины происходит в основном при более низких температурах, чем их пиропластическое размягчение. Например, температура диссоциации карбоната магния – до 600 °С, карбоната кальция – до 950 °С, дегидратация глинистых минералов происходит в основном при температуре до 800 °С, а выгорание органических примесей еще ранее, реакции восстановления оксидов железа развиваются при температуре порядка 900 °С, тогда как в пиропластическое состояние глины переходят при температурах, как правило, выше 1100 °С.

В связи с этим при обжиге сырцовых гранул в производстве керамзита необходим быстрый подъем температуры, так как при медленном обжиге значительная часть газов выходит из глины до ее размягчения и в результате получаются сравнительно плотные маловспученные гранулы. Но, чтобы быстро нагреть гранулу до температуры вспучивания, ее сначала нужно

подготовить, т. е. высушить и подогреть. В данном случае интенсифицировать процесс нельзя, так как при слишком быстром нагреве в результате усадочных и температурных деформаций, а также быстрого парообразования гранулы могут потрескаться или разрушиться (взорваться).

Оптимальным считается ступенчатый режим термообработки по С. П. Онацкому: с постепенным нагревом сырцовых гранул до 200–600 °С (в зависимости от особенностей сырья) и последующим быстрым нагревом до температуры вспучивания (примерно 1200 °С).

Обжиг осуществляется во вращающихся печах, которые в зависимости от конструкции подразделяются на однобарабанные, в том числе с запечеными теплообменниками, и двухбарабанные.

Наибольшее распространение получили однобарабанные вращающиеся печи диаметром 2,5 м и длиной 40 м, представляющие собой цилиндрический металлический барабан, футерованный внутри огнеупорным кирпичом (рисунок 2.2). Печь имеет загрузочные и разгрузочные устройства. Она загружается гранулами керамзита через загрузочный лоток, который смонтирован на корпусе осадительной камеры вместе с механизмом очистки. Материал поступает на обжиг через цилиндрическую воронку и по течке направляется в обжиговую печь. Разгрузочная часть вращающейся печи имеет специальную откатную головку, предназначенную для уплотнения выходного торца печи и для установки форсунок и приемки готового материала. Печи устанавливаются с уклоном примерно 3 % и медленно вращаются вокруг своей оси. Благодаря этому сырцовые гранулы, подаваемые в верхний конец печи, при ее вращении постепенно передвигаются к другому концу барабана, где установлена газовая горелка или форсунка для сжигания газообразного или жидкого топлива. Таким образом, вращающаяся печь работает по принципу противотока: сырцовые гранулы перемещаются навстречу потоку горячих газов, подогреваются и, наконец, попав в зону непосредственного воздействия огненного факела форсунки, вспучиваются. Среднее время пребывания гранул в печи – около 1 ч.

Чтобы обеспечить оптимальный режим термообработки, зону вспучивания печи, непосредственно примыкающую к форсунке, иногда отделяют от остальной части (зоны подготовки) кольцевым порогом. Аналогичный эффект достигается, когда барабан вращающейся печи имеет уширение в зоне вспучивания или уширения с обоих концов и суженную среднюю часть – «талию».

Так как вспучивание гранул происходит при достижении глиной пиропластического состояния, то даже незначительные отклонения от заданных параметров производства могут привести к слипанию гранул между собой или их прилипанию к футеровке печи (образование «спеков» или «приваров»).

Эффективным приемом в производстве керамзита является опудривание гранул огнеупорными порошками. Опудривание огнеупорными порошками осуществляется либо по свежесформованным сырьевым гранулам в специальном барабане для опудривания, либо непосредственно во вращающейся печи перед зоной вспучивания, куда огнеупорный порошок подается специальным устройством.

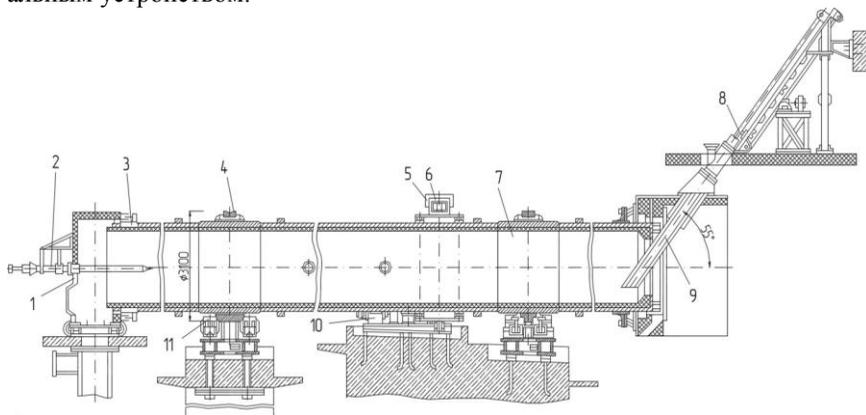


Рисунок 2.2 – Вращающаяся печь диаметром 2,5 м и длиной 40 м:

1 – откатная головка; 2 – форсунка; 3 – лабиринтное уплотнение; 4 – бандаж; 5 – кожух шестерни; 6 – венцовая шестерня; 7 – корпус печи; 8 – механизм очистки; 9 – загрузочный лоток; 10 – привод печи; 11 – опорные ролики

Опудривание гранул позволяет повысить стабильность процесса производства, а в ряде случаев и температуру обжига, что ведет к снижению насыпной плотности керамзита и к увеличению производительности печей.

Использование теплоты газов, отходящих из вращающихся печей, является источником снижения удельного расхода топлива. Применение с этой целью внутripечных и запечных теплообменников позволяет получить экономии топлива от 10 до 30 %.

При обжиге керамзита в двухбарабанных печах зоны подготовки и вспучивания представлены двумя сопряженными барабанами, вращающимися с разными скоростями. Барабан тепловой подготовки (меньшего диаметра) и барабан вспучивания (большого диаметра) располагаются или по одной оси (так, что первый несколько входит во второй), или на разных уровнях (соединенные между собой промежуточной пересыпной камерой). Положение каждого барабана на роликоопорах в процессе эксплуатации должно быть строго фиксированным, особенно в первом случае, с тем, чтобы не допускать разуплотнения стыков и повышения нагрузок на ролики. Барабаны тепловой подготовки имеют диаметр 2,5–3 м и длину 20–35 м, а барабаны вспучивания соответственно 3,5–4,5 м и 19–24 м. Каждый барабан имеет

самостоятельный привод, обеспечивающий вращение его с регулируемой скоростью. Скорости вращения барабанов подбирают так, чтобы в барабане вспучивания пересыпающиеся гранулы продвигались в 1,5–2 раза быстрее, чем в барабане предварительной тепловой подготовки. В двухбарабанной печи удается создать оптимальный для каждого вида сырья режим термообработки. Промышленный опыт показал, что при этом улучшается качество керамзита, увеличивается его выход, а также сокращается удельный расход топлива.

В связи с тем, что хорошо вспучивающегося глинистого сырья для производства керамзита сравнительно мало, при использовании средне и слабо вспучивающегося сырья необходимо стремиться к оптимизации режима термообработки.

От скорости охлаждения керамзита зависят его прочностные свойства. При слишком быстром охлаждении керамзита его зерна могут растрескиваться или же в них сохраняются остаточные напряжения, которые могут проявиться в бетоне. С другой стороны, и при слишком медленном охлаждении керамзита сразу после вспучивания возможно снижение его качества из-за смятия размягченных гранул, а также в связи с окислительными процессами, в результате которых FeO переходит в Fe₂O₃, что сопровождается деструкцией и снижением прочности.

Сразу после вспучивания желательно быстрое охлаждение керамзита до температуры 800–900 °С для закрепления структуры и предотвращения окисления закисного железа. Затем рекомендуется медленное охлаждение до температуры 600–700 °С в течение 20 минут для обеспечения затвердевания стеклофазы без больших термических напряжений, а также формирования в ней кристаллических минералов, повышающих прочность керамзита. Далее возможно сравнительно быстрое охлаждение керамзита в течение нескольких минут.

Первый этап охлаждения керамзита осуществляется еще в пределах вращающейся печи поступающим в нее воздухом. Затем керамзит охлаждается воздухом в барабанных, слоевых холодильниках, холодильниках-аэрожелобах (рисунки 2.3 и 2.4).

Для сортировки (фракционирования) керамзитового гравия используют грохоты, преимущественно барабанные – цилиндрические (рисунок 2.5) или многогранные (бураты).

Внутризаводской транспорт керамзита – конвейерный (ленточные транспортеры), иногда пневматический (поток воздуха по трубам). При пневмотранспорте возможно повреждение поверхности гранул и их дробление. Поэтому этот удобный и во многих отношениях эффективный вид транспорта керамзита не получил широкого распространения.

Фракционированный керамзит поступает на склад готовой продукции бункерного или силосного типа.

Керамзитовый песок. Для изготовления керамзитобетонных изделий нужен не только керамзитовый гравий, но и мелкий пористый наполнитель – керамзитовый песок.

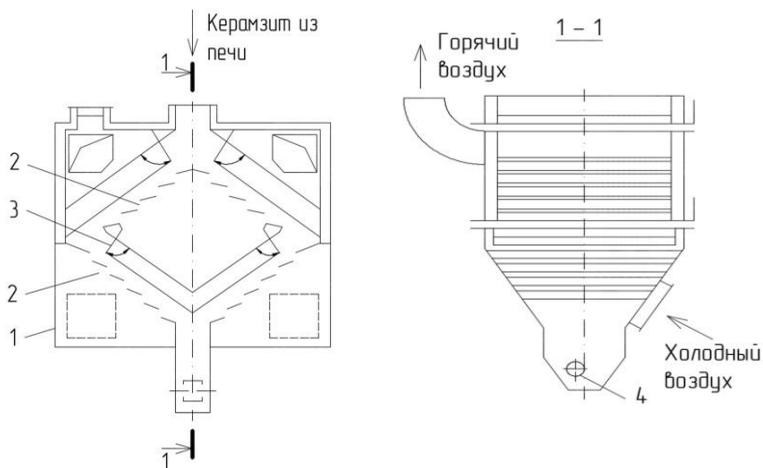


Рисунок 2.3 – Слоевой холодильник:

1 – корпус теплообменника; 2 – наклонные решетки; 3 – поворотный шибер;
4 – разгрузатель

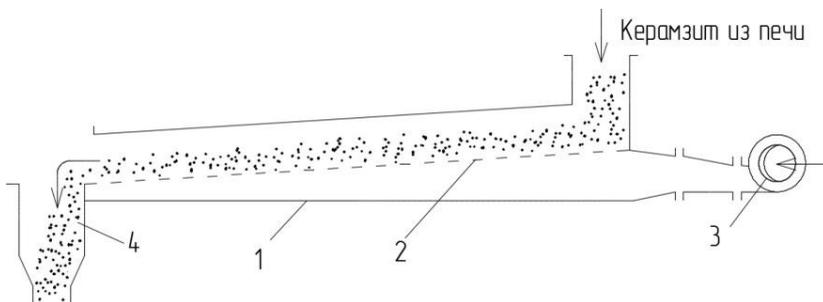


Рисунок 2.4 – Аэрожелоб-холодильник:

1 – корпус; 2 – перфорированное днище; 3 – дутьевой вентилятор;
4 – течка разгрузочная

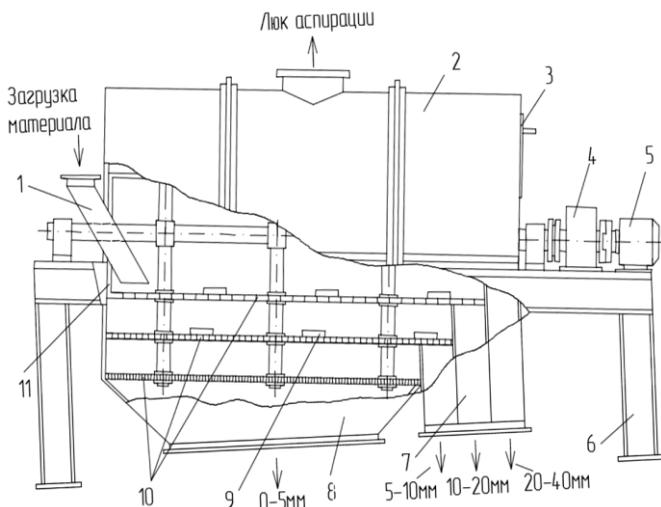


Рисунок 2.5 – Гравиесортировка:

- 1 – течка загрузочная; 2 – люк аспирационный; 3 – кожух; 4 – люк обслуживания;
 5 – редуктор; 6 – электродвигатель; 7 – рама; 8, 9 – течки разгрузочные;
 10 – пороги; 11 – сита барабанные

Производство керамзитового песка по обычной технологии во вращающейся печи неэффективно. Некоторая примесь песчаной фракции получается при производстве керамзитового гравия за счет разрушения частиц в процессе термообработки, однако он сравнительно тяжелый, так как мелкие частицы глинистого сырья практически не вспучиваются (резервы газообразования исчерпываются раньше, чем глина переходит в пиропластическое состояние). Кроме того, в зоне высоких температур мелкие гранулы разогреваются сильнее крупных, при этом возможно их оплавление и налипание на зерна гравия.

На многих предприятиях керамзитовый песок получают дроблением керамзитового гравия преимущественно в валковых дробилках. Себестоимость дробленого керамзитового песка высока не только в связи с дополнительными затратами на дробление, но главным образом потому, что выход песка всегда меньше объема дробимого гравия. Коэффициент выхода песка составляет 0,4–0,7, т. е. в среднем на 1 м³ гравия получают только около 0,5 м³ дробленого керамзитового песка. При этом почти вдвое возрастает его насыпная плотность.

