

Искусственные
пористые
заполнители
и легкие бетоны
на их основе

Справочное
пособие

Москва
Стройиздат

ИСКУССТВЕННЫЕ
ПОРИСТЫЕ
ЗАПОЛНИТЕЛИ
И ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ
НА ИХ ОСНОВЕ

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

*Под редакцией доктора технических наук,
профессора Ю. П. Горлова*



МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1987

Печатается по решению секции литературы по строительным материалам редакционного совета Стройиздата

Рецензент — д-р техн. наук, проф. Б. В. Гусев

Авторы: С. Г. Васильков, С. П. Онацкий, М. П. Элинзон, Б. Н. Виноградов, М. Я. Шпирт, А. Я. Болотин, Г. М. Бигильдеева, Г. И. Динзгоф, С. И. Ильичева, Р. П. Оганесян, В. П. Петров, М. Л. Эллерн, О. Ю. Якшаров, Б. В. Скиба, Л. Ю. Ерихемзон-Логвинский, А. Б. Журба, Ю. В. Иткин, Р. У. Хасянова, Р. И. Ходская, Г. Я. Шиканов, С. Е. Александров, А. И. Полинковская, Н. И. Сергеев, Г. И. Коношенко, Г. А. Петрихина, Ю. М. Романов, И. И. Миляков, А. А. Ахундов, В. Г. Довжик, В. В. Карху

399823

БИБЛИОТЕКА
Госплана СССР

Искусственные пористые заполнители и легкие И 86 бетоны на их основе: Справ. пособие/С. Г. Васильков, С. П. Онацкий, М. П. Элинзон и др.; Под ред. Ю. П. Горлова. — М.: Стройиздат, 1987. — 304 с.

Содержатся технические характеристики искусственных пористых заполнителей — керамзитового и шунгизитового гравия и песка, глинозольного керамзита, аглопоритовых гравия, щебня и т. д. Описаны свойства легких бетонов на их основе. Даны рекомендации по производству искусственных пористых заполнителей. Приведены основные сведения о применяемом оборудовании и методах контроля качества пористых заполнителей.

Для инженерно-технических и научных работников проектных и научно-исследовательских организаций.

И 3203000000—605

130—86

ББК 38.33

047(01)—87

© Стройиздат, 1987

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года, принятыми на XXVII съезде КПСС, предусмотрено улучшить структуру применяемых строительных материалов, расширить использование эффективных видов металлопроката, пластмасс, смол, полимеров, прогрессивных изделий из древесных, керамических и других неметаллических материалов. Наиболее эффективным материалом для массового производства конструкций являются легкие бетоны на пористых заполнителях — природных и искусственных.

В настоящее время промышленностью освоено производство ряда искусственных пористых заполнителей. К ним относятся: керамзитовые гравий, щебень и песок; аглопоритовые щебень, гравий и песок; щебень и песок из пористого металлургического шлака (шлаковая пемза); песок и щебень перлитовые вспученные; шунгизитовый гравий; глинозольный керамзит; гравий или щебень из кремнистых пород.

На основе этих заполнителей получены легкие бетоны: теплоизоляционные (перлитобетон и керамзитобетон из легких разновидностей керамзита); конструктивно-теплоизоляционные (перлитобетон, керамзитобетон, легкие бетоны на основе шунгизита, глинозольного керамзита, вспученных кремнистых пород, аглопоритобетон, шлакопемзабетон); конструкционные, в том числе, высокопрочные (аглопоритобетон, шлакопемзабетон, бетон на вспученных кремнистых породах). Из бетонов на перечисленных заполнителях можно изготовить практически всю номенклатуру строительных конструкций, выпускаемых нашей промышленностью.

В СССР действует большое количество предприятий по производству искусственных пористых заполнителей.

В одиннадцатой пятилетке введено в действие предприятие по производству аглопоритовых щебня и песка из отходов от добычи горючих сланцев в г. Сызрани (Куйбышевская обл.). Кроме того, в пос. Днестровский Молдавской ССР введен в эксплуатацию завод по производству аглопоритовых гравия, щебня и песка из гидроудалаемой золы Молдавской ГРЭС. Подобное производство не имеет аналога.

В настоящее время Южгипростром (г. Киев) по технологии ВНИИстрема им. П. П. Будникова запроектировал завод по производству аглопоритового гравия из зольной пульпы Омской ТЭЦ-5 производительностью 1,6 млн. м³.

Основную массу искусственных пористых заполнителей в настоящее время используют в производстве изделий для ограждающих конструкций. В то же время достаточно эффективно их применение в несущих конструкциях (взамен природного щебня и гравия) и для изготовления высокопрочных бетонов.

Поэтому рекомендуется организовывать комплексное строительство из легкобетонных изделий и конструкций. Применение легких бетонов для ограждающих и несущих конструкций, например жилых зданий, приводит к значительному снижению трудозатрат, расхода бетона, цемента, арматурной стали, сметной стоимости строительства, удельных капитальных вложений, транспортных расходов, уменьшению массы зданий.

Представляется целесообразным развивать в металлургических районах производство щебня и песка из шлаковой пемзы; в районах месторождений высоковспучивающихся глинистых, а также шунгитосодержащих пород — легких марок керамзитовых гравия, щебня и песка или шунгизитового гравия и песка; вблизи теплоэлектростанций, углеобогачительных фабрик, а также в районах месторождений слабо- или неспучивающихся глинистых пород — аглопоритовых гравия, щебня и песка; в районах месторождений камнеподобных глинистых пород (глинистых сланцев) — керамзитовых щебня и песка; при наличии месторождений кремнистых пород — термолитовых гравия и щебня.

В местах месторождений вулканических водосодержащих горных пород, а также гидратированных слюд с учетом целесообразного радиуса их перевозки рекомендуется производить вспученные перлит и вермикулит.

Кроме того, в отдельных случаях может быть организовано производство, например, безобжигового зольного гравия, гравия на основе глиноперлитовых смесей и т. д. При наличии в районе нескольких видов сырья или отходов промышленности решению вопроса организации производства заполнителей должен предшествовать технико-экономический анализ.

В справочном пособии содержатся не только материалы, касающиеся искусственных пористых заполнителей, освоенных промышленностью, но и тех, которые прошли опытно-промышленную проверку.