В настоящее время при получении керамзитового песка лучшей считают технологию его обжига в кипящем слое. В вертикальную печь загружают

глиняную крошку размером частиц до 3 или 5 мм, получаемую дроблением подсушенной глины или специально приготовленных по пластическому способу и затем высушенных гранул. Печь (рисунок 2.6) имеет две зоны: обжига и подогрева, разделенные между собой сплошной перегородкой. Через решетчатый (пористый) под печи снизу под давлением подают воздух и газообразное топливо.

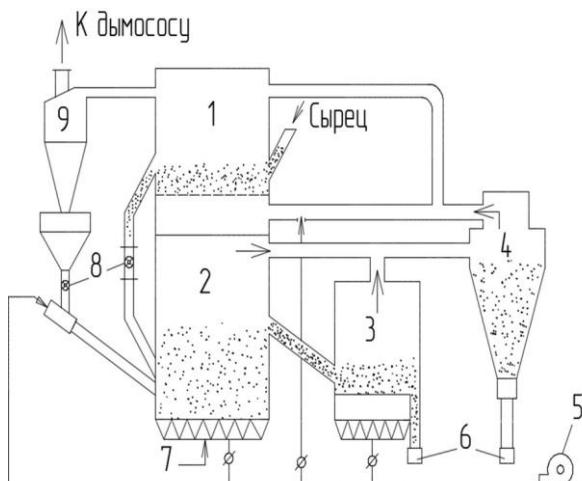


Рисунок 2.6 – Схема двухзонной печи кипящего слоя:

- 1 – зона предварительного подогрева; 2 – зона обжига; 3 – холодильник кипящего слоя;
- 4 – футерованный циклон; 5 – нагнетатель воздуха; 6 – выгрузочные клапанные затворы;
- 7 – подача газа; 8 – секторные затворы на наружных перетоках;
- 9 – циклон зоны термодготовки

При определенной скорости подачи газов слой глиняной крошки разрыхляется, приходит в псевдооживленное состояние и при ее увеличении как бы «кипит». Газообразное топливо сгорает непосредственно в кипящем слое. Благодаря интенсификации теплообмена в кипящем слое происходит быстрый и равномерный нагрев материала. Частицы глины обжигаются и вспучиваются примерно за 1,5 мин. Перед подачей в зону обжига глиняная крошка подогревается в кипящем слое зоны термодготовки примерно до 300 °С, а готовый песок после обжига охлаждается в кипящем слое холодильного устройства. Часть мелких фракций песка с отходящими газами из зоны обжига поступает в футерованный циклон и осажается, а очищенные газы направляются в зону предварительного нагрева печи. Паспортная производительность печи кипящего слоя СМС-139 составляет 6,7 м³/ч. Насыпная плотность получаемого керамзитового песка – 500–700 кг/м³.

Технологические схемы производства. Рекомендуемые оптимальные мощности заводов и цехов по производству керамзитовых гравия и песка, согласно нормам технологического проектирования предприятий ТКП 45-7.02-175-2009, составляют:

- заводы – 200–400 тыс. м³ в год;
- цехи – 100–200 тыс. м³ в год.

При этом обычно предусматривают выпуск продукции со следующим соотношением по фракциям:

- 1) керамзитовые гравий и песок по СТБ 1217:
 - фракция 0–5 мм – 10–20 %;
 - фракция 5–10 мм – 40–60 %;
 - фракция 10–20 мм – 20–40 %;

2) возможно производство керамзитовых гравия и песка по СТБ EN 13055-1 и ГОСТ EN 14063-1 следующего фракционного состава:

- фракция 0–4 мм – 10–20 %;
- фракция 4–8 мм – 40–60 %;
- фракция 8–20 мм – 20–40 %.

Предварительными испытаниями сырья устанавливают способ производства, состав шихты, технологическую схему производства и ожидаемое качество керамзита.

Большинство предприятий производят керамзит по пластическому способу с применением технологических схем, отличающихся вариантами переработки глинистого сырья и типом обжиговых печей (агрегатов).

На рисунке 2.7 представлена принципиальная технологическая схема типового цеха по производству керамзитового гравия мощностью 200 тыс. м³ в год. Цех состоит из трех отделений: подготовительно-формовочного, печного и склада готовой продукции. Сырье автосамосвалами из карьера или конуса, расположенного вблизи производства, доставляют на склад вместимостью 3500 м³ (восьмисуточный запас). Мостовым грейферным краном глину равномерно распределяют по площади склада и подают в производство.

В подготовительно-формовочном отделении установлены две линии переработки сырья и формирования сырцовых гранул, одна из которых показана на рисунке 2.7, и линия подсушки глины с повышенной карьерной влажностью. В теплое время года глину можно подавать автосамосвалами непосредственно в приемный бункер глинорыхлителя линии подсушки сырья. Разрыхленную глину повышенной влажности направляют сначала в камневыделительные вальцы, затем – в сушильный барабан.

Подсушенную глину транспортируют ленточным конвейером в приемный бункер линии переработки сырья, где ее измельчают в вальцах грубого помола, перемешивают в глиномешалке, в которую при необходимости подают добавку, например водный раствор ЛСТ, затем дополнительно измельчают в вальцах тонкого помола с зазором между валками 1–1,5 мм.

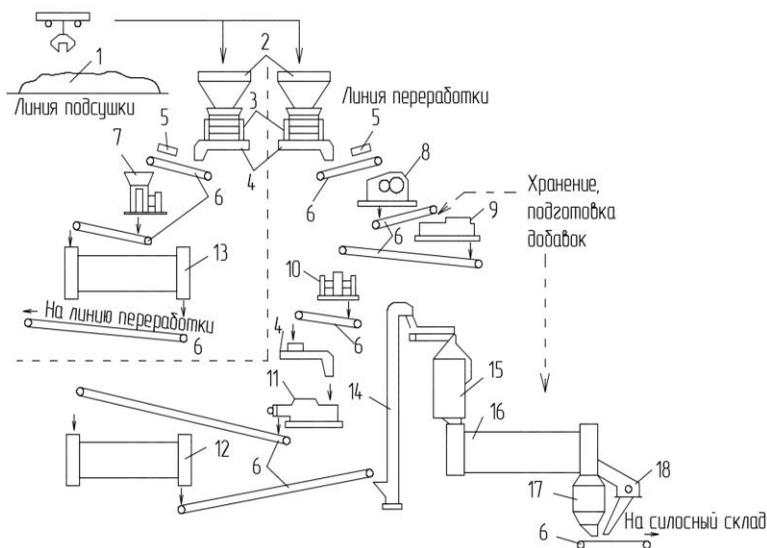


Рисунок 2.7 – Технологическая схема производства керамзита с подготовкой сырьевых гранул по пластическому способу и обжигом в агрегате СМС-197:

- 1 – склад глины, оборудованный мостовым электрическим краном с грейфером; 2 – бункер приемный; 3 – глинорыхлитель; 4 – питатель ящичный; 5 – железозотделитель подвесной; 6 – конвейер ленточный; 7 – вальцы дырчатые (или камневыведительные); 8 – вальцы грубого помола (камневыведительные); 9 – пресс ленточный шнековый с камневыведительной приставкой (или смеситель с фильтрующей решеткой); 10 – вальцы тонкого помола; 11 – пресс ленточный шнековый с гранулирующей приставкой; 12 – барабан сушильный для подсушки гранул; 13 – барабан сушильный для подсушки глины; 14 – элеватор; 15 – подготовитель слоевой; 16 – печь вращающаяся; 17 – холодильник слоевой; 18 – дробящее устройство (для спеков)

Подготовленную массу транспортируют в ящичный питатель, установленный над формующим агрегатом, для его бесперебойного питания.

Формование сырьевых гранул осуществляют на ленточном шнековом прессе с гранулирующей приставкой. В качестве формующего агрегата могут быть использованы и дырчатые формующие вальцы, если перерабатывают суглинки с числом пластичности менее 15 или сырье, сильно засоренное крупными включениями.

Сформованные гранулы окатываются и подсушиваются в сушильном барабане до влажности не более 19 %, а затем их транспортируют в печное отделение для обжига в агрегате СМС-197. В слоевом подготовителе (СМС-198) гранулы полностью высушиваются и поступают во вращающуюся печь (СМС-199) подогретыми до 200 °С, где происходит их дальнейший нагрев и вспучивание при температуре 1150–1250 °С. Вспученные гранулы

сначала несколько охлаждаются в печи (примерно до 900–1000 °С), а затем в слоевом холодильнике (СМ-1250) до 80 °С. Предельная скорость охлаждения гравия крупностью до 20 мм не должна превышать 100 °С/мин.

Охлажденный керамзит транспортируют ленточными конвейерами на склад готовой продукции, где элеватором его подают на рассев в гравиесортировку. Полученные фракции распределяют по силосным банкам ленточным конвейером. Для фракций 5–10 и 10–20 мм предусмотрено по три силоса, для фракций 0–5 и 20–40 мм – по одному силосу. Вместимость силосных банок рассчитана на четырехсуточный запас готовой продукции.

На складе предусмотрен узел дробления крупных фракций (свыше 20 мм) с последующим рассевом в гравиесортировке и распределением по силосным банкам.

Отгрузка готовой продукции предусмотрена на автомобильный и железнодорожный транспорт.

На рисунке 2.8 представлена технологическая схема производства керамзита с пластическим способом подготовки сырья, которая применяется на заводах производительностью 100 тыс. м³ керамзита в год. Глина, поступающая из карьера, попадает в рыхлительную машину 1, где она разбивается на куски размером не более 100 мм, и далее в ящичный подаватель 2 с размером ячеек приемной решетки 100×100 мм, откуда направляется на ленточный конвейер 3 и в камневыведительные вальцы 4. После пропуска через вальцы глина приобретает мелкозернистую структуру и направляется конвейером 5 к глиномешалкам 6 и 7. Глиномешалка 6 обеспечивает первичное перемешивание увлажненного материала с одновременным его прогревом. После этого глина поступает в глиномешалку 7 и на дырчатые вальцы 8, предназначенные для формирования глиняных гранул.

Сушка гранул в барабане основана на принципе противотока, при котором горячие дымовые газы дымососом 12 движутся против направления движения материала, находящегося во вращающемся барабане, который расположен под небольшим углом (2–6°) к горизонтальной плоскости. Двигаясь таким образом, газы, кроме обогрева, очищают материал от пыли и мелкой крошки, которую они выносят из барабана через отводящие газовойды в циклоны 11.

Подогретый гранулированный материал из сушильного барабана поступает на пластинчатый конвейер 10, в вертикальный ковшовый элеватор 13, на челночный конвейер 14 и в расходные бункера, оборудованные тарельчатыми питателями 15, которые служат для равномерной выдачи гранул в обжиговую печь 16.

Технологической схемой предусмотрены две вращающиеся печи для обжига. Обе печи работают по принципу противотока. Воздух для сгорания подается в печь вентилятором 17. Для охлаждения керамзита под каждой печью установлены холодильники 18 с вентиляторами 19. В холодильниках температура керамзита 800–900 °С снижается до температуры 60–80 °С.

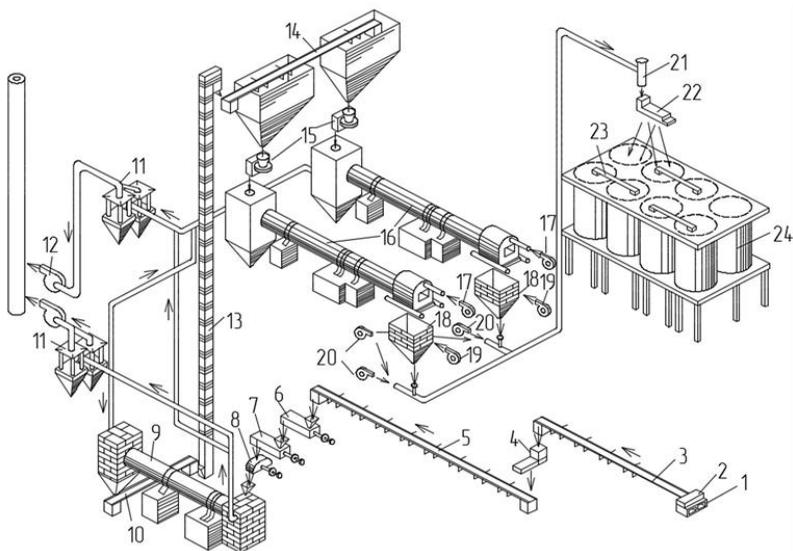


Рисунок 2.8 – Технологическая схема производства керамзита пластическим способом во вращающейся печи 2,5×40 м:

- 1 – рыхлительная машина, 2 – ящичный питатель; 3, 5, 23 – ленточный конвейер; 4 – камневальцовые валцы; 6, 7 – глиномешалки; 8 – дырчатые валцы; 9 – сушильный барабан; 10 – пластинчатый конвейер; 11 – циклоны; 12 – дымососы; 13 – вертикальный ковшовый элеватор; 14 – челюстной конвейер; 15 – тарельчатые питатели; 16 – обжиговые печи; 17, 19, 20 – вентилятор; 18 – холодильники; 21 – циклон; 22 – грависортировка; 24 – силосный склад готовой продукции

Керамзит транспортируется на склад системой пневмотранспорта. Давление воздуха в трубопроводах создается вентиляторами 20. В концевой части трубопроводы имеют циклон 21. Выделенный и остывший в системе пневмотранспорта керамзит подается на грависортировку 22, разделяющую его на фракции размером до 5, 5–10, 10–20 и 20–40 мм. Разделенный керамзит подается на ленточные конвейеры 23, которые распределяют его по силосным банкам 24 готовой продукции. Производство керамзитового песка в печах кипящего слоя целесообразно организовывать при заводах и цехах керамзитового гравия, используя в качестве сырья гранулы-полуфабрикаты от сушильного барабана.