Предисловие написано канд. техн. наук М. П. Элинзоном; гл. 1 — кандидатами техн. наук М. П. Элинзоном и Б. Н. Виноградовым; гл. 2 — д-ром техн. наук, проф. М. Я. Шпиртом и А. Я. Болотным; гл. 3 — инж. А. Я. Бо-

лотиним; гл. 4 — д-ром техн. наук, проф. С. П. Онацким, кандидатами техн. наук Г. М. Бигильдеевой, Г. И. Дизенгофом, С. И. Ильичевой, Р. П. Оганесяном, В. П. Петровым, М. Л. Эллерном, О. Ю. Якшаровым, инж. Б. В. Скибой; гл. 5 — д-ром техн. наук С. Г. Васильковым, кандидатами техн. наук Л. Ю. Ерихемзоном-Логвинским, А. Б. Журба, Ю. В. Иткиным, Р. У. Хасяновой, Р. И. Ходской, Г. Я. Шишкановым, М. П. Элинзоном; гл. 6 — кандидатами техн. наук С. Е. Александровым, М. П. Элинзоном; гл. 7 — кандидатами техн. наук А. И. Полинковской, Н. И. Сергеевым; гл. 8 — кандидатами техн. наук Г. И. Коношенко, Г. А. Петрихиной, Ю. М. Романовым, инж. И. И. Милияковым; гл. 9 — д-ром техн. наук А. А. Ахундовым; гл. 10 — канд. техн. наук В. Г. Довжиком; гл. 11 — инж. А. Я. Болотиным; гл. 12 — канд. техн. наук М. П. Элинзоном; гл. 13 — канд. техн. наук Л. Ю. Ерихемзоном-Логвинским; гл. 14 — инж. В. В. Карху. Научная редакция осуществлена канд. техн. наук М. П. Элинзоном.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Искусственными пористыми неорганическими заполнителями, используемыми для приготовления бетонов различного назначения (теплоизоляционных, конструктивно-теплоизоляционных, конструкционных, в том числе высокопрочных), называют пористые сыпучие материалы гравие- или щебнеподобной формы, получаемые, как правило, при термической обработке природного силикатного сырья или соответствующих отходов промышленности, предварительно подготовленных в виде гранул (зерен) или шихт с последующим дроблением и рассевом готовой продукции.

Насыпная плотность этих заполнителей не должна превышать, кг/м³:

при крупности зерен (гранул) от 5 до 40 мм (гравий, щебень) — 1000; менее 5 мм (песок) — 1200.

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Классификация по методу термической обработки. В соответствии с ГОСТ 25137—82 к искусственным пористым заполнителям, специально изготовленным путем термической обработки подготовленных сырцовых зерен (гранул) из природного сырья или отходов промышленности с последующим рассевом или дроблением и рассевом, относят заполнители, приведенные в табл. 1.1.

Классификация по форме и характеру поверхности. По форме и состоянию поверхности зерен (гранул) искусственные пористые заполнители подразделяют на следующие четыре вида:

гравиеподобной формы — гранулы имеют округлую форму с оплавленной поверхностью;

щебнеподобной формы — зерна имеют неправильную угловатую форму с пористой, иногда ноздреватой, поверхностью;

Таблица 1.1. Классификация искусственных пористых заполнителей по методу термической обработки

Заполнитель	Исходное сырье	Метод получения заполнителя
Керамзитовый гравий	Глинистые и песчано-глинистые породы — глины, суглинки	Обжиг со вспучиванием гранул, отформованных из поро- ды
Керамзитовый песок гравиеподобной формы	Глинистые и песчано-глинистые породы, топливосодержащие отходы обогащения и сжигания углей	Обжиг со вспучиванием подготовленных зерен
Керамзитовый щебень Керамзитовый песок щебнеподобной (угловатой) формы	Глинистые сланцы, аргиллит, алевролит Глины, суглинки, глинистые сланцы, аргиллит, алевролит	Обжиг со вспучиванием зерен дробленных пород Отсев фракции менее 5 мм при получении керамзитовых гравия и щебня. Дробление несортных фракций, а также сваров керамзитовых гравия или щебня и отсева фракции менее 5 мм
Шунгитовый гравий	Шунгитосодержащие сланцы	Обжиг со вспучиванием подготовленных зерен породы
Шунгитовый песок гравиеподобной формы	То же	Отсев фракции менее 5 мм при получении шунгитового гравия
Глинозольный керамзитовый гравий	Глинистые и песчано-глинистые породы — глины, суглинки с добавкой золы-уноса или золашлаковой смеси отвалов ТЭС	Обжиг со вспучиванием отформованных гранул из глинозольной массы
Глинозольный керамзитовый песок гравиеподобной формы	Глины, суглинки с добавкой золы-уноса или золашлаковой смеси отвалов ТЭС	Отсев фракции менее 5 мм при получении глинозольного керамзита
Вспученный трепельный гравий	Трепельные породы	Обжиг со вспучиванием подготовленных гранул породы
Вспученный трепельный песок гравиеподобной формы	То же	Отсев фракции менее 5 мм при получении трепельного гравия
Вспученный перлитовый щебень	Вулканические водосодержащие породы — перлит, обсидиан	Обжиг со вспучиванием подготовленных из пород гранул
Вспученный перлитовый песок щебнеподобной формы	То же	Обжиг со вспучиванием подготовленных зерен породы, а также отсева фракции менее 5 мм при получении вспученного перлитового щебня
Вспученный вермикулитовый щебень Вспученный вермикулитовый песок щебнеподобной формы	Природные гидратированные слюды То же	Обжиг со вспучиванием подготовленных зерен породы
Зольный обжиговый гравий	Зола отвалов ТЭС	Обжиг со вспучиванием подготовленных гранул из золы ТЭС
Термолитовый щебень	Кремнистые опаловые породы	Обжиг без вспучивания подготовленной фракционированной породы
Термолитовый песок щебнеподобной формы Термолитовый гравий	То же	Отсев фракции менее 5 мм при получении термолитового щебня Обжиг без вспучивания гранул, подготовленных из поро- ды

Продолжение табл. 1.1

Заполнитель	Исходное сырье	Метод получения заполнителя
Термолитовый песок гравиеподобной формы	→	Отсев фракции менее 5 мм при получении термолитового гравия
Зольный безобжиговый гравий	Зола-унос ТЭС в смеси с вяжущим веществом (цемент, известь)	Твердение подготовленных гранул на воздухе или их гидротермальная обработка (пропаривание)
Аглопоритовый щебень из природных глинистых пород	Песчано-глинистые породы	Спекание при обжиге зерен, подготовленных из глинистых пород
Аглопоритовый песок щебнеподобной формы	То же	Отсев фракции менее 5 мм после дробления аглопоритовых брусьев
Аглопоритовый щебень из отходов углеобогащения	Отходы обогащения углей	Спекание при обжиге подготовленных зерен из отходов углеобогащения
Аглопоритовый песок из отходов углеобогащения	То же	Отсев фракции менее 5 мм при дроблении аглопоритовых брусьев
Аглопоритовый гравий (щебень) из золы ТЭС	Текущие выходы золы-уноса ТЭС	Спекание при обжиге подготовленных гранул из золы ТЭС
Аглопоритовый песок гравиеподобной или щебнеподобной формы из золы ТЭС	То же	Отсев фракции менее 5 мм при получении аглопоритового гравия или после дробления аглопоритовых спеков (брусьев)
Щебень из шлаковой пемзы	Шлаковые расплавы металлургических и химических производств	Поризация шлакового расплава
Песок щебнеподобной формы из шлаковой пемзы	Шлаковые расплавы металлургических и химических производств	Отсев фракции менее 5 мм при дроблении глыб шлаковой пемзы
Гранулированный шлак мелкозернистый	То же	Быстрое охлаждение шлаковых расплавов
Азеритовый гравий	Глинистые породы и соответствующие отходы промышленности	Перевод породы в расплав, измельчение охлажденного расплава, его грануляция и обжиг со вспучиванием сырьевых гранул
Азеритовый песок гравиеподобной формы	То же	Отсев фракция менее 5 мм при получении азеритового гравия
Гранулированное пеностекло	Отходы тарного и строительного стекла, вулканический пепел	Спекание со вспениванием окатанных гранул
Стеклопор	Силикат-глыба, минеральный наполнитель, отходы цинкового производства	Вспучивание при температуре 350—400°С

песок гравиеподобной формы — зерна имеют округлую форму с относительно гладкой поверхностью;

песок щебнеподобной формы — зерна имеют неправильную угловатую форму с пористой поверхностью.