Технологический процесс производства керамзитового песка цеха мощностью 50 тыс. м³ в год приведена на рисунке 2.9. Цех предусмотрен для размещения на территории завода керамзитового гравия.

Технологический процесс производства складывается следующим образом. Подсушенные гранулы из подготовительно-формовочного отделения завода подают в бункер запаса сырья (примерно на 2 ч) для их последующего

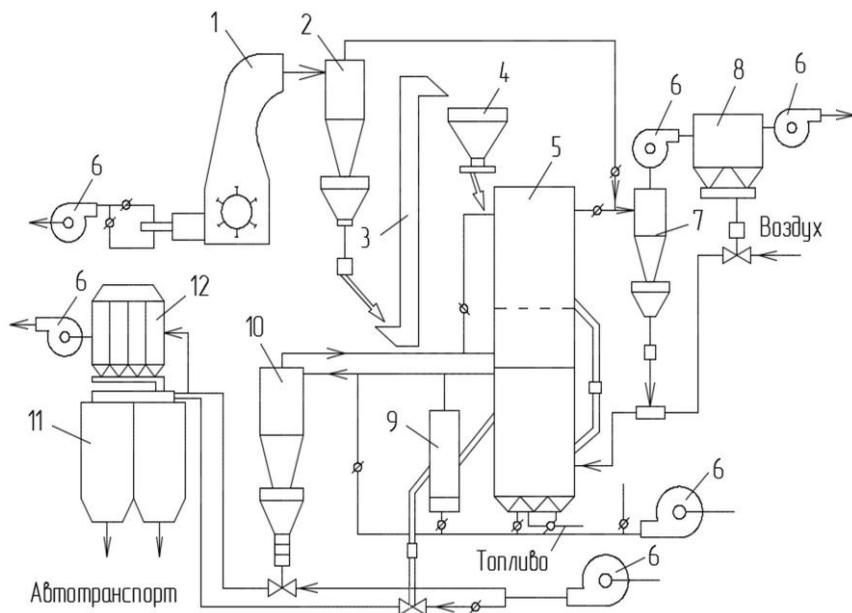


Рисунок 2.9 – Технологическая схема производства керамзитового песка:
 1 – молотковая мельница; 2 – осадительный циклон; 3 – элеватор; 4 – бункер; 5 – печь кипящего слоя СМС-139; 6 – вентиляторы; 7 – батареи циклонов; 8 – электрофильтр; 9 – холодильник; 10 – футерованный циклон; 11 – склад готовой продукции; 12 – рукавный фильтр

измельчения и подсушки в молотковой мельнице. Глиняная крошка размером менее 5 мм (влажность 8–12 %) отделяется в осадительном циклоне от теплоносителя и направляется в расходный бункер двухзонной печи кипящего слоя. Температура в зоне термоподготовки – 200–400 °С, в зоне обжига – 1000–1100 °С. Из зоны обжига большая часть керамзитового песка (примерно 70 %) поступает в холодильник кипящего слоя, температура в котором находится в пределах 120–180 °С. Другая часть, состоящая из пылевидных и мелких частиц (около 30 %), выносится в футерованный циклон. Керамзитовый песок из холодильника и циклона поступает в систему пневмотранспорта и далее на склад готовой продукции.

Предусмотрены также пневмотранспортные системы для возврата уловленных уносов в зону обжига печи и система необходимой газоочистки.

Склад готовой продукции состоит из двух силосов, которые могут загружаться керамзитовым песком одновременно или поочередно. Выгрузка песка из силосов предусмотрена в автотранспорт или в железнодорожные вагоны.

2.2 Аглопорит

Вспучивающееся глинистое сырье, пригодное для производства керамзита, не часто встречается. Более распространены малопластичные, тощие, запесоченные глинистые породы, суглинки, которые при обжиге не вспучиваются. Эти породы можно использовать для получения аглопорита.

Если керамзит, который, как правило, получается более пористым и легким, чем аглопорит, используется преимущественно для стеновых панелей, то для аглопорита главной областью применения являются конструкционные легкие бетоны. Аглопоритобетон с пределом прочности 20–30, а в отдельных случаях и до 50 МПа, идет на изготовление предварительно напряженных железобетонных конструкций перекрытий и покрытий, больших пролетных балок и ферм, мостовых пролетных строений и т. д. Замена в этих конструкциях тяжелого бетона легким аглопоритобетоном значительно повышает их эффективность.

Кроме того, аглопоритобетон применяют как конструкционно-теплоизоляционный материал. В частности, в Минске из аглопоритобетона выполнены монолитные стены высотных зданий, возведенных бетонированием в скользящей опалубке.

Сырье. Основным сырьем для производства аглопорита являются глинистые породы. Пригодные для агломерации (спекания) глинистые породы (суглинки, супеси, лёсс и т. д.) имеются почти повсеместно, поэтому производство аглопорита из местного сырья можно организовать в различных районах, где требуется этот строительный материал.

Впервые промышленное производство аглопорита из глинистого сырья было организовано в 1958 г. в Минске.

Однако глинистыми породами сырьевая база производства аглопорита не исчерпывается. Очень широко в качестве сырья могут быть использованы различные отходы промышленности, особенно топливосодержащие. На основе технологических исследований Минского НИИСМ, других институтов и организаций было организовано производство аглопорита из топливных шлаков, зол, отходов добычи сланцев и угля. Топлива, содержащегося в них, как правило, достаточно для ведения процесса агломерации. Важно только усреднить сырье по содержанию топлива и затем, если его не хватает, добавить при подготовке шихты, а если содержится больше, чем требуется для процесса агломерации (что более вероятно), добавить к топливосодержащим отходам глинистое сырье.

Первоочередным резервом для расширения сырьевой базы производства аглопорита являются отходы углеобогащения. Угля в них содержится в среднем до 20 %.

Основы технологии аглопорита

Аглопорит получают агломерацией сырья. Этот способ широко применяют в металлургической промышленности для агломерации руд. Сущность процесса состоит в следующем.

Из сырья с добавкой топлива (угля) готовят рыхлую шихту и укладывают ее на колосниковую решетку. Под решеткой в вакуум-камере отсос воздуха вентилятором (дымососом) создает разрежение, благодаря которому происходит просос воздуха через шихту. Сверху шихту поджигают. За счет горения угля в ней создается высокая температура (до 1400–1500 °С). При этом шихта спекается в пористую остеклованную массу. Процесс спекания осуществляется сравнительно быстро. Горячие газы, отсасываемые вниз, подогревают нижележащие слои шихты, и зона горения постепенно передвигается к колосниковой решетке. Верхние спекшиеся слои в это время несколько охлаждаются просасываемым воздухом. Когда зона горения топлива доходит до колосниковой решетки и процесс агломерации завершается, получают спекшийся аглопоритовый корж, который дробят на щебень и песок.

Производительность агломерационной машины зависит от скорости спекания сырья

$$v = h / t,$$

где h – высота слоя спекаемой шихты, мм;

t – продолжительность спекания, т. е. время, необходимое для перемещения зоны горения от поверхности слоя до колосниковой решетки, мин.

Для различных видов сырья и составов шихты вертикальная скорость спекания составляет 5–10 мм/мин и более. Например, слой шихты 200 мм спекается за 20–40 мин.

В промышленных условиях при производстве аглопорита из глинистых пород шихту готовят следующим образом. Глинистое сырье, дробленый каменный уголь (крупность не более 5 мм), а также добавки (опилки) смешивают в определенной пропорции. Массовая доля угля составляет, как правило, 7–12 %. Если глинистое сырье сухое, то в глиномешалку подается вода. Перемешанная шихта должна иметь рыхлую комковатую структуру.

В специальных машинах – грануляторах (например, в барабанном грануляторе (рисунок 2.10), работающем по принципу окатывания комочков во вращающемся барабане) – шихта гранулируется.

Барабанный гранулятор выполнен на базе сушильного барабана с использованием его основных узлов. Он состоит из барабана 2 диаметром 1600 мм, опорных 3 и опорно-упорных роликов 5 и привода 4. Для лучшей грануляции шихты внутри корпуса гранулятора смонтирован смеситель. Он расположен около внутренней поверхности обечайки в нижней части барабана. Вал смесителя установлен на двух опорах. Около одной

из опор на валу смесителя размещена звездочка цепной передачи, с помощью которой смесительный вал соединяется с очистным. Цепная передача обеспечивает вращение обоих валов в одну сторону. На валах под углом к продольной оси установлены лопасти с шагом 60 мм друг относительно друга. Угол наклона лопастей выбирается с учетом производительности гранулятора и качества грануляции.

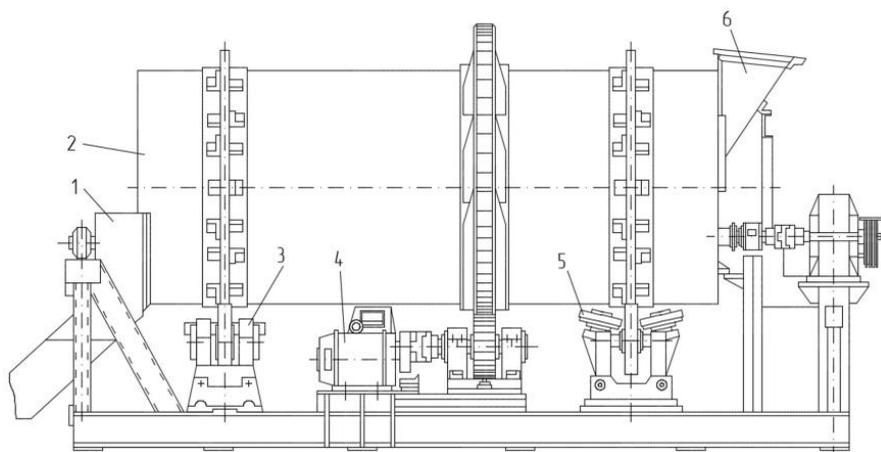
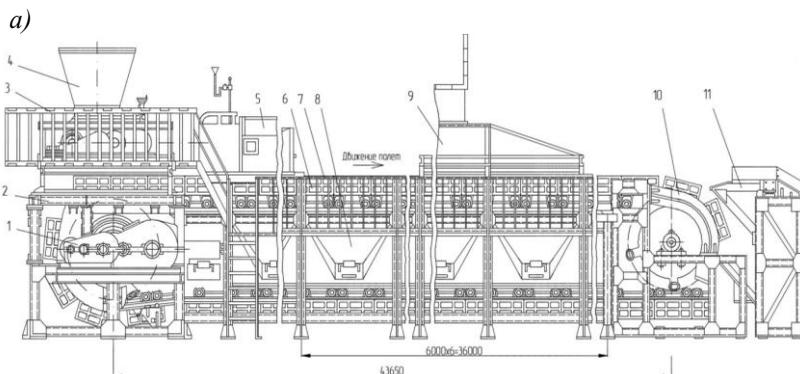


Рисунок 2.10 – Барабанный гранулятор:
1 – выгрузочный лоток; 2 – барабан; 3 – опорные ролики; 4 – привод;
5 – опорно-упорные ролики; 6 – загрузочный лоток

Валы отличаются один от другого диаметром окружности, описываемой их лопастями. Они предназначены для дробления шихты и очистки барабана. Степень дробления шихты регулируется углом наклона лопастей в сочетании с изменением частоты вращения вала и корпуса гранулятора. Гранулятор позволяет получать шихту следующего состава: фракция 7–10 мм – 5–30 %, фракция 3–7 мм – 40–65 %, фракция менее 3 мм – 30–40 %. Вал с лопастями 300 мм предназначен для непрерывной очистки внутренней поверхности барабана. Лопасты обоих валов выполнены в виде стержня с пластинами прямоугольной формы. Материал в гранулятор загружается по лотку 6 сверху, а выгружается через открытый выгрузочный лоток 1.

Подготовленная шихта спекается на агломерационной машине, которая представляет собой непрерывно движущийся конвейер из тележек-палет, имеющих в основании колосниковую решетку из жаропрочной стали и борта с обеих сторон (рисунок 2.11). Верхняя ветвь конвейера движется по рельсам над вакуум-камерами.



б)

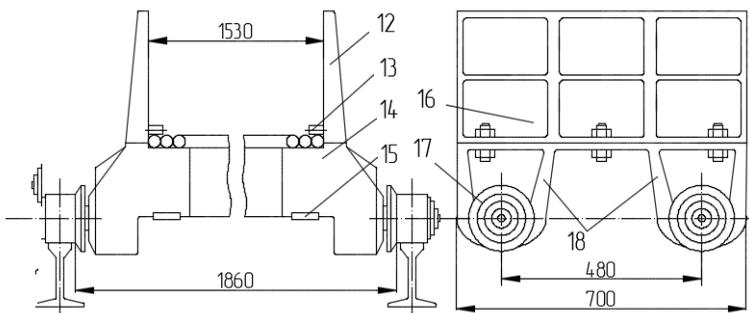


Рисунок 2.11 – Ленточная агломерационная машина:

а – общий вид; б – палета;

- 1 – привод; 2 – приводная станция; 3 – площадка для обслуживания; 4 – питатель; 5 – горн;
 6 – палета; 7 – секции; 8 – вакуум-камеры; 9 – камера доводки; 10 – загрузочная станция;
 11 – отломщик; 12 – торцовая стенка; 13 – колосник; 14 – корпус; 15 – пластина уплотнения;
 16 – штифт крепления колосника; 17 – каток; 18 – приливы

Ленточная агломерационная машина относится к машинам с толкающим приводом. Для нее может быть использовано исходное сырье любого вида. Производительность ее может составлять 50, 100 и 200 тыс. м³ в год.