Классификация по размеру зерен (гранул). По размеру зерен (гранул) искусственные пористые заполнители подразделяют на два класса: крупный пористый от 5 до 40 мм; пористый песок менее 5 мм.

Крупные заполнители подразделяют на три фракции, мм: от 5 до 10, от 10 до 20 и от 20 до 40.

Классификация по насыпной плотности. По показателям насыпной плотности в сухом состоянии крупные искусственные пористые заполнители подразделяют на двенадцать марок — от 250 до 1200, а пористые пески — на пятнадцать марок — от 100 до 1400.

Насыпная плотность для каждой данной марки приведена в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Насыпная плотность искусственных пористых заполнителей по маркам (по ГОСТ 9757—83)

Марка по насыпной плотности	Насыпная плотность, кг/м ³	Марка по насыпной плотности	Насыпная плотность, кг/м ³
100	до 100	600	св. 500 до 600
150	св. 100 до 150	700	» 600 до 700
200	» 150 до 200	800	» 700 до 800
250	» 200 до 250	900	» 800 до 900
300	» 250 до 300	1000	» 900 до 1000
400	» 300 до 400	1100	» 1000 до 1100
500	» 400 до 500	1200	» 1100 до 1200
		1400	» 1200 до 1400

Примечание. Допускается вводить промежуточные марки по насыпной плотности с градацией 50. Такие марки введены в ГОСТ 9759—83, 9760—75, 22263—76. По ГОСТ 10832—83 для вспученного перлитового песка принят нижний предел насыпной плотности 75 кг/м³.

Классификация по направлению использования. Искусственные пористые заполнители в зависимости от насыпной плотности подразделяют на три группы: для приготовления теплоизоляционных, конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных, в том числе, высокопрочных легких бетонов. Для приготовления указанных легких бетонов могут быть применены искусственные крупные пористые заполнители с насыпной плотностью 250—400 кг/м³ для теплоизоляционных бетонов, 250—800 кг/м³ — для конструкционно-теплоизоляционных и 500—1000 кг/м³ — для конструкционных.

Общие технические свойства искусственных пористых заполнителей. Важнейшими техническими свойствами, характеризующими искусственные пористые заполнители, являются: насыпная плотность, прочность, стойкость, зерновой состав (крупность), объем

межзерновых пустот крупного заполнителя (гравия, щебня), пористость, характер поверхности зерен и их форма, водопоглощение, теплопроводность.

Из перечисленных важнейших свойств искусственных пористых заполнителей наибольшее значение имеют: насыпная плотность как предопределяющая среднюю плотность легкого бетона, прочность и стойкость. Зерновой состав, характер поверхности зерен и объем межзерновых пустот крупного заполнителя (гравия, щебня) оказывают влияние на свойства легкобетонных смесей (подвижность, удобоукладываемость), расход цемента, среднюю плотность и прочность легкого бетона.

При расчете состава легкого бетона с использованием показателя насыпной плотности искусственного пористого заполнителя необходимо учитывать крупность зерен (гранул) последнего, а также объем межзерновых пустот.

С увеличением размеров зерен (гранул) насыпная плотность соответственно уменьшается. Разница в насыпной плотности двух смежных фракций искусственного пористого заполнителя тем больше, чем больше средняя крупность пор и общая (истинная) пористость и чем мельче эти фракции.

Насыпная плотность искусственного пористого заполнителя связана с его межзерновой пустотностью.

Межзерновая пустотность крупных искусственных пористых заполнителей влияет на расход цемента при приготовлении легкобетонных смесей: при сравнимых условиях для получения легкого бетона заданной прочности чем больше межзерновая пустотность, тем больше расход цемента (вяжущего).

Чем прочнее искусственный пористый заполнитель, тем при прочих равных условиях можно достичь большей прочности легкого бетона. При сравнимых условиях чем больше прочность искусственного пористого заполнителя, тем меньше расход цемента и средняя плотность легкого бетона.

Искусственные пористые заполнители, характеризующиеся недостаточной стойкостью, могут разрушаться, в том числе, и в бетоне в период его эксплуатации.

Искусственные пористые заполнители должны быть стойкими к попеременному насыщению водой и последующему высушиванию; от насыщения водой не должны снижать своей прочности более определенного предела; при прокаливании могут терять свою массу не более определенного количества; должны быть морозостойкими, а также стойкими при испытании на силикатный и железистый распады и в растворе сернистого натрия.

Требования, предъявляемые к искусственным пористым запол-

нителям. К искусственным пористым заполнителям предъявляются следующие основные требования*.

Гравий керамзитовый. Насыпная плотность — 250—600 кг/м³, прочность (при сдавливании в цилиндре) для высшей и первой категории керамзитового гравия должна составлять соответственно 0,8—2,1 МПа (8—21 кгс/см²) и 0,6—2,5 МПа (6—25 кгс/см²); зерновой состав каждой фракции гравия должен находиться в следующих пределах: полный остаток на сите, % по объему — $D_{\text{норм.}}$ — от 90 до 100; $D_{\text{наиб.}}$ — до 10; $2D_{\text{наиб.}}$ — не допускается; коэффициент формы (отношение наибольшего размера к наименьшему) — не более 1,5 (среднее значение); зерен с коэффициентом формы более 2,5 — не более 15%; содержание расколотых зерен — не более 15% по массе для гравия первой категории качества и 10% — для гравия высшей категории качества; потеря массы после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания не должна превышать 8%, при кипячении — более 5%; водопоглощение, % по массе, в течение 1 ч не должно превышать от 20 до 30 (в зависимости от марки гравия по насыпной плотности — соответственно от 600 до 400 включительно); содержание водорастворимых сернистых и сернистых соединений не должно превышать 1%; влажность поставляемого керамзитового гравия — не более 5% по массе.

Песок керамзитовый гравиеподобной формы. Насыпная плотность — 500—900 кг/м³; зерновой состав — содержание зерен 5—10 мм — не более 10% по объему; гранулометрия — в зависимости от области его использования. Песок, полученный в печи кипящего слоя и применяемый для конструкционно-теплоизоляционного бетона, может содержать частицы размером 0,16 мм не более 5% по объему. Содержание в песке слабообожженных частиц — не более 3% по массе; содержание в песке, применяемом для армированных бетонов, водорастворимых сернистых и сернистых соединений и пересчете на SO₃ — не более 1% по массе; влажность поставляемого песка — не более 2% по массе.