Агломерационная машина состоит из загрузочной, горновой, концевой секции, секции доводки процесса спекания, а также из промежуточных секций, число которых определяется необходимой площадью спекания, которая может быть 33, 41, 52 и 60 м². Промежуточная секция при длине 6 м имеет площадь спекания 9 м². В зависимости от вида сырья и заданной про-

изводительности рассчитываются необходимая площадь спекания и длина машины.

На горновой секции с помощью специальных швеллеров, опирающихся на вертикальные стойки, закреплен зажигательный горн. Стойки, образующие каркас секции, одновременно служат для крепления направляющих верхних и нижних палет и вакуумных камер с пылеотделительными устройствами.

Движение палет от приводной секции к концевой осуществляется электродвигателем постоянного тока мощностью 6 кВт. Скорость движения палет – 0,013 м/с. Палеты испытывают большие температурные напряжения, поэтому они должны быть стойкими к воздействию высоких температур.

Основной деталью палеты является корпус в виде прямоугольной литой рамы из жаропрочного чугуна. Корпус состоит из двух массивных боковых стенок и трех поперечных перекладин, соединяющих боковые стенки между собой. Две наружные перекладки имеют Г-образную форму, обращенную верхней полкой внутрь корпуса, а средняя – Т-образную.

Полки перекладин служат опорами для колосников решетки. Приливы, предусмотренные в боковых стенках корпуса, приспособлены для крепления ходовых катков палеты. С двух сторон приливы усилены ребрами жесткости.

Соотношение толщины стенок и ребер приливов должно быть таким, чтобы обеспечивалась сопротивляемость короблению и растрескиванию при быстрых изменениях температуры.

Приливы служат также упором для роликов зубьев приводной звездочки (при работе зуб звездочки входит между двумя приливами). К верхней поверхности боковин корпуса прикреплены торцовые стенки корытообразной формы, образующие полезный объем палеты. Торцовая стенка крепится болтами к корпусу палеты. Для облегчения съема готового аглопорита внутренние поверхности торцовых стенок наклонены и образуют расширяющийся конус. Палета опирается на четыре катка, каждый из которых закреплен на двух роликовых конических подшипниках.

Нижняя несущая поверхность палеты образуется колосниковой решеткой, состоящей из перекладин-колосников, изготовленных из жаропрочного чугуна. По концам колосники имеют приливы, образующие замки, которые удерживают их от выпадания при переворачивании палет во время обратного движения по нижним направляющим. Приливы на палетах опираются на ребра поперечных стенок палеты. Для введения колосников под замок в поперечных стенках палет имеются пазы. При сборке каждый колосник вводят в паз, затем перемещают в сторону, а на его место вводят другой колосник и так далее. Последний колосник устанавливают над пазом и закрепляют штифтом, запрессованным в торцовую стенку палеты.

При прохождении палеты над вакуум-камерами внутренняя зона под палетой изолируется от наружной среды уплотнением, которое создается пластинами на нижних плоскостях палет.

Около концевой секции агломерационной машины устанавливается отломщик, предназначенный для первичного разрушения ленты, выходящей из агломерационной машины. Он состоит из массивной швеллерной рамы, на верхней части которой закреплены механизмы рыхления аглопорита. Аглопорит по приемному лотку направляется к вибробрусу, подвешенному на шарнирных рычагах с пружинами. На нижней стороне вибробруса установлен маятниковый вибратор направленного действия. При работе вибратора вибробрус колеблется в вертикальной плоскости, а усилия, направленные по осям шарнирных рычагов, заставляют колебаться вибралоток. Удары, развиваемые вибробрусом, разрушают ленту аглопорита на большие куски, которые по лотку скатываются на транспортные средства, устанавливаемые за агломерационной машиной.

Горн машины выполнен так, что зона воспламенения располагается над налетами. Ширина зоны воспламенения несколько превышает ширину палет, что обеспечивает воспламенение шихты по всей ширине. Топочное отделение горна включает три топки циклонного типа, каждая из которых футерована шамотным кирпичом. Диаметр и длина топки – соответственно 300 и 370 мм. Воздух в топку подается по воздуховодам.

Топочное пространство по периметру охлаждается воздухом, который, проходя по коробу охлаждения, подогревается горячими стенками топки и направляется в циклонные топки.

Пламя, выходящее из топок, направляется в зону зажигания. Высокая температура и большие скорости истечения горячих газов могут быстро разрушить тонкие боковые стенки палет. Для предохранения палет от прогорания вдоль бортов топки установлены желоба. Верхняя часть боковой стенки палеты образует внутри желоба лабиринтное уплотнение, которое одновременно защищает палеты от воздействия горячих газов. Топки могут работать на жидком и газообразном топливе.

Зона воспламенения горна представляет собой емкость, в которой смешиваются продукты горения, поступающие из трех циклонных топок. Из этой зоны продукты горения под действием разрежения в вакуум-камерах стремятся пройти через слой шихты, находящийся в движущихся палетах. Проходя через шихту, горячие газы зажигают находящиеся в ней частицы топлива.

Процесс воспламенения состоит из нескольких этапов. На первом этапе материал нагревается до температуры 100 °С, на втором – испаряется влага, на третьем – высушенная шихта нагревается до температуры воспламенения топлива. Процесс горения топлива поддерживается в зоне агломерации путем подсоса воздуха. Объем зоны воспламенения ограничивается сводом из

шамотного кирпича, который изолируется слоем из насыпного аглопорита. Кирпичная кладка зоны воспламенения армируется наружным каркасом.

Загруженные шихтой палеты (слоем 200–300 мм) из зоны загрузки попадают в зону зажигания, длина которой в зависимости от типа агломерационной машины составляет 4–6 м. На этом участке с помощью горна, установленного над палетой и шихтой, находящееся в шихте топливо поджигается. Процесс распространения горения топлива в глубину слоя шихты происходит под действием интенсивного просасывания воздуха. При горении выделяется теплота, под действием которой происходит агломерация шихты.

Шихта, выходящая из зоны агломерации, имеет небольшой недожог. Этот недожог образуется вследствие ухудшения просасывания воздуха через шихту, поэтому после зоны агломерации шихта попадает в зону доводки, которая отличается от зоны агломерации направлением подачи воздуха. После зоны доводки готовый агломерат охлаждается воздухом. Воздух подается в зону охлаждения, длина которой зависит от количества охлаждающего реагента, проходящего через слой шихты.

С машины сходит спекшийся корж. Корж, как правило, неоднороден: внутри спекание полное, корж в изломе темного цвета (восстановительная среда определяет переход оксидов железа в закись, и это способствует лучшему спеканию), а на поверхности (избыток воздуха, окислительная среда, ниже температура обжига) образуется так называемый недожог бурокрасноватого цвета с пониженными прочностью и стойкостью. Поэтому первой операцией после спекания шихты на агломерационной решетке является отделение недожога. Корж разламывается на куски специальным устройством – коржеломателем (вал с редко насаженными билами), куски падают на решетку, слабоспекшиеся частицы при этом осыпаются и возвращаются в технологический процесс как добавка к сырью, улучшающая газопроницаемость и спекание шихты.

В качестве добавок, способствующих повышению скорости спекания глинистого сырья и, следовательно, повышению производительности агломерационных машин, а также улучшению качества аглопорита, используют древесные опилки, лигнин (отход гидролиза древесины), золу и другие отходы промышленности. После отделения недожога аглопорит охлаждают до температуры 80–120 °С, дробят и сортируют на щебень и песок.

Технологическая схема производства аглопоритового щебня и песка из глинистого сырья показана на рисунке 2.12. Глина подается в приемный бункер с рыхлителем 4, который разбивает крупные комья глины и направляет ее в промежуточный бункер и далее в ящичный питатель 3. Последний непрерывно подает ее в камневыделительные вальцы 2, в которых глина обминается и рыхлится. Одновременно с глиной подготавливается второй компонент шихты – уголь.

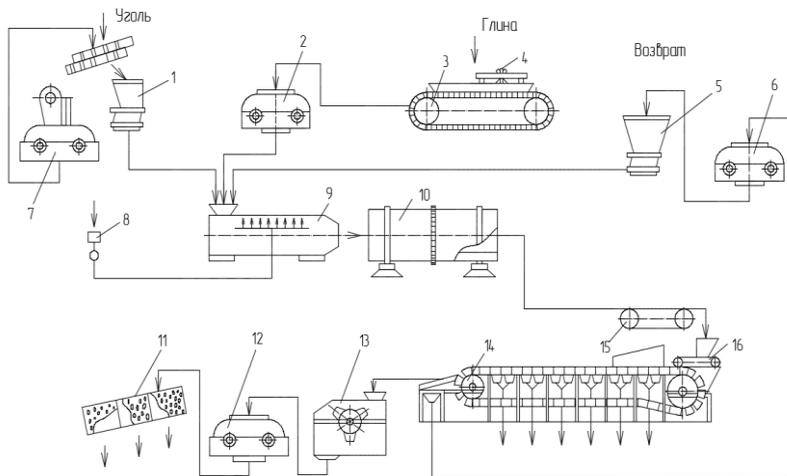


Рисунок 2.12 – Технологическая схема производства аглопорита из глинистого сырья:

- 1, 5 – тарельчатые питатели; 2 – камневыведительные валцы; 3 – ящичный питатель;
 4 – приемный бункер с рыхлителем; 6 – дробилка; 7 – двухвалковая дробилка; 8 – фильтр;
 9 – шихтосмеситель; 10 – барабанный гранулятор; 11 – грависортировка; 12 – дробилка
 вторичного дробления; 13 – дробилка первичного дробления; 14 – агломерационная машина;
 15 – челноковый распределитель шихты; 16 – плоскость питателя

Подготовка угля заключается в обеспечении однородности его гранулометрического состава. Уголь просеивается, мелкая фракция направляется в расходный бункер, под которым установлен тарельчатый питатель 1. Из расходного бункера по тарельчатому питателю уголь поступает на перемешивание с глиной. Крупные куски угля проходят дробление в двухвалковой дробилке 7. Дробилка и просеивающее устройство работают по замкнутой схеме. При этом мелкая фракция угля отбирается, а крупная возвращается на дробление. Компоненты непрерывно подаются в шихтосмеситель 9, куда поступает также переработанный в дробилке 6 аглопорит из тарельчатого питателя 5. При перемешивании шихта дополнительно увлажняется водой, поступающей из фильтра 8. Из шихтосмесителя шихта направляется в барабанный гранулятор 10.

Грануляция (окомкование) шихты в грануляторе происходит путем перекатывания частиц шихты по внутренней поверхности барабана и непрерывного перемешивания шихты лопастной мешалкой, установленной внутри барабана. Мешалка расположена в нижней части барабана около внутренней поверхности его обечайки.

Приготовленная шихта из барабанного гранулятора направляется в челноковый распределитель шихты 15. Распределитель равномерно укладывает

шихту по плоскости питателя 16, а питатель наполняет движущиеся палеты агломерационной машины 14. Наполненные шихтой палеты проходят под горном, от пламени загорается находящееся в шихте топливо, и происходит спекание шихты. В результате спекания в агломерационной машине образуется непрерывная лента спекшейся шихты. Лента у края машины разделяется специальным устройством на большие куски, направляемые затем в дробилку 13 первичного дробления, а из нее в дробилку 12 вторичного дробления. После дробления в грависортировке 11 аглопорит разделяется на фракции и направляется на склад готовой продукции.

На приведенной технологической схеме *производства аглопорита* не применяются охлаждающие устройства, однако их включают в технологические схемы. Для охлаждения аглопорита применяют шахтные, ленточные (металлический транспортер с перфорированным дном), чашевые (кольцевой бункер с двумя жалюзийными цилиндрическими стенками) и барабанные холодильники.

Для производства аглопорита используют комплект основного технологического оборудования с агломерационными машинами СМС-117.

2.3 Шлаковая пемза

Шлаковую пемзу (щебень и песок) получают главным образом из доменных шлаков, причем не из отвальных (такие шлаки еще нужно было бы расплавить), а непосредственно из шлаковых расплавов, сливаемых из доменных печей в огненно-жидком состоянии. По себестоимости шлаковая пемза – самый дешевый искусственный пористый наполнитель. Естественно, что шлаковая пемза производится и применяется в районах с развитой металлургической промышленностью.

Имеется несколько способов производства шлаковой пемзы, но все они основаны на вспучивании шлакового расплава водой.

При контакте шлакового расплава (температура около 1300 °С) с водой происходит бурное вскипание с интенсивным образованием пара. Пузырьки пара, внедряясь в расплав, не могут выделиться свободно, поскольку при охлаждении вязкость расплава увеличивается. В результате он вздувается, вспучивается и застывает в виде поризованной массы ячеистой структуры. Основное значение при этом имеют химический состав шлаков и наличие в них растворенных газов, определяющих газотворную способность, вязкость и поверхностное натяжение шлаковых расплавов.

Бассейновый способ производства шлаковой пемзы состоит в следующем. Шлаковый расплав выливается шлаковозными ковшами в опрокидной бассейн для вспучивания, представляющий собой металлическую ванну с перфорированным дном. Вместимость бассейна позволяет принять сразу весь расплав из шлаковозного ковша (до 16,5 м³). Снизу через отверстия в

бассейн подается вода, на ее фонтанирующие струйки выливают шлаковый расплав. Он вспучивается и отвердевает, после чего выгружается, остывает в виде глыб, затем подвергается дроблению и расसेву на фракции.

Производственный цикл, включающий слив из ковша и наполнение бассейна расплавом, вспучивание (1,5–2 мин), охлаждение и кристаллизацию (без подачи воды), разгрузку бассейна и его подготовку к следующему циклу, составляет 15–20 мин. Объем получаемой шлаковой пемзы – до 25 м³. Режим поризации шлакового расплава можно регулировать при изменении его состава.

Брызгально-траншейный способ наиболее прост. Шлаковый расплав при сливе в траншею орошается водой из перфорированных труб, вспучивается и застывает в ней, а после охлаждения разрабатывается экскаватором и подается на дробление и рассев. Этот способ не является перспективным для производства шлаковой пемзы из-за ее невысокого качества и неоднородности по структуре.

Вододутьевой способ состоит в разбивке массы расплава на отдельные гранулы сильной струей водовоздушной смеси с последующим интенсивным смешением еще жидких гранул расплава с водовоздушной смесью и вспучиванием. Поризация расплава производится в струйных аппаратах. Гранулы, вспученные в камере смешения, выбрасываются на экран, с которого они попадают на приемные устройства и агрегируются в глыбы. Полученная шлаковая пемза имеет однородную мелкопористую структуру с размером пор до 1 мм.

Гидроэкранный способ предусматривает последовательную обработку шлака на двух гидрожелобах. С первого желоба вспучивающийся шлаковый расплав струями воды бросается на вертикальный экран, отразившись от которого попадает на второй желоб, где снова подхватывается струями воды и направляется на пластинчатый перегружатель для последующего охлаждения и дробления.

Все описанные выше способы позволяют получать дробленую шлаковую пемзу в виде пористого щебня и песка.

Шлакопемзовый щебень, как и аглопоритовый, имеет зерна остроугольной формы с открытыми порами, отличается большой межзерновой пустотностью.

2.4 Шунгизит

Шунгизит получают вспучиванием при обжиге графитсодержащей сланцевой породы – шунгита. Большое месторождение шунгита разрабатывают в Карелии. Породу в виде фракционированной крошки поставляют многим предприятиям, использующим ее как сырье для производства шунгизитового гравия.

Шунгизитовый гравий получают по сухому способу. В сущности, шунгизит – это разновидность керамзита, отличающаяся видом сырья.

При организации производства шунгизита в связи с большим коэффициентом вспучивания сырья (до 5 – по результатам лабораторных испытаний) и простотой технологии предполагали его высокую технико-экономическую эффективность. Однако отмечается неоднородность поставляемого сырья, в связи с чем рекомендуется его обогащение по принципу избирательного дробления исходной породы (чем прочнее порода, тем, как установлено опытами, больше коэффициент ее вспучивания) или же помол сырья и переход на порошково-пластический способ производства (тем более, что в настоящее время при производстве шунгитовой крошки до 40 % добытой породы в виде мелких отходов не используется). Такая переработка сырья ведет к повышению качества шунгизита, но с усложнением технологии в дополнение к большим расходам на перевозку сырья возрастут издержки производства. Исследования ВНИИСтрома направлены на рационализацию технологии термообработки.

Разработан типовой проект предприятия по производству шунгизита мощностью 200 тыс. м³ в год (рисунок 2.13). Мощность предприятия обеспечивается двумя технологическими линиями, использующими шунгитовую крошку определенной фракции (5–8 и 8–15 мм).

Крошка со склада сырья, рассчитанного на работу линий в течение 15 суток, подается скиповыми подъемниками в расходные бункера, установленные над печами термоподготовки (2,5×20 м). В этих печах материал нагревается до 400 °С примерно за 20 мин, а затем через перегрузочные камеры поступает в печи обжига (3,5×24 м), где находится в течение 12–15 мин (производительность одной печи 12,5 м³/ч).

Вращение печей термоподготовки и обжига с различной скоростью позволяет осуществлять ступенчатый режим термообработки шунгитовой крошки, вспучивающейся обычно при температуре 1120–1150 °С. Узкий температурный интервал вспучивания (до 30 °С, что значительно меньше требуемого при производстве керамзита) усложняет обжиг сырья.

Во избежание образования спеков в печь перед зоной обжига вводят опудривающий порошок.

Охлаждение шунгизита производят в две стадии: сначала с 900 до 550 °С в барабанном холодильнике (2,2×16 м) в течение 20 мин, а затем до 60–80 °С в аэрожелобе длиной 10 м в течение 2 мин. «Мягкий» режим охлаждения способствует снятию термических напряжений в материале и повышению прочности шунгизита.

Охлажденный шунгизит конвейером с погруженными скребками направляется на склад готовой продукции, где после сортировки хранится по фракциям в силосах (8 шт.).

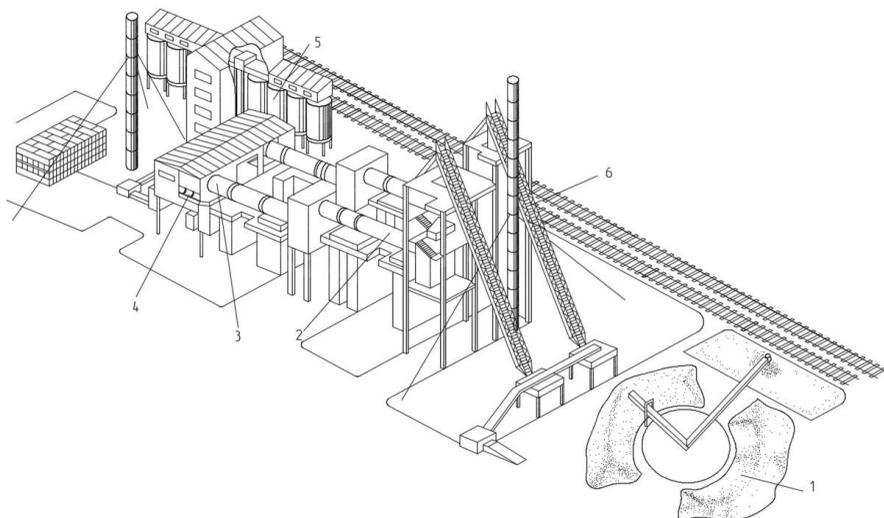


Рисунок 2.13 – Общий вид завода по производству керамзита:
 1 – склад сырья; 2 – печь термоподготовки; 3 – обжигаемая печь; 4 – холодильник;
 5 – склад готовой продукции; 6 – скиповый подъемник

Применяется шунгизит для теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов.

2.5 Вспученный перлит

Сырьем для производства вспученного перлита по ГОСТ 10832–2009 являются щебень и песок из вулканических алюмосиликатных стекловатых перлитовых и перлитосодержащих пород, получаемые путем механической переработки (дробление, фракционирование) по ГОСТ 25226–96 «Щебень и песок перлитовые для производства вспученного перлита. Технические условия».

К перлитовым и перлитосодержащим породам относят следующие разновидности перлитового сырья:

- пористые перлиты (ПП), имеющие пористость свыше 10 % по объему, содержащие в своей структуре воды менее 4,5 % по массе;
- массивные перлиты (МП), имеющие пористость менее 10 % по объему, содержащие в своей структуре воды более 4,5 % по массе;
- перлитосодержащая порода (ПСР) – стекловатая порода, содержащая микро- и макропримесей более 20 % по объему;
- перлитовый пепел (ППЛ) – рыхлая или слабоцементированная вулканическая порода типа магаданского пепла, состоящая из обломков перлита с размерами частиц 10 мм и менее;

– перлитовый (витрокластический) туф (ПТ) – плотная вулканогенная порода, состоящая из обломков перлита размером св. 1,0 до 100 мм и цементированная тонкообломочной стекловатой массой;

– перлитовая брекчая (ПБ) – плотная вулканическая порода, состоящая из обломков перлита размером свыше 1,0 до 100 мм и цементированная вулканическим стеклом.

Технология производства вспученного перлита включает дробление исходной породы (до 1–2 мм при производстве песка и до 5–10 мм при производстве щебня) и сортировку. Перед обжигом сырье в ряде случаев рекомендуется подвергать предварительной термической обработке в сушильном барабане или малой вращающейся печи при температуре 250–450 °С в течение нескольких минут. При этом удаляется свободная и слабосвязанная вода, в дальнейшем зерна породы могут при обжиге выдержать более высокую температуру, не растрескиваясь. Остаточной, трудноудаляемой воды в зернах вполне достаточно для бурного вспучивания при температуре до 1250 °С.

Технологические схемы предусматривают вспучивание перлитового песка при температуре 1000–1100 °С в вертикальных шахтных печах и вращающихся барабанных печах, а перлитового щебня – только во вращающихся барабанных печах (рисунок 2.14). Для получения вспученного перлита с зернами размером до 10 мм, в основном крупного песка, обжиг целесообразно производить в двухзонных печах кипящего слоя. Выбор конструкции печи определяется размером обжигаемых зерен, требуемыми свойствами заполнителя и запланированной производительностью.

Печь для термоподготовки СМТ-178А (рисунок 2.15) состоит из футерованного барабана 2, камеры загрузки 1, привода 7, опорного 8 и опорно-упорного устройств 6, топки 3, форсунки либо горелки 4.

Камера загрузки 1 одним торцом соединена с барабаном 2, а другой ее торец имеет окно с загрузочной точкой 10. В верхней части камера загрузки соединена с трубопроводами системы очистки, а в нижней имеет шибер 9 для периодического удаления пылевидных фракций сырья.

Топка 3 имеет топочное пространство и камеру разбавления. Топочное пространство с помощью фланца соединено с горелкой или форсункой 4, а камера разбавления – с пересыпной точкой 5.

При производстве вспученного перлитового песка применяют шахтные печи. Печь представляет собой вертикальный футерованный внутри цилиндр с конической нижней частью. Поток горячих газов от сжигания топлива направляется снизу вверх.

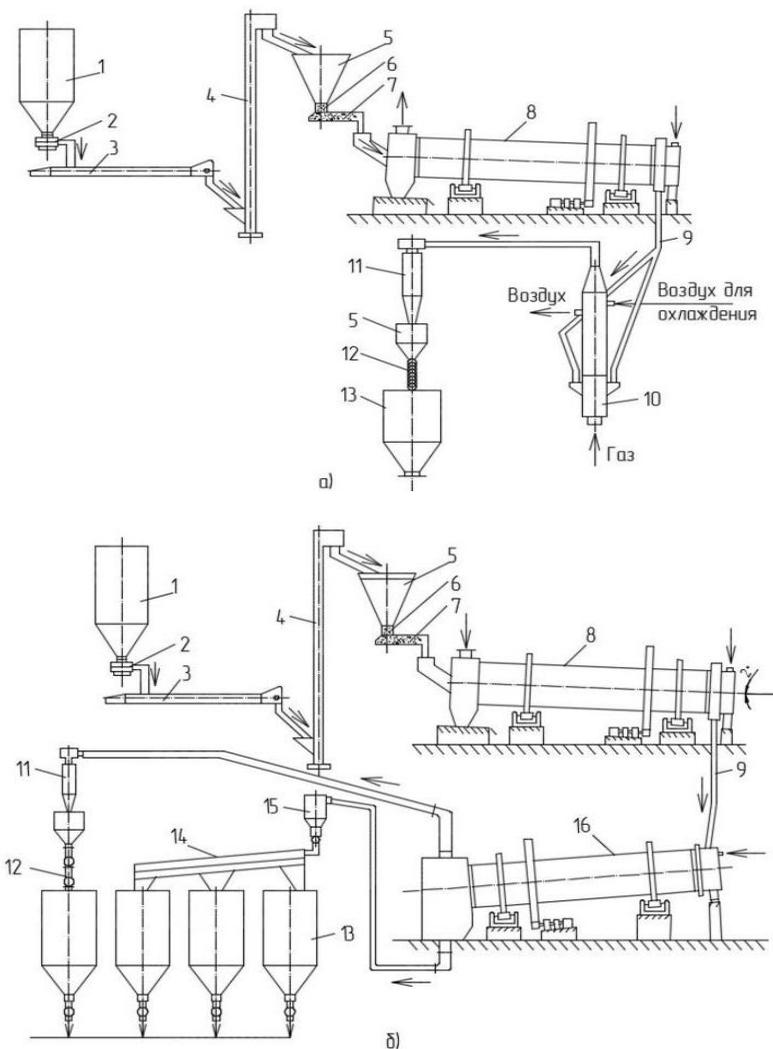


Рисунок 2.14 – Технологические схемы линий термической подготовки и вспучивания перлитового щебня и песка:

- a* – с вращающейся и шахтной печами; *б* – с двумя вращающимися печами;
 1 – бункер сырья; 2 – тарельчатый питатель; 3 – конвейер; 4 – элеватор; 5 – расходный бункер;
 6 – шиберный затвор; 7 – ленточный весовой дозатор; 8 – печь для термоподготовки СМТ-178А; 9 – течка; 10 – шахтная печь СМТ-177А; 11 – щиклон; 12 – затвор-питатель;
 13 – бункер готовой продукции; 14 – сортировка; 15 – осадительные камеры;
 16 – барабанная вращающаяся печь СМТ-179А

Поскольку площадь сечения конической части печи с подъемом увеличивается, скорость газового потока соответственно уменьшается. Через загрузочные отверстия в верхнюю цилиндрическую часть печи подается дробленая перлитовая порода и свободно падает вниз, пока в конической части не подхватывается восходящим потоком горячих газов. Зерна породы, витая в горячей газовой струе, вспучиваются. При этом парусность их резко увеличивается, и они увлекаются газовым потоком вверх, выносятся из печи и затем осаждаются в циклонах.