Щебень керамзитовый. Насыпная плотность — 350—800 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — 1,8—3 МПа (18—30 кгс/см²); зерновой состав тот же, что у гравия керамзитового; содержание зерен пластинчато-угловатой формы** — не более 15% по массе; потеря массы: после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания — не более 8%, при кипячении — 5%; водопоглощение в течение 1 ч в зависимости от марки щебня по насыпной плотности — не более 15—25%; содержание сульфатных

* В перечне требований к отдельным видам искусственных пористых заполнителей приводятся колебания показателей свойств в зависимости от их фракций.

** Зерна, толщина и ширина которых меньше длины не менее, чем в три раза.

соединений в пересчете на SO_3 — не более 3%, а сульфидных также в пересчете на SO_3 — не более 1%; влажность поставляемого щебня — не более 2% по массе.

Песок керамзитовый щебнеподобной формы должен отвечать требованиям, изложенным для керамзитового песка гравиеподобной формы.

Исходный материал (керамзитовый гравий несортный, а также спёки), подвергаемый дроблению на керамзитовый песок, должен удовлетворять следующим требованиям: морозостойкость керамзита — не менее 15 циклов; потеря массы керамзита при кипячении — не более 5%.

Гравий шунгизитовый. Насыпная плотность 200—550 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — в зависимости от категории качества 0,5—1,2 МПа (5—12 кгс/см²); зерновой состав каждой фракции должен находиться в следующих пределах: полный остаток на сите, % по объему $D_{\text{наим.}}$ — от 90 до 100; $D_{\text{наиб.}}$ — не более 10, $2D_{\text{наиб.}}$ — не допускается; содержание расколотых зерен — не более 15% по массе; потери массы: после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания не более 3%; при кипячении — не более 4%; водопоглощение в течение 1 ч в зависимости от марки гравия шунгизитового по насыпной плотности не более 15—20%; теплопроводность — не более 0,116 Вт/(м·°С); влажность поставляемого шунгизитового гравия — не более 2% по массе.

Песок шунгизитовый гравиеподобной формы. Насыпная плотность — 500—900 кг/м³; зерновой состав — зерна размером от 5 до 10 мм — не более 10% по объему.

Глинозольный керамзитовый гравий. Насыпная плотность — 350—800 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) 1,2—6,3 МПа (12—63 кгс/см²); водопоглощение — от 6 до 25%; потеря массы при кипячении — до 5%; морозостойкость — выдерживает 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания; коэффициент формы — 1,2—1,8; содержание расколотых зерен — от 5 до 15%; зерновой состав, %: содержание фракции 5—10 мм — 5—40; 20—40 мм — 2—20.

Глинозольный керамзитовый песок гравиеподобной формы. Содержание песка в смеси гравия и песка — от 5 до 20%.

Вспученный трепельный гравий (см. гл. 8).

Вспученный перлитовый щебень. Насыпная плотность — 300—600 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — 0,5—2,1 МПа (5—21 кгс/см²); зерновой состав каждой фракции перлитового щебня должен находиться в следующих пределах: полный остаток на сите, % по объему: $D_{\text{наим.}}$ — не более 85; $D_{\text{наиб.}}$ — не более 10; $2D_{\text{наиб.}}$ — не допускается; коэффициент формы зерен — 1,3—2,5; содержание расколотых зерен — до 20%; содержание зе-

рен пластинчато-угловатой формы при шестовой структуре перлитового сырья — до 50—60%; потеря массы: после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания — не более 10%, после прокаливания — до 0,5—0,9%, при силикатном распаде — до 2,8%, при железистом распаде — до 1,6%, водопоглощение через 1 ч в зависимости от испытываемой фракции — не более 25—75% по массе; коэффициент размятчения — 0,7—0,8; объем межзерновых пустот — до 48%; влажность отгружаемого вспученного перлитового щебня — не более 1,5% по массе.

Вспученный перлитовый песок щебнеподобной формы. Насыпная плотность — 75—500 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — 0,02—1,5 МПа (0,2—15 кгс/см²); зерновой состав: содержание зерен размером менее 0,16 мм — не более 10% по объему; теплопроводность в зависимости от марки вспученного перлитового песка по насыпной плотности — от 0,046 до 0,092 Вт/(м·К).

Вспученный вермикулитовый щебень. Насыпная плотность — 100—200 кг/м³. Зерновой состав: содержание зерен размером менее 0,16 мм — не более 10% по объему; теплопроводность — 0,064—0,075 Вт/(м·К); влажность поставляемого вспученного вермикулитового щебня — не более 3% по массе.

Вспученный вермикулитовый песок. Насыпная плотность, зерновой состав и теплопроводность в зависимости от марки по насыпной плотности такие, как и для вспученного вермикулитового щебня; влажность поставляемого вспученного вермикулитового песка — не более 3% по массе.

Зольный обжиговый гравий. Насыпная плотность 300—1000 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — 0,5—10 МПа (5—100 кгс/см²). Содержание расколотых зерен — не более 5%; потеря массы: после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания не более 10%, при прокаливании — не более 5%; водопоглощение — 3—13%.

Термолитовый щебень (см. гл. 8).

Зольный безобжиговый гравий (см. гл. 4).

Аглопоритовый щебень из природных глинистых пород и отходов углеобогащения (см. гл. 5).

Щебень из шлаковой пемзы. Насыпная плотность — 300—1000 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — 0,2—2,7 МПа (2—27 кгс/см²); зерновой состав каждой фракции щебня: полный остаток на сите $D_{\text{наим.}}$ — не менее 95%, $D_{\text{наиб.}}$ — не более 5% по объему; коэффициент формы зерен — не более 2; потеря массы, не более: после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания — 8%, при испытании на силикатный распад — 5%; объем межзерновых пустот — не более 50%.

Песок щебнеподобной формы из шлаковой пемзы. Насыпная

плотность — 600—1200 кг/м³; зерновой состав крупного песка: полный остаток на сите 5 мм — 0,5% по объему, на сите 2,5 мм — 20—70%, на сите 1,25 мм — 100% по объему; зерновой состав мелкого песка: полный остаток на сите 1,25 мм — 0—15% по объему, 0,63 мм — 15—30%, 0,315 мм — 35—70% и 0,14 мм — 50—90% по объему.

Гидроудаленная зола ТЭС как мелкий наполнитель. Насыпная плотность — не более 1300 кг/м³; зерновой состав: содержание зерен крупнее 5 мм — не более 5% по массе; удельная поверхность 1500—4000 см²/г; потеря массы при прокаливании — от 5 до 25% в зависимости от вида сжигаемого топлива; содержание сернистых соединений в пересчете на SO₃ — не более 3% по массе; влажность золы — не более 20% по массе.

Азериловый гравий. По данным НИИЖБ Госстроя СССР: насыпная плотность фракций 5—10 и 10—20 мм — 490—542 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — 4,2—10 МПа (42—100 кгс/см²); межзерновая пустотность — 39,8—40,5%; водопоглощение — за 1 ч — 16,3, за 48 ч — 15,6—19,8%; коэффициент размягчения — 0,7—0,88.

Азериловый песок гравиеподобной формы. По данным НИИЖБ Госстроя СССР: насыпная плотность 590—770 кг/м³; зерновой состав — полный остаток на ситах размером (мм), % по объему: 2,5—61,4; 1,25—89,4; 0,63—92,8; 0,315—94,5; 0,14—96,2; менее 0,16—3,8.

Азериловый песок щебнеподобной формы. Насыпная плотность — 722—770 кг/м³; зерновой состав — полный остаток на ситах размером, мм, % по объему: 2,5—10,1—42,8; 1,25—24,7—57,1; 0,63—36,3—69,4; 0,315—46,3—77,7; 0,16—57,2—84,77; меньше 0,16—42,8—15,2.

Гранулированное пеностекло. По данным МИСИ им. В. В. Куйбышева: насыпная плотность — 160—200 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — 0,5—1 МПа (5—10 кгс/см²); зерновой состав: минимальный размер гранул — 5—7 мм, максимальный размер — 30 мм; водопоглощение по массе за 24 ч — 5—14%; теплопроводность — 0,067—0,072 Вт/(м·К); потеря массы при кипячении отсутствует; температура применения — 600°C.

Стеклопорит. По данным МИСИ им. В. В. Куйбышева: насыпная плотность — 25—100 кг/м³; прочность (при сдавливании в цилиндре) — 0,03—0,6 МПа (0,3—6 кгс/см²); зерновой состав: минимальный размер гранул — 1 мм, максимальный размер гранул — 30 мм; водопоглощение по массе за 24 ч — 8—11%; теплопроводность — 0,035—0,052 Вт/(м·К); температура применения — 500°C.

1.2. ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИЕ ОТХОДЫ

Номенклатура топливосодержащих отходов. К топливосодержащим отходам промышленности относят отходы добычи, обогащения и сжигания бурого, каменных углей, антрацита, горючих сланцев и торфа.

К номенклатуре топливосодержащих отходов промышленности как сырья или добавке для производства искусственных пористых наполнителей относят:

горелую породу — камнеподобную, не размокающую в воде глинистую породу (продукт дегидратации глинистой составляющей или глинистого сланца — отхода от добычи твердого топлива в результате выгорания его горючей части в терриконах), используемую как отощающую добавку при производстве аглопоритового щебня и песка;

породу углеобогащения (неоднородную грубообломочную смесь глины, глинистого сланца, угля и вмещающих пород — песчаников, песков, известняков), отличающуюся по литологическому составу, содержанию невыделенного угля, крупности кусков, плавкости, по интервалу размягчения, содержанию отдельных оксидов, пластическим свойствам минеральной части и используемую как основное сырье для производства аглопоритового щебня и песка;

золу-унос или золошлаковую смесь отвала ТЭС (продукты термической обработки минеральной части угля при 1200—1770°C в котлах ТЭС), отличающуюся в зависимости от вида и марки угля, тонкости его измельчения и т. д. различным химическим и минеральным составом, структурой, зерновым составом); используется в качестве основного сырья в производстве аглопоритовых гравия, щебня и песка, а также в качестве составляющей шихты в производстве глинозольного керамзитового гравия и топливной добавки при получении аглопоритового щебня из глинистых пород.

Классификация топливосодержащих отходов. По виду используемого топлива — на получаемые от обогащения и сжигания различных углей, горючих сланцев и торфа.

По источнику образования — на минеральную породу, получаемую на углеобогажительных фабриках (УОФ), и золу-унос, а также кусковые шлаки, получаемые при сжигании твердых топлив на тепловых электростанциях (ТЭС).

По содержанию углерода — на малосодержащие — до 5% по массе отхода; среднесодержащие — от 5 до 20 и с большим содержанием — более 20%.

По химическому составу минеральной части отхода — с высоким содержанием кислых оксидов: кремнезема и окиси алюминия; оксидов кальция, магния и серы.

1.3. ПРИРОДНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Таблица 1.3. Номенклатура глинистых пород*

Сырье	Определение	Вспучивание при быстром нагреве до температуры 1100—1250°С	Назначение
Глина	Порода, содержащая свыше 30% частиц менее 0,001 мм и образующая при затворении или растирании с водой пластичную массу	Вспучивается Не вспучивается или слабо вспучивается	Для керамзитовых гравия и песка Связующая добавка или основное сырье для аглопоритовых щебня, гравия и песка
Суглинок и супесь	Малопластичная порода, содержащая частицы менее 0,001 мм в количестве от 10 до 30%	Не вспучивается или слабо вспучивается	Для аглопоритовых щебня, гравия и песка
Аргиллит	Камнеподобная, не размокающая в воде глинистая порода, образовавшаяся при диагенезе или начальной стадии динамотермального метаморфизма глины, суглинки или супеси	Не вспучивается или слабо вспучивается	Для керамзитовых щебня и песка Для аглопоритовых щебня и песка
Глинистый сланец	Камнеподобная, не размокающая в воде глинистая порода с четко выраженной сланцеватостью, являющаяся продуктом динамотермального метаморфизма глины, суглинки или супеси	Вспучивается	Для керамзитовых щебня и песка
Шунгитсодержащая порода	Камнеподобная, не размокающая в воде порода с нечетко выраженной сланцеватостью, возникающая при натровом метасоматозе глин, суглинков, супесей и вулканогенно-осадочных пород. Характеризуется присутствием слоистых гидроалюмосиликатов магния и железа, хлоритов и гидрохлоритов, а также графитизированного углистого вещества	Не вспучивается или слабо вспучивается	Для аглопоритовых щебня, гравия и песка Для керамзитовых (шунгитовых) гравия и песка
Трепеловидная глина и трепел	Камнеподобная или рыхлая порода, включающая глобулы аморфной кремнекислоты (опала) и тонкодисперсные глинистые минералы	Вспучивается Не вспучивается или слабо вспучивается	Для пористых гравия и песка Для термолитовых гравия и песка

* Глинистыми называют породы, содержащие специфические так называемые «глинистые» минералы — слоистые гидроалюмосиликаты с преобладающим размером частиц менее 0,001 мм.

По минеральному составу — неизменная порода отходов углеобогащения (глинистые компоненты с остатком угля) и измененная минеральная часть сжигаемого угля (стекловидный и кристаллические компоненты с коксовыми остатками).

По степени плавкости — тугоплавкие с температурой плавления выше мкм 1450°С, среднеплавкие — 1250—1450°С и легкоплавкие — менее 1250°С.

По интервалу размягчения (разность температуры плавления и начала деформации образца) — с коротким интервалом размягчения — менее 50° и длинным — более 50°.

По числу пластичности минеральной части отхода — высокопластичные, среднепластичные, умеренно пластичные, малопластичные и непластичные.

По зерновому составу — кусковые с размером кусков породы углеобогащения 80—300 мм, крупнозернистые 6—13 мм, среднезернистые — 3—6 мм, мелкозернистые — 1—3 мм, тонкодисперсные — 1—120 мкм.