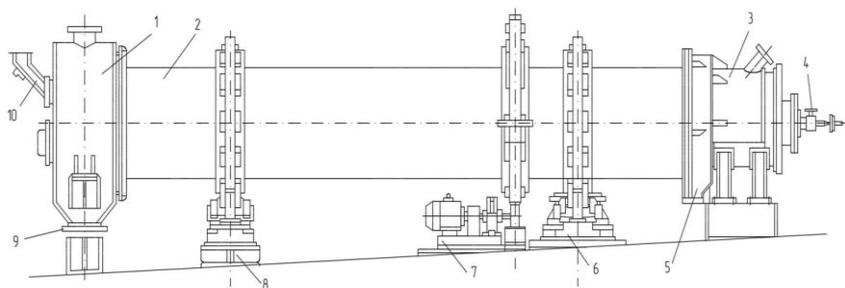


Рисунок 2.15 – Печь для термоподготовки СМТ-178А:

- 1 – камера загрузки; 2 – барабан; 3 – топка; 4 – форсунка (горелка); 5 – пересыпная течка;
6 – опорно-упорное устройство; 7 – привод; 8 – опорное устройство; 9 – шибер;
10 – загрузочная течка

Шахтная печь СМТ-177А (рисунок 2.16) состоит из верхней секции 7 с коллектором, камеры разбавления 9, защитных секций 5, 6, 8, съемных кожухов 1, 2, двух коробов 3, течек 4, горелки или форсунки 10.

Верхняя секция 3 с коллектором является основной несущей частью печи. Внутренний съемный кожух 2 состоит из верхней цилиндрической и нижней конической частей. По бокам цилиндрической части расположены направляющие ролики для загрузочных течек.

С верхним фланцем верхней секции 7 с коллектором связана камера разбавления 9, предназначенная для снижения температуры отходящих дымовых газов путем подсоса холодного воздуха через специальные окна, сечение которых регулируется поворотной крышкой.

В нижней части установлены горелки либо форсунка 10. При сжигании топлива поток раскаленных газов движется снизу вверх.

На расстоянии 1 м относительно нижнего торца печи через течи 4 в шахту навстречу потоку вводится дробленый перлит. Наиболее мелкие частицы сразу вспучиваются и выносятся из печи, а крупные остаются в печи. Падая вниз, они вспучиваются.

Невспучивающиеся примеси перлита скапливаются на откидных дверках. Управление технологическим процессом осуществляется автоматически и дистанционно.

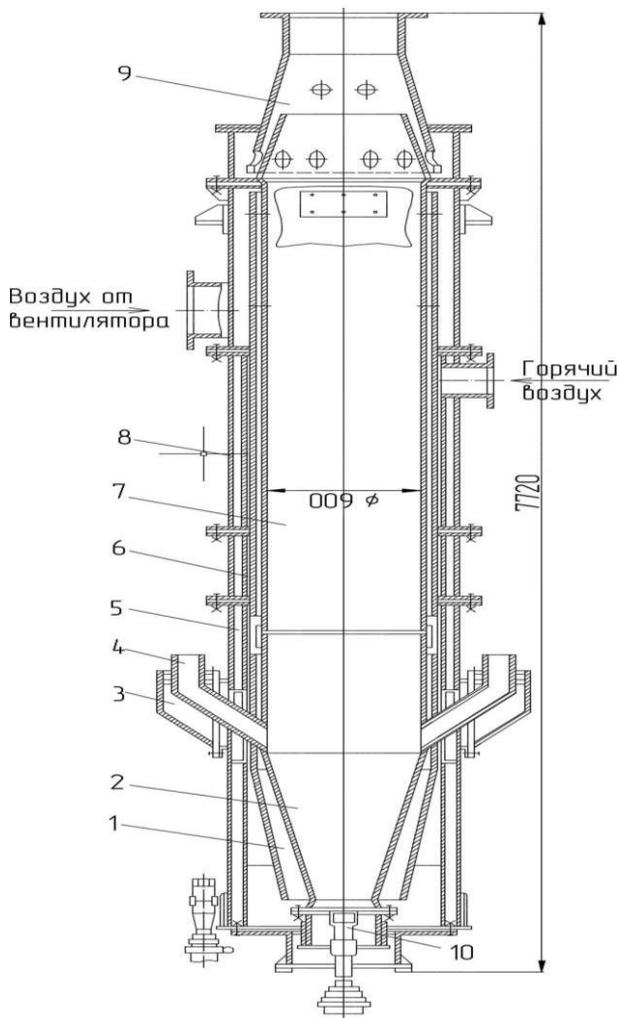


Рисунок 2.16 – Шахтная печь СМТ-177А

Технология производства вспученного перлитового щебня и песка предусматривает термическую обработку сырья во вращающихся печах. Легкие мелкие фракции песка вспучиваются в основном во взвешенном состоянии и уносятся из печи потоком отходящих газов (с последующим осаждением в циклонах). Более крупные фракции, не увлекаемые газовым потоком, вспучиваются на футеровке печи и выгружаются. Для ускорения

нагрева материала используют принцип прямотока, т. е. факел горящего топлива и поток газов направляют не навстречу потоку обжигаемого материала (как при получении керамзита), а в том же направлении – по наклону печи.

Вращающаяся печь СМТ-179А (рисунок 2.17) предназначена для вспучивания перлитового сырья с размером частиц 1, 2–10 мм и получения перлитового песка с насыпной плотностью 200–350 кг/м³, а также перлитового щебня с насыпной плотностью 300–600 кг/м³. Печь состоит из футерованного барабана 3, камеры выгрузки 1, привода 10, опорного 9 и опорно-упорного 11 устройств, топки 4, форсунки либо горелки 7, уплотняющего устройства 2, механизма очистки пересыпной точки 8.

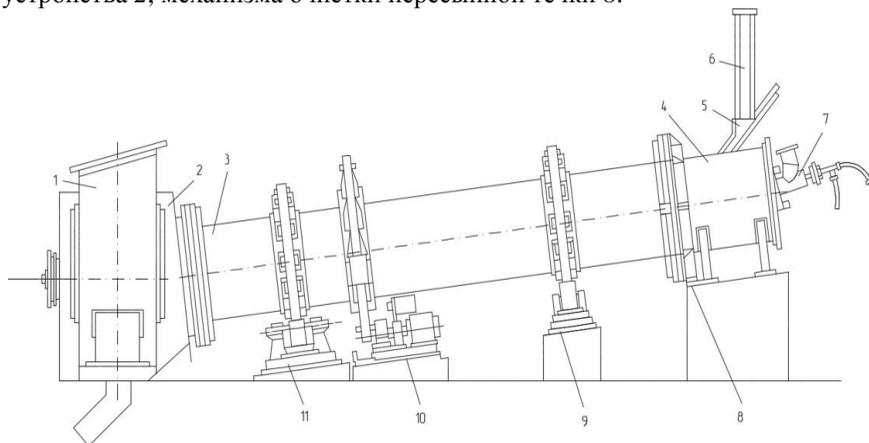


Рисунок 2.17 – Вращающаяся печь СМТ-179А

Печь вспучивания – прямоточная. Подготовленное в печи термopодготовки сырье по наклонному лотку 5 поступает в барабан печи вспучивания. Режим печи вспучивания обеспечивает быстрый прогрев материала при кратковременном его пребывании в зоне максимальной температуры. Часть поступающего в печь перлита вспучивается в факеле. Основная масса довспучивается на футеровке и при вращении барабана печи транспортируется к камере выгрузки 1. Время пребывания материала в печи составляет 40–70 с.

2.6 Вспученный вермикулит

Технологическая схема производства вспученного вермикулита включает следующие основные операции:

- а) добычу вермикулитовой породы;
- б) дробление, обогащение породы, фракционирование вермикулитосырьца;

- в) обжиг (вспучивание) вермикулита;
- г) фракционирование вспученного вермикулита, отделение пустой породы.

Добыча и обогащение вермикулитовых пород. В зависимости от глубины залегания пласта и характера наносного слоя, вермикулитовую породу добывают открытым (карьерным) или подземным (шахтным) способом. Добытая порода содержит от 1 до 90 % вермикулита-сырца (обычно <50 %), и для получения вспученного вермикулита породу необходимо обогащать с доведением содержания в ней вермикулита до 75–90 %. Первичное обогащение породы осуществляют в процессе добычи ее ручной разборкой руды на ленточных конвейерных столах по внешним признакам вермикулита и пустой породы. После этого порода поступает на обогатительные установки. Механическое обогащение вермикулитовой породы в зависимости от состава и содержания пустой породы, структуры, твердости и других характеристик можно производить несколькими способами. Для этой цели наиболее широко применяют ступенчатое избирательное дробление породы с классификацией ее по крупности, совмещенное с грохочением. Этот способ основан на том, что при последовательном пропуске породы через валковые дробилки зерна вермикулита разрушаются по плоскостям спайности на пластинки, в то время как пустая порода превращается в песок, легко удаляемый последующим отсевом. Таким образом выделяют крупные и средние по размерам зерна вермикулита.

Обогащение мелких фракций осуществляют чаще всего в отсадочных машинах и на концентрационных столах, где вермикулит отделяется от пустой породы в потоке воды в результате разницы в их плотностях. Если в составе породы присутствуют металлические руды, применяют магнитную сепарацию.

Путем обогащения вермикулитовых пород содержание вермикулита-сырца в них может быть доведено до 90 % и более. Оставшуюся в вермикулите пустую породу удаляют в процессе вспучивания вермикулита. Размер зерен вспученного вермикулита, применяемого в тепловой изоляции, обычно не превышает 8–10 мм, для чего крупные фракции обогащенного вермикулита-сырца дробят. Лучшие результаты получают при дроблении вермикулита в молотковых дробилках с ножеобразными билами, сочетающими удар с резанием.

Вермикулит-сырец поставляют потребителям либо в виде отдельных фракций (крупный – с зернами размером 10–5 мм, средний – 5–2,5 мм, мелкий – 2,5–1,2 мм и особо мелкий – до 1,2 мм), либо в виде смеси нескольких фракций. Содержание пустой породы не должно превышать в

крупном и среднем 15 %, в мелком и особо мелком 25 %. Влажность – не более 15 %.

Вспучивание вермикулита. Специфические свойства вермикулита требуют, чтобы при выборе типа печи для его вспучивания учитывались следующие условия:

1) возможность создания температурного режима и условий продвижения обжигаемого вермикулита в печи, при которых зерна последнего подвергаются кратковременному нагреванию (1–2 мин) при температуре 900–1100 °С; желательнее, чтобы крупные зерна более длительно обжигались, нежели мелкие;

2) возможность устранения в процессе обжига препятствия процессу вспучивания зерен, т. е. чтобы на них не оказывали большого давления вышележащие слои материала;

3) передвижение вспученного вермикулита в печи должно исключать дробление его зерен, что обеспечивает получение крупных и средних по размеру зерен кубической формы;

4) возможность удаления в процессе вспучивания вермикулита примеси пустой породы.

Этим условиям в наибольшей степени удовлетворяют такие способы обжига (и соответственно типы печей), как обжиг во взвешенном состоянии, в кипящем слое и т. п.

Возможно применение вращающихся печей с качающимися плитами и др. За рубежом для вспучивания вермикулита наибольшее распространение получили шахтные печи с горизонтальными перегородками, выкладываемыми вместе с футеровкой печи и предназначенными для замедления продвижения вермикулита в печи.

2.7 Термолит

Технология производства термолита в основных чертах соответствует описанной выше технологии производства керамзита по сухому, порошково-пластическому или пластическому способу подготовки сырья. По сухому способу получают термолит из камнеподобных кремнистых пород (опок), по пластическому – из рыхлых трепелов.

В отличие от пористых заполнителей, получаемых вспучиванием или дроблением, для которых, как указано выше, характерно значительное увеличение насыпной плотности и плотности зерен мелких фракций по сравнению с более крупными, показатели плотности термолитовых заполнителей разной крупности близки.

3 ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Выполнение расчетно-графической работы по дисциплине «Заполнители для бетонов» позволяет студентам углубить и закрепить теоретические знания, а также знакомит с технологией изготовления искусственных пористых заполнителей для бетона на действующих предприятиях, изучению специальной технической литературы и приобретению навыков проектирования.

Разработка РГР предусматривает изучение заданных заполнителей, технических требований, предъявляемых к ним техническими нормативными правовыми актами (ТНПА), сырья для их производства, выбор и обоснование выбранной технологической схемы производства, расчет ее основных параметров, подбор и компоновку необходимого технологического оборудования, разработку мероприятий по охране труда и окружающей среды.

В работе должны реализовываться новейшие достижения науки, техники и передового общественного и зарубежного опыта, комплексное использование сырья и материалов.

3.1 Задание

Темами для расчетно-графической работы (РГР) являются различные варианты проектирования цехов по изготовлению искусственных пористых гравия, щебня, песка, применяемых в качестве заполнителей для приготовления легких бетонов, а также теплоизоляционных засыпок.

В задании на РГР указываются наименование цеха (производства), наименование и марка искусственного пористого заполнителя, объем производства. Остальные сведения, необходимые для выполнения работы, студенты получают из ТНПА, норм технологического проектирования, технической литературы и опыта работы передовых родственных предприятий.