По степени вспучиваемости — слабо или вовсе не вспучиваемые, средневспучиваемые и сильновспучиваемые.

По структурно-механическим свойствам — рыхлые: шахтные глинистые породы и породы углеобогащения; сухие тонкодисперсные пылевидные материалы (золы от пылевидного сжигания твердого топлива).

Классификация глинистого сырья. По пластичности (ГОСТ 9169-75) — высокопластичное — с числом пластичности более 25; среднепластичное — с числом пластичности от 15 до 25; умереннопластичное — с числом пластичности от 7 до 15; малопластичное — с числом пластичности менее 7; непластичное — неспособное при затворении водой давать пластичную смесь.

По содержанию крупнозернистых включений (частиц размером более 0,5 мм) — с низким содержанием включений — не более 1%; со средним содержанием включений — от 1 до 5%; с высоким содержанием включений — более 5%.

По виду включений — частиц размером более 0,5 мм с включениями: кварцевыми; железистыми; карбонатными; гипсовыми; органическими.

По содержанию тонкодисперсных фракций (ГОСТ 9169—75): высокодисперсное — с содержанием частиц размером менее 0,01 мм более 85% или менее 0,001 мм более 60%; дисперсное — с содержанием частиц размером менее 0,01 мм от 40 до 85% или менее 0,001 мм от 20 до 60%; грубодисперсное — с содержанием частиц размером менее 0,01 мм до 40% или менее 0,001 мм до 20%.

В случае выполнения обоих определений (содержания частиц менее 0,01 и менее 0,001 мм) классификацию сырья производят по содержанию частиц размером менее 0,001 мм.

По минеральному составу тонкодисперсных фракций (частич размером менее 0,01 мм): мономинеральное — с преобладанием (свыше 50%) одного из глинистых минералов: полиминеральное — в тонкодисперсных фракциях ни один из присутствующих глинистых минералов не преобладает.

Упрощенная минералогическая классификация промышленного глинистого сырья приведена в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Упрощенная минералогическая классификация промышленного глинистого сырья

Группа	Тип структуры (слоистой кристаллической решетки)	Стабильность структуры при действии воды	Пластичность	Особенности химического состава
Каолинитовое	Двухслойный (тетраэдрический и октаэдрический слои)	Не разбухает	Низкая	$Al_2O_3 : SiO_2$ от 0,8 до 0,9
Гидрослюдистое	Трехслойный (два тетраэдрических слоя и один октаэдрический)	Не разбухает	Высокая	$R_2O_3 : SiO_2$ от 0,5 до 0,7 $R_2O > 4\%$
Монтмориллонитовое	Трехслойный (два тетраэдрических слоя и один октаэдрический)	Сильно разбухает	Высокая	$R_2O_3 : SiO_2$ от 0,3 до 0,4 $RO > 3\%$
Монотермитовое	Смешаннослойный (сростки каолинитовой и гидрослюдистой решеток)	Не разбухает или разбухает слабо	Высокая	$Al_2O_3 : SiO_2$ от 0,7 до 0,8 $R_2O > 2\%$
Бейделлитовое	Смешаннослойный (сростки каолинитовой и монтмориллонитовой решеток)	Разбухает	Высокая	$Al_2O_3 : SiO_2$ от 0,5 до 0,6 $RO > 2\%$

По температуре спекания (ГОСТ 9169—75): низкотемпературное — с температурой спекания ниже 1100°C; среднетемпературное — с температурой спекания от 1100 до 1300°C; высокотемпературное — с температурой спекания свыше 1300°C.

По спекаемости (ГОСТ 9169—75): сильноспекающееся — способное при обжиге давать черепок с водопоглощением не более 2%; среднеспекающееся — способное при обжиге давать черепок с водопоглощением от 2 до 5%; неспекающееся — образующее при обжиге без признаков пережога черепок с водопоглощением свыше 5%.

По огнеупорности (ГОСТ 9160—82, с изм.): огнеупорное — с показателем огнеупорности свыше 1580°C; тугоплавкое — с показателем огнеупорности от 1350 до 1580°C; легкоплавкое — с показателем огнеупорности ниже 1350°C.

По вспучиваемости: высоковспучивающееся — способное при обжиге давать пористый черепок со средней плотностью менее 400 кг/м³; средневспучивающееся — способное при обжиге давать пористый черепок со средней плотностью от 400 до 750 кг/м³;

слабовспучивающееся — способное при обжиге давать пористый черепок со средней плотностью от 750 до 1500 кг/м³; невспучивающееся — не способное давать при обжиге пористый черепок со средней плотностью менее 1500 кг/м³.

ГЛАВА 2. ТОПЛИВО И ЕГО СЖИГАНИЕ

2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТОПЛИВА

При производстве искусственных заполнителей используют твердое, жидкое и газообразное топливо. В главах 4, 5, 7, 9 показано, в каких операциях применяется тот или иной вид топлива.

Теплота сгорания топлива и формулы для пересчета его показателей с одной массы на другую

Топливо состоит из горючей части, влаги W_t и минеральной массы. Массу топлива с содержанием влаги и зольностью, с которыми оно добывается, называют рабочей, с содержанием аналитической влаги и зольностью — аналитической. Если исключается влажность или влажность и зольность, то массу топлива называют соответственно сухой или сухой беззольной (табл. 2.1).

Одной из важнейших характеристик топлива является теплота сгорания. Различается высшая и низшая теплота сгорания. Низшая

Таблица 2.1. Формулы для пересчета характеристик топлива с одной массы на другую (по стандарту СЭВ 750—77)

Масса топлива			
рабочая r (р)	аналитическая a	сухая d (с)	сухая беззольная (горючая) daj (г)
1	$100 - Wa$	100	100
	$100 - W_t^r$	$100 - W_t^r$	$100 - (W_t^r + A^r)$
$100 - W_t^r$	1	100	100
$100 - Wa$		$100 - W^a$	$100 - (W^a + A^a)$
$100 - W_t^r$	$100 - W^a$	1	100
100	100		$100 - A^d$
$100 - (W_t^r + A^r)$	$100 - (W^a + A^a)$	$100 - A^d$	1
100	100	100	

Примечание. В скобках указаны обозначения или индексы, употреблявшиеся до принятия стандарта СЭВ 750—77.

теплота сгорания Q_i — это количество тепла, равное высшей теплоте сгорания за вычетом теплоты испарения воды, выделившейся при сгорании угля.

В справочниках приводятся величины низшей теплоты сгорания на сухую беззольную массу Q_i^{daf} , по которым можно рассчитать низшую теплоту сгорания на рабочую массу Q_i^r , кДж/кг

$$Q_i^r = \frac{Q_i^{daf} (100 - W_i^r - A^r)}{100} - 25,1 W_i^r,$$

где W_i^r , A^r — влажность и зольность поставляемого угля, %.

Формулы для расчета низшей теплоты сгорания по значениям высшей теплоты сгорания, а также пересчета низшей и высшей теплоты сгорания для различных масс топлива даны в СТ СЭВ 750—77.

Д. И. Менделеевым предложена формула, позволявшая оценивать теплоту сгорания твердого и жидкого топлива, кДж/кг

$$Q_i^a = 33,9 C_i^a + 1250 H_i^a - 108,7 (O_i^a - S_i^a) - 25,1 (W_i^a + 9 H_i^a),$$

где C_i^a , H_i^a , O_i^a , S_i^a — содержание углерода, водорода, кислорода и серы на аналитическую массу топлива.

Формула для расчета теплоты сгорания газообразного топлива приведена на с. 20.

Для сопоставления различных видов топлива используют в качестве эталона так называемое условное топливо с низшей теплотой сгорания $Q_i = 29\,260$ кДж/кг.

Характеристики твердых топлив

В соответствии со стандартами угли делят на бурые, каменные и антрациты.

Из имеющихся классификаций углей наиболее обоснованной следует считать петролого-геохимическую [1]. По этой классификации основным параметром является показатель отражательной способности витринита. Однако в большинстве классификаций в качестве классификационных параметров [2] принимают вышую теплоту сгорания массы влажного беззольного угля Q_s^{af} , выход летучих на сухую беззольную массу (по массе V^{daf} , % и объему $V_{об}$, см³/г), спекаемость (толщина пластического слоя y , мм), характер нелетучего остатка и влажность на рабочую массу W_i^r , %.

Бурые угли (марка Б) имеют $Q_s^{af} < 23\,830$ кДж/кг, в зависимости от влажности подразделяются на Б1 ($W_i^r > 40\%$); Б2 ($W_i^r = 30-40\%$) и Б3 ($W_i^r < 30\%$).

Каменные угли имеют $Q_s > 23\,830$ кДж/кг и $V^{daf} > 9\%$. В зависимости от выхода летучих, спекаемости и характера нелетучего остатка подразделяются на следующие марки: длиннопламенный (Д), газовый (Г), газовый жирный (ГЖ), жирный (Ж), коксовый жирный (КЖ); коксовый (К); отощенный спекающийся (ОС); тощий (Т); слабоспекающийся (СС). Свойства углей одних и тех же марок, но различных бассейнов в большинстве случаев отличаются друг от друга, так как значение V^{daf} и y для углей одних и тех же марок по различным бассейнам, а иногда и месторождениям неодинаково (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Классификация углей различных месторождений Советского Союза

Бассейн, месторождение	ГОСТ
Донецкий	8180—75, 8183—80, 8184—70 (с изм.)
Львовско-Вольский	8931—76 (с изм.), 8456—82
Днепроовский	9280—75
Подмосковный	7055—80, 4870—78 (с изм.)
Печорский	6991—74
Карагандинский	8150—85, 8152—73 (с изм.), 8158—80
Кузнецкий	8162—79 (с изм.), 10020—83, 8164—69 (с изм.), 8167—73 (с изм.)
Месторождения:	
Кавказа	6869—85
Урала	7050—76 (с изм.), 7430—73 (с изм.), 7431—73, 7432—73 (с изм.)
Средней Азии	7049—80
Восточной Сибири	9477—79 (с изм.)
Дальнего Востока	9478—81

Антрациты характеризуются $V^{daf} < 9\%$ и их подразделяют в зависимости от объемного выхода летучих на полуантрациты ПА ($V_{об}^{daf} = 220-330$ см³/г) и собственно антрациты А ($V_{об}^{daf} < 220$ см³/г). Полуантрациты имеют несколько более высокую теплоту сгорания ($Q_i > 35\,200$ кДж/кг).

Угли всех типов выпускают как в рядовом виде, так и после грохочения (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Классификация углей по размерам кусков (ГОСТ 19242—73)

Класс крупности	Обозначение	Размер кусков, мм
Плита	П	Более 100
Крупный	К	50—100
Орех	О	25—50
Мелкий	М	13—25
Семечко	С	6—13
Зубок	З	3—6
Штыб	Ш	Менее 6 или менее 3
Рядовой	Р	Не более 200 или 300
		соответственно при шахтной и открытой добыче
		Менее 25
Мелкий и семечко со штыбom	МСШ	
Семечко со штыбom	СШ	Менее 13

Уголь может быть представлен соответствующими буквенными и цифровыми индексами. Буквенные индексы обозначают марку

углей и классе по крупности, а цифровые индексы — для бурых углей — классе по влажности, а для каменных — толщину пластического слоя. Обозначение этих показателей производится слева направо. Например, ГР — газовый рядовой; БЗР — бурый, $W^r < 30\%$, рядовой; Ж1ЗС — жирный, минимальная толщина пластического слоя $y — 13$ мм, семечко; АШ — антрацит, штыб.

Средние показатели, характеризующие влажность, зольность, сернистость, состав органической и минеральной массы углей, а также плавкостные характеристики золы углей СССР приведены в справочнике «Энергетическое топливо СССР» (М., 1979). Влажность, зольность и сернистость углей даже одной шахты могут существенно изменяться от партии к партии. Поэтому необходим систематический контроль этих показателей. В то же время элементный состав (в расчете на беззольную массу) углей одной марки по каждому месторождению относительно постояен и практически соответствует справочным данным.

Характеристики жидкого и газообразного топлива

Виды жидкого топлива: мазут, газовый конденсат, дизельное топливо, керосин, бензин и др.

Для оценки теплоты сгорания жидкого топлива можно использовать соотношение $Q_i = K_i \cdot 29260$ кДж/кг, где $K_i = 1,4$ (мазут); $1,43$ (дизельное топливо); $1,47$ (керосин); $1,5$ (бензин).

В производстве искусственных заполнителей используют, как правило, мазут. ГОСТ 10585—75 определяет свойства мазутов в зависимости от их марок.

В качестве газообразного топлива могут применяться природный, нефтепромысловый, нефтезаводской, коксовый, полукоксый, водяной, генераторный, доменный, ваграночный газы, а также шахтный метан, водород, газы процессов брожения.

Газообразное топливо — это смесь разнообразных горючих и негорючих газов, а также частичек смол и пыли. Состав обычно выражают в % (объемах) в 1 м³ сухого газа, а количество водяного пара, смолы и пыли — в г/м³ сухого газа, т. е. в 1 м³ газа при $t = 0^\circ\text{C}$ и $P = 10^5$ Па.

Теплота сгорания Q газообразного топлива может быть рассчитана по формуле

$$Q_i^d = (Q_1 a_1 + Q_2 a_2 + \dots + Q_i a_i) / 100,$$

где Q_i , a_i — соответственно теплота сгорания и содержание, % по объему, отдельных газов, входящих в состав газообразного топлива.

2.2. ГОРЕНИЕ ТОПЛИВА

Количество воздуха, необходимого для горения топлива

Теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг твердого или жидкого топлива, определяют по формулам:

$$M_0 = 0,115 (C^r + 0,375 S^r) + 0,345 H^r - 0,043 O^r \text{ кг/кг};$$

$$V_0 = 0,089 (C^r + 0,375 S^r) + 0,267 H^r - 0,033 O^r \text{ м}^3/\text{кг},$$

где C^r , S^r , H^r , O^r — содержание элементов рабочей массы топлива, %; M_0 — теоретическая масса воздуха; V_0 — теоретический объем воздуха, приведенный к нормальным физическим условиям ($t = 0^\circ\text{C}$; атмосферное давление 101,325 кПа).