Варианты заданий принимаются из следующего перечня:

- 1 Производство керамзитового гравия.
- 2 Производство керамзитового песка.
- 3 Производство аглопоритового щебня.
- 4 Производство аглопоритового песка.
- 5 Производство вспученного перлитового щебня.
- 6 Производство вспученного перлитового песка.

3.2 Состав, объем и правила оформления

Расчетно-графическая работа состоит из пояснительной записки объемом до 20 страниц печатного текста, с графическим изображением технологических схем и схем основного оборудования. Общий объем пояснительной записки может быть распределен по разделам следующим образом: введение – до 2 с., технические характеристики заполнителя и сырья для его изготовления – до

4 с., выбор и обоснование технологической схемы – до 3 с., технологические расчеты при проектировании производства – до 4 с.; контроль производства и качества продукции – до 4 с.; охрана труда и окружающей среды – до 2 с., список использованной литературы – 1 с.

Пояснительная записка к расчетно-графической работе печатается с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм) с соблюдением требований стандартов. Записка должна начинаться с титульного листа, далее помещается бланк задания, затем оглавление и основной текст пояснительной записки. В конце записки помещается перечень использованной литературы, в котором указывается номер по порядку, фамилия и инициалы автора, наименование источника, место издательства и год издания, количество страниц в источнике.

Набор текста осуществляется с использованием текстового редактора Word, шрифтом типа Times New Roman размером 14 пунктов. Текст выравнивается по ширине страницы. Абзацы выделяются отступом относительно основного текста. Межстрочный интервал – одинарный. В случае вставки в строку формул допускается увеличение межстрочного интервала.

Все страницы записки нумеруются, начиная с титульного листа (на титульном листе и задании номера не ставятся). Изложение материалов в пояснительной записке должно быть кратким, ясным, без повторений, текст по мере надобности иллюстрируется схемами, графиками, репродукциями и рисунками, которые размещаются на отдельных листах и нумеруются, а в тексте записки дается на них ссылка в круглых скобках. Ссылки на литературные источники даются в квадратных скобках.

3.3 Этапы и сроки выполнения

РГР выполняется в сроки, установленные графиком самостоятельной работы студента. Работу рекомендуется распределить на этапы, сроки выполнения которых представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сроки выполнения расчетно-графической работы

Этап	Срок выполнения
Изучение ТНПА, технической литературы, выбор технологической схемы, изучение оборудования для производства в соответствии с заданием	2 недели
Выполнение технологических расчетов при проектировании производства (выбор режима работы цеха, расчет расхода сырья, вспомогательных материалов, подбор оборудования, расчет складов готовой продукции) и согласование с консультантом	2 недели
Контроль производства и качества продукции (входной, операционный, приемочный контроли)	1 неделя
Разработка мероприятий по охране труда и окружающей среды	1 неделя

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

4.1 Введение

Введение – начальный раздел пояснительной записки, который знакомит с современным состоянием и перспективой развития производства намеченных к выпуску заполнителей, вводит в курс рассматриваемой темы, показывает, какие задачи были поставлены в задании и как эти задачи решены в работе.

4.2 Характеристика выпускаемой продукции.

Характеристика сырья

В этом разделе на основании действующих ТНПА дается характеристика искусственных пористых заполнителей для бетона, выпускаемых цехом, их тип, марка, размеры, плотность, морозостойкость и другие необходимые данные.

Приводится обоснование выбора сырьевых материалов, излагаются требования к ним. На основании литературных данных приводятся новейшие технологические рекомендации по выбору сырьевых материалов. Рассматривается возможность и целесообразность использования отходов промышленности.

4.3 Выбор и обоснование технологической схемы

В начале составляется и согласовывается с консультантом технологическая схема производства заданного изделия. Она устанавливает состав процессов и порядок их выполнения, дает наглядное представление о составе производственных операций и их взаимосвязи. На ней приводятся все основные исходные сырьевые материалы и указывается последовательность технологических операций вплоть до получения готового материала.

Технологическая схема сопровождается пояснительной запиской, в которой дается анализ технологических решений по литературным данным и принятых на действующих предприятиях, обосновываются параметры и оборудование для выбранного решения.

4.4 Технологические расчеты при проектировании производства

Фонды времени и режимы работы оборудования

Режим работы принимается в соответствии с нормами технологического проектирования предприятий по производству керамзитовых гравия и песка (ТКП 45-7.02-175–2009). Для искусственных пористых заполнителей его принимают непрерывным, круглогодичным в три смены. Продолжительность смены – 8 ч. Годовой фонд рабочего времени – 8760 ч.

Расчетный годовой фонд времени работы технологического оборудования $T_{и}$ (ч), на основании которого рассчитывают производственную мощность предприятия, определяют исходя из годового фонда рабочего времени T с учетом коэффициентов использования оборудования во времени $k_{и}$:

$$T_{и} = Tk_{и}. \quad (4.1)$$

Коэффициенты использования основного оборудования во времени следующие:

0,92 – для вращающейся печи (2,5×40) и агрегата СМС-197;

0,86 – для двухбарабанной печи;

0,85 – для печи кипящего слоя (для керамзитового песка);

0,80 – для печей различной конструкции, используемых в производстве вспученного перлитового щебня и песка;

0,82 и 0,9 – для агломерационных машин.

Режим работы складов по отгрузке готовой продукции для всех предприятий принимают круглогодовой, без выходных дней, как правило, трехсменный.

Мощность предприятий и обжиговых агрегатов

Технологические расчеты при проектировании предприятий и цехов искусственных пористых заполнителей производят поэтапно. Сначала выбирают и обосновывают расчетом мощность обжиговых агрегатов, а затем на основе расчета расхода сырья и материального баланса определяют производительность технологических линий, обслуживающих обжиговые агрегаты.

Производственную мощность обжигового агрегата ($\text{м}^3/\text{год}$) рассчитывают в зависимости от средней насыпной плотности готовой продукции:

$$M_{об} = Q_{п} T_{и} k_{0}, \quad (4.2)$$

где $Q_{п}$ – часовая паспортная производительность агрегата при соответствующей насыпной плотности получаемого заполнителя, $\text{м}^3/\text{ч}$, принимают по таблице 4.1;

$T_{и}$ – расчетный годовой фонд времени работы оборудования, ч, принимают в соответствии с режимом работы предприятия;

k_{0} – объемный коэффициент выхода продукции в зависимости от ее марки для керамзита и его разновидностей, принимается по таблице 4.2.

Мощность предприятия $M_{п}$ определяют мощностями обжиговых агрегатов $M_{об}$:

$$M_{п} = nM_{об}, \quad (4.3)$$

где n – количество обжиговых агрегатов.

При заданной мощности предприятия, преобразуя формулу (4.3), определяют количество обжиговых агрегатов.

Результаты расчетов сводят в таблицу 4.3.

Таблица 4.1 – Часовая паспортная производительность агрегатов

Характеристика заполнителя	Обжиговый агрегат	Производительность, м ³ /ч
Гравий керамзитовый М500	Печь вращающаяся Ø2,5×40	10,8
	Агрегат обжиговый СМС-197	12,4
	То же, двухбарабанный:	13,3
	Ø2,5×20 + Ø3,6×24 Ø3×24 + Ø4,5×24	25,0
Песок керамзитовый М600	Печь кипящего слоя СМС-139	6,7
Песок перлитовый вспученный М100	Печи вертикальные шахтные СМТ-177 с печью термopодготовки СМТ-178	15,0
Щебень перлитовый вспученный М300	Печь вращающаяся СМТ-179 с печью термopодготовки СМТ-178	4,3
Щебень и песок аглопоритовые М700 (из суглинков и углеотходов)	Агломерационные машины:	14,0
	СМТ-117 и СМ-96 размером 1,5×40 СМС-214 размером 2,5×60	56,0
Аглопоритовый гравий из золы М800	Агломерационные машины:	21,0
	СМС-117 (без охладителя) АКМ-105 размером 2,5×42	76,0

Таблица 4.2 – Объемный коэффициент выхода продукции

Марка керамзита	Объемный коэффициент k_o	
	Производство керамзитового гравия и его разновидностей	Производство керамзитового песка в печах кипящего слоя
300	1,25	–
350	1,21	–
400	1,15	–
450	1,10	–
500	1,00	1,20
550	0,95	–
600	0,85	1,00
700	0,69	0,85
800	0,63	0,75
900	–	0,65
1000	–	0,60

Таблица 4.3 – Характеристика обжигового агрегата

Наименование	Единица измерения	Значение
Производительность обжиговых агрегатов	т/ч	
	м ³ /ч	
Количество обжиговых агрегатов	шт.	
Часовая производительность	м ³ /ч	
Сменная производительность,	м ³ /смену	
Суточная производительность	м ³ /сутки	
Годовая производительность	м ³ /год	

Производительность по переделам производства

Для расчетов необходимы следующие данные:

- годовая производительность по готовой продукции;
- нормы потерь по переделам;
- влажность сырьевых материалов и полуфабрикатов;
- потеря массы при прокаливании;
- состав шихты и количество вводимых добавок.

Расчеты исходного сырья, полуфабриката и готовой продукции производят в порядке, обратном технологическому процессу, с определением производительности соответствующего передела на выходе и входе. За исходную величину принимают выход готовой продукции, поступающей на склад согласно заданной годовой производительности.

Удельный расход сырья H (кг/м³) рассчитывают с учетом предусматриваемых потерь:

$$H = \frac{\rho_n}{\left(1 - \frac{\text{ППП}}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{W_0}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{\text{П}_T}{100}\right)}, \quad (4.4)$$

где ρ_n – средняя насыпная плотность заполнителя, кг/м³;

ППП – потери массы при прокаливании, %;

W_0 – влажность сырья, поступающего в производство, %;

П_T – технологические потери сырья, %.

Потери массы при прокаливании определяются по результатам испытания сырья. Для выполнения расчетов потери массы при прокаливании определяем на основании действующих ТНПА для производства:

- керамзита – не более 8 %;
- аглопорита – для щебня – не более 3 %, для песка – не более 5 %;
- перлита – не более 10 %.

Влажность сырья для керамзитовых гравия и песка приведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Влажность сырья для керамзитовых гравия и песка

В процентах

Вид влажности	Норма	Примечание
<i>Пластический способ производства</i>		
Формовочная влажность (относительная)	18–28	Уточняется по результатам испытаний
<i>Сухой способ производства</i>		
Влажность сырцовый крошки	До 9	В зависимости от свойств сырья
<i>Производство песка в печах кипящего слоя</i>		
Влажность керамзитовой крошки	8–12	–

Влажность сырья для производства аглопорита ориентировочно составляет 10–30 %, уточняется по результатам испытаний.

Влажность перлитового песка для производства вспученного перлита должна быть не более 2 % по массе, влажность щебня и щебеночно-песчаной смеси не нормируется, уточняется по результатам испытания.

Размер технологических потерь сырья определяется по нормам технологического проектирования или по данным производств. Примерные значения потерь для различных производств:

- при транспортировке – не более 1 %;
- при сушке – не более 3 %;
- при обжиге – не более 2 %;
- при складировании сырья на промежуточном складе – не более 2 %;
- потери сырья в производстве аглопорита при дроблении и расसेве на фракции – не более 2,7 %.

Результаты расчета производительности по переделам производства заносятся в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Расчеты производительности по переделам производства

Материалы по переделам	Единица измерения	Количество в			
		год	сутки	смену	час

Удельный расход сырья, вспомогательных материалов, энергозатраты

Удельные расходы вспомогательных материалов (добавки, опудривающие порошки и др.) уточняют в каждом конкретном случае по результатам испытаний сырья. Расход сырьевых материалов при производстве искусственных пористых заполнителей определяется в соответствии с ТКП 45-6.01-282–2013.

Удельные расходы сырья и вспомогательных материалов для расчета производства керамзитового гравия и песка приведены в таблице 4.6.

Для расчета норм расхода сырьевых материалов на производство 1 м³ аглопорита могут быть приняты следующие ориентировочные исходные данные. Содержание компонентов в шихте: суглинков – 60 %, глины – 30 %, угля – 8 %, опилок – 2 %.

Таблица 4.6 – Удельные расходы сырья и вспомогательных материалов для расчета производства керамзитового гравия и песка

В килограммах на метр кубический

Материал	Керамзит М500		Керамзитовый песок М600	
	Способ подготовки			
	пластический	сухой	пластический	сухой
Глина	750		1060	
Сланцы фракционированные		720		850
Добавки твердые	30		30	
Добавки жидкие	10	10	32	
Опудривающие порошки	10	10		

При изготовлении вспученного перлитового песка и щебня используют природное перлитовое сырье из вулканических стекловатых водосодержащих пород кислого состава по ГОСТ 25226.

Нормы расхода сырьевых материалов оформляются в виде таблицы 4.7.

Таблица 4.7 – Нормы расхода сырьевых материалов

В килограммах на метр кубический

Материал	Расход

Расход электроэнергии на технологические нужды приведен:

а) для производства керамзита марки 500 – в таблице 4.8;

Таблица 4.8 – Расход электроэнергии на технологические нужды для производства керамзита марки 500

В киловатт-часах

Способ подготовки сырья и вид топлива	Расход электроэнергии на м ³ керамзита
Пластический: топливо – газ	20
топливо – мазут	21
Сухой: топливо – газ	15
топливо – мазут	16
* При проектировании уточняется применительно к условиям производства.	