При дальнейшем изложении материала объемы воздуха для горения и продуктов сгорания топлива даны также приведенными к нормальным физическим условиям.

Теоретический объем воздуха, необходимого для полного сгорания 1 м³ газообразного топлива, определяют по формуле, м³/м³,

$$V_0 = 0,0476 [(0,5 \text{CO} + 0,5 \text{H}_2 + 2 \text{CH}_4 + 1,5 \text{H}_2\text{S}) + \\ + \sum (m + n/4) C_m H_n - \text{O}_2],$$

где CO, H₂, CH₄, H₂S, C_mH_n, O₂ — содержание компонентов газообразного топлива, %.

Если данные о содержании каждого из непредельных углеводородов отсутствуют (искусственные газы) и объединены одним показателем, считают, что они состоят из этилена C₂H₄.

Действительное количество воздуха M_d и V_d , необходимого для полного сгорания топлива, определяют по формулам:

$$M_d = \alpha \cdot M_0, \text{ кг/кг}; \quad V_d^* = \alpha \cdot V_0, \text{ м}^3/\text{кг}, \text{ для твердого или жидкого} \\ \text{топлива}; \quad V_d = \alpha V_0, \text{ м}^3/\text{м}^3, \text{ для газообразного топлива},$$

где α — коэффициент избытка воздуха.

Значение коэффициента избытка воздуха α в зоне горения колеблется в пределах 1,02—1,5 и для отдельных видов топлива составляет:

Кусковое твердое	1,3—1,5
Пылевидное	1,2—1,25
Жидкое	1,07—1,15
Газообразное	1,02—1,15

Состав и количество газообразных продуктов сгорания топлива

Состав продуктов полного сгорания топлива при $\alpha > 1$: трехатомные газы CO₂ и SO₂, суммарно обозначаемые RO₂, об-

разующиеся при сгорании углерода и серы твердого или жидкого топлива, окиси углерода CO, сероводорода H₂S и углеводородов C_mH_n газообразного топлива;

азот N₂, содержащийся в топливе и воздухе, подводимом на горение;

водяной пар H₂O, образующийся от сжигания водорода, сероводорода и углеродов C_mH_n, из влаги топлива и воздуха, подводимого на горение, и форсуночного пара (при сжигании жидкого топлива);

кислород O₂, не использованный при горении или содержащийся в избыточном воздухе.

Суммарную массу продуктов полного сгорания твердого или жидкого топлива M_г определяют по формуле, кг/кг,

$$M_{г} = 0,0367 (C^r + 0,545 S^r) + 0,01 (N^r + 9 H^r + W^r) + W_{ф} + M_0 (1,01 \alpha - 0,23).$$

где W_ф — масса форсуночного пара, кг/кг (обычно принимается 0,3—0,35 кг/кг).

Суммарный объем продуктов полного сгорания твердого или жидкого топлива V_{тж} определяют по формуле, м³/кг,

$$V_{тж} = 0,0186 (C^r + 0,375 S^r) + 0,008 N^r + 0,112 H^r + 0,0124 W^r + 1,24 W_{ф} + V_0 (1,0161 \alpha - 0,21).$$

Объем продуктов полного сгорания газообразного топлива V_г определяют по формуле, м³/м³,

$$V_{г} = 0,01 [CO_2 + CO + 2 H_2S + 2 CH_4 + H_2 + N_2 + \Sigma (m + n/2) C_m H_n + 0,124 d^{гл}] + V_0 (1,0161 \alpha - 0,21),$$

где d^{гл} — влагосодержание газообразного топлива, г/м³.

Энтальпия продуктов сгорания топлива

Энтальпию (теплосодержание) газа в общем виде определяют как произведение его нормального объема на объемную теплоемкость (при постоянном давлении) и температуру.

Энтальпию для продуктов сгорания твердого или жидкого и газообразного кДж/м³ топлива определяют как сумму энтальпий теоретического объема продуктов сгорания элементов рабочей массы твердого (жидкого) топлива или компонентов газообразного топлива и избыточного воздуха (табл. 2.4.).

$$i_{г} = i_{г}^0 + (\alpha - 1) i_{в}^0,$$

где i_г⁰ — энтальпия теоретического объема продуктов сгорания топлива; i_в⁰ — энтальпия теоретического объема воздуха для горения топлива.

Таблица 2.4. Энтальпия продуктов сгорания

t °C	Объемная энтальпия, кДж/м ³				t °C	Объемная энтальпия, кДж/м ³			
	(сf) RO ₂	(сf) N ₂	(сf) H ₂ O	(сf) B		(сf) RO ₂	(сf) N ₂	(сf) H ₂ O	(сf) B
100	169	130	151	132	700	1461	946	1147	979
200	357	260	304	266	800	1704	1093	1335	1130
300	559	392	463	403	900	1951	1243	1524	1281
400	772	527	626	542	1000	2202	1394	1725	1436
500	996	664	794	684	1200	2717	1695	2131	1754
600	1222	804	967	830	1400	3240	2009	2558	2676

Энтальпию теоретического объема продуктов сгорания топлива при температуре t °C определяют по формуле, кДж,

$$i_{г}^0 = V_{RO_2} (сf)_{CO_2} + V_{N_2}^0 (сf)_{N_2} + V_{H_2O} (сf)_{H_2O},$$

где с — объемная теплоемкость CO₂, N₂, H₂O, кДж/(м³·°C)

Энтальпию теоретического объема воздуха для горения определяют по формуле, кДж,

$$i_{в}^0 = V_0 (сf)_{в},$$

где с — объемная теплоемкость воздуха, кДж/(м³·°C).

Топливоснабжение технологических тепловых агрегатов

Для разогрева поверхностей зоны горения до температуры воспламенения мазута используют легкие сорта жидкого топлива.

Система топливоснабжения тепловых агрегатов при использовании в качестве топлива мазута в общем виде включает:

расходную емкость, рассчитанную в зависимости от условий производства на 12—24-часовой расход мазута;

подогреватель, оборудованный теплообменником, в котором мазут подогревается до 100—110°C; источник тепла — пар давлением 300—400 кПа;

систему мазутопроводов с запорной и регулирующей арматурой, а также устройствами контроля расхода мазута; мазутопроводы снабжены паропроводами-спутниками для поддержания температуры мазута на постоянном уровне; давление пара в паропроводах-спутниках 100—150 кПа; система мазутопроводов циркуляционная, в которой мазут непрерывно циркулирует по замкнутому контуру: расходная емкость — подогреватель мазута — расходная емкость;

насосы рабочие и резервные, как правило, шестеренчатые, обеспечивающие непрерывную дозированную подачу мазута в мазутопроводы и топливосжигающие устройства;

фильтры тонкой очистки мазута от механических примесей, устанавливаемые перед топливосжигающими устройствами, вблизи от них, а при необходимости и перед подогревателями мазута.

В случаях, когда энергетические установки предприятия используют другой вид топлива