б) для производства керамзитового песка марки 600 в печах кипящего слоя – в таблице 4.9;

Таблица 4.9 – Расход электроэнергии на технологические нужды для производства керамзитового песка марки 600 в печах кипящего слоя

Способ подготовки сырья	Вид топлива	Отдельное производство керамзитового песка	Отдельное производство керамзитовых гравия и песка
Пластический	Газ	65	58
Сухой	Газ	46	40

Расход электроэнергии при производстве аглопорита из глинистых пород в среднем составляет 25–30 кВт·ч/м³, вспученных перлитовых щебня и песка – 15–18 кВт·ч/м³.

Расход условного топлива на технологические нужды в зависимости от способа подготовки сырья и типа обжигового агрегата приведен:

а) для производства керамзитового гравия марки 500 – в таблице 4.10;

Таблица 4.10 – Расход условного топлива на 1 м³ при производстве керамзитового гравия

Тип обжигового агрегата	В килограммах Способ подготовки	
	пластический	сухой
Печь вращающаяся диаметром 2,5, длиной 40 м	50	47
Печь двухбарабанная вращающаяся	35	32
<i>Примечание</i> – Нормативы даны с учетом использования тепла отходящих газов от обжигового агрегата.		

б) для производства керамзитового песка в печах кипящего слоя – в таблице 4.11.

Расход условного топлива при производстве других видов искусственных пористых заполнителей, кг усл. топлива/м³:

- вспученных перлитовых щебня и песка – 30–34;
- аглопорита из глинистых пород – 86–89.

Таблица 4.11 – Расход условного топлива на 1 м³ при производстве керамзитового песка марки 600

Тип обжигового агрегата	В килограммах Способ подготовки	
	пластический	сухой
Отдельное производство керамзитового песка	107	88
Совместное производство керамзитового песка в печах кипящего слоя и керамзитового гравия в печах диаметром 2,5, длиной 40 м	86*	83*
* Нормативы даны с учетом использования тепла отходящих газов от печи для сушки полуфабриката.		

Расход условного топлива в зависимости от марки продукции определяется по формуле:

$$Q_T = Q_{\text{табл}} / k_o, \quad (4.5)$$

где Q_T – расход условного топлива для определенной марки продукции, кг усл. топлива;

$Q_{\text{табл}}$ – расход условного топлива (см. таблицы 4.10, 4.11), кг усл. топлива;
 k_o – объемный коэффициент, принимается по таблице 4.2.

При проектировании конкретного производства расход топлива подлежит уточнению, с учетом минералогического и химического состава сырья, карьерной влажности, качества и количества вводимых в шихту добавок. Уточнение проводят по результатам испытаний сырья и материалов.

Производительность технологической линии

Производительность (т/ч или м³/ч) технологической линии по переработке сырья и подготовке гранул (зерен) к обжигу рассчитывается по формуле

$$Q = Q_{\text{п}} k_{\text{ти}} k_{\text{г}}, \quad (4.6)$$

где $Q_{\text{п}}$ – паспортная производительность наименее производительного оборудования технологической линии, т/ч или м³/ч;

$k_{\text{ти}}$ – коэффициент использования оборудования, $k_{\text{ти}} = 0,95 \dots 0,97$;

$k_{\text{г}}$ – коэффициент готовности, учитывающий устранение случайных отказов оборудования, рассчитывают с учетом насыщенности технологической линии оборудованием $k_{\text{г}} = k_{\text{г1}} \cdot k_{\text{г2}} \dots \cdot k_{\text{гn}}$.

Для отдельных видов основного оборудования $k_{\text{г}}$ принимают по таблице 4.12. Проектное решение должно обеспечивать значение $k_{\text{г}}$ не менее 0,75.

Таблица 4.12 – Коэффициент готовности, учитывающий устранение случайных отказов оборудования

Оборудование	$k_{\text{г}}$
Глинорыхлитель	0,97
Питатель ящичный	0,96
Вальцы (камневыделительные, грубого помола)	0,96
Вальцы тонкого помола	0,97
Бегуны	0,97
Смеситель лопастной	0,97
Глиномешалка с фильтрующей головкой	0,97
Пресс шнековый	0,96
Машина для сортировки материала	0,98
Сушильный барабан и вращающиеся печи	0,97
Конвейер ленточный	0,98
Элеватор ленточный	0,98

Количество устанавливаемых линий определяется из условия обеспечения часовой производительности в сырье:

$$n_{\text{л}} = B / (QT_{\text{к}}), \quad (4.7)$$

где B – годовая потребность в сырье, м³ или т;

$T_{\text{к}}$ – режимное время работы оборудования в год, с учетом продолжительности рабочей смены, ч, $T_{\text{к}} = 8760$ ч.

Величина $n_{\text{л}}$ округляется до большего целого числа.

Нормы запасов и складирования сырья, добавок и готовой продукции

Для керамзита и его разновидностей нормы запасов сырья, добавок, опудривающих порошков, топлива представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Нормы запасов сырья, добавок, опудривающих порошков

Наименование	Норма	Примечание
Запасы сырья:		
а) открытый склад (конус):		
1) доставка автотранспортом, сут:		
до 20 км	Не более 90	–
св. 20 км	” 180	–
2) доставка по железной дороге, месс.	” 180	–
б) глинозапасник закрытый, расчетные рабочие сутки	10–15	–
Запас добавок, расчетные рабочие сутки:		
а) жидких	15	–
б) твердых:		
– при поступлении автотранспортом	10	–
– при поступлении железнодорожным транспортом	15	–
Запас опудривающих порошков, расчетные рабочие сутки:		
– поступление автотранспортом	10–15	–
– поступление автотранспортом	10–15	–
– поступление железнодорожным транспортом	15	–
Запас жидкого топлива (мазута), расчетные рабочие сутки:		
– основного	15	–
– резервного	10	–
<i>Пластический способ производства</i>		
Запас шихты в шихтозапаснике ямного типа, сут	7	При использовании многокомпонентной шихты для ее усреднения по рекомендациям НИИ, проводившего испытания сырья
Запас гранул перед печью, ч	Не менее 4	–
<i>Сухой способ производства</i>		
Запас сырцово-крошки в бункерах над печами при работе отделения подготовки сырья, ч:		
а) в две смены	12	–
б) в одну смену	20	–
<i>Производство песка в печах кипящего слоя</i>		
Запас керамзитовой крошки в бункере перед дроблением, ч	2	–
Запас дробленой крошки перед печью, ч	4	–

Определяем количество запасов сырья, добавок и топлива для заданного производства с учетом требований норм технологического проектирования и заносим в таблицу 4.14.

Таблица 4.14 – Нормы и количество запасов сырья, добавок

Наименование	Норма	Количество

Вместимость, м³, силосного склада готовой продукции для пофракционного хранения заполнителей определяется по формуле:

$$V_{\text{фр}} = (Q_{\text{сут}} T_{\text{хр}}) / k_{\text{зап}} \quad (4.8)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточная производительность заполнителя определенной фракции, м³;

$T_{\text{хр}}$ – нормативный запас хранения, сут (принимается по таблице 4.15);

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения емкостей (принимается по таблице 4.15).

Таблица 4.15 – Склады готовой продукции

Наименование	Норма	Примечание
Запас готовой продукции, расчетные рабочие сутки	7–14	В зависимости от условий размещения производства
Минимальное количество силосов или бункеров, шт.		Равное числу фракций готовой продукции
а) производство керамзитового гравия	3	
б) производство керамзитового песка	2	
Коэффициент заполнения емкостей	0,8	–

4.5 Контроль производства и качества продукции

Контроль производственных процессов и качества продукции организуется по трем направлениям:

а) *входной контроль* качества сырья и материалов. Лаборатория и ОТК проверяют соответствие исходных материалов требованиям соответствующих ТНПА;

б) *операционный контроль* всех производственных процессов. Контроль должен организовываться по определенным схемам, составленным с учетом специфики, присущей тому или иному производству;

в) *приемочный контроль* качества готовой продукции обеспечивает проверку соответствия заполнителей по свойствам и качеству требованиям ТНПА.

Схема контроля производства записывается в таблицу 4.16 в порядке последовательности технологических процессов: входного контроля качества

сырьевых материалов, операционного контроля на стадиях производства продукции и приемочного контроля готовой продукции.

Таблица 4.16 – Схема контроля производства и качества готовой продукции

Объект контроля (технологический процесс)	Параметры контроля	Место отбора проб	Периодичность контроля	Методы контроля, обозначение ТНПА
<i>Входной контроль</i>				
<i>Операционный контроль</i>				
<i>Приемочный контроль</i>				
Приемосдаточные испытания				
Периодические испытания				

4.6 Охрана труда и окружающей среды

При проектировании производства должны быть предусмотрены мероприятия по охране труда и окружающей среды на основе действующих ТНПА.

Охрана труда на стадии проектирования состоит в разработке мероприятий, обеспечивающих создание надлежащих санитарно-гигиенических и безопасных условий труда производственного персонала. В круг этих мероприятий входят решения, касающиеся аспирации и обеспыливания, шумопонижения, нормализации температурно-влажностного режима, предотвращения опасных и вредных воздействий производственных факторов.

В производственных и вспомогательных помещениях нужно предусматривать оборудование вентиляционных и отопительных систем, защиту от лучистого тепла в виде теплоизоляции технологического оборудования, переносных защитных экранов, установку на отдельных рабочих местах стационарных или передвижных теплоизолированных кабин с вентиляцией, устройство воздушных и водораспылительных завес, применение индивидуальных защитных приспособлений: щитков, экранов, касок, очков, светофильтров, масок и др.

Охрана окружающей среды предусматривает мероприятия, направленные на защиту окружающей среды от работы проектируемого производства. Сюда входят очистка отходящих газов печей и других агрегатов от пыли и иных вредных веществ; утилизация пыли, уловленной системами газоочистки печей и сушильных барабанов; рекультивация земель по завершении разработки карьеров и другие решения, вытекающие из специфики производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ТКП 45-7.02-175–2009. Производство керамзитовых гравия и песка. Нормы технологического проектирования предприятий. – Введ. 2010-07-01. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2009. – 37 с.

2 ТКП 45-6.01-282–2013. Нормирование расхода сырьевых материалов в производстве керамических строительных материалов, в том числе искусственных пористых заполнителей (керамзита, аглопорита). – Введ. 2013-09-01. – Минск : Институт НИИСМ, 2013. – 27 с.

3 ТКП 45-1.03-42–2008. Безопасность труда в строительстве. Производство строительных материалов, конструкций и изделий. – Введ. 2009-07-01. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2008. – 113 с.

4 СТБ 1217–2000. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия. – Введ. 2000-01-01. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2000. – 10 с.

5 ГОСТ 32026–2012. Сырье глинистое для производства керамзитовых гравия, щебня и песка. Технические условия. – Введ. 2016-04-01. – М. : ЗАО «НИИКерамзит», 2012. – 31 с.

6 ГОСТ 10832–2009. Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия. – Введ. 2012-01-01. – Киев : Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт строительных материалов и изделий, 2009. – 21 с.

7 ГОСТ 25226–96. Щебень и песок перлитовые для производства вспученного перлита. Технические условия. – Введ. – 1997-10-01. – М. : Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) Российской Академии наук, 1996. – 17 с.

8 ГОСТ 32496–2013. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия. – Введ. 2016-09-01. – М. : ЗАО «НИИКерамзит», 2013. – 13 с.

9 ГОСТ 12865–67. Вермикулит вспученный. – Введ. 1968-07-01. – М. : Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР, 1967. – 5 с.

10 ГОСТ Р 56507–2015. Заполнители термолитовые на основе кремнистого сырья. Технические условия. – Введ. 2017-01-01. – М. : ЗАО «НИИКерамзит», 2015. – 8 с.

11 СТБ 1187–99. Бетоны легкие. Технические условия. – Введ. 2000-07-01. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 1999. – 16 с.

12 ГОСТ 25214–82. Бетон силикатный плотный. Технические условия. – Введ. 1983-01-01. – М. : Министерство промышленности строительных материалов СССР, 1982. – 5 с.

13 СТБ EN 12620–2010. Заполнители для бетона. – Введ. 2011-07-01. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.

14 СТБ EN 13055-1–2003. Заполнители легкие. Часть 1. Заполнители легкие для бетона и строительного раствора. – Введ. 2004-01-01. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2003. – 36 с.

15 ГОСТ EN 14063-1–2015. Материалы теплоизоляционные для зданий и сооружений. Керамзит. Часть 1. Технические условия. – Введ. 2016-10-01. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2015. – 26 с.

16 Строительные машины: в 2 т. / под общ. ред. канд. техн. наук М. Н. Горбовца. – М. : Машиностроение, 1991. – Т. 2 : Оборудование для производства строительных материалов и изделий.

17 **Чумаков, Л. Д.** Технология заполнителей бетона : практикум / Л. Д. Чумаков. – М. : АСВ, 2006. – 120 с.

18 **Чумаков, Л. Д.** Технология заполнителей бетона / Л. Д. Чумаков. – М. : АСВ, 2011. – 261 с.

19 **Ицкович, С. М.** Технология заполнителей бетона / С. М. Ицкович, А. Д. Чумаков, Ю. М. Баженов. – М. : Высшая школа, 1991. – 272 с.

Учебное издание

АШУРКО Наталья Ивановна
БОЙКАЧЕВА Елена Владимировна
БЕЛОКОБЫЛОВА Анна Байрамгельдыевна

**ИСКУССТВЕННЫЕ
ПОРИСТЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНА**

Учебно-методическое пособие

Редактор Л. С. Репикова
Технический редактор В. Н. Кучерова

Подписано в печать 26.02.2019 г. Формат бумаги 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 4,20. Уч.-изд. л. 4,77. Тираж 50 экз.
Зак. № 879. Изд. № 95

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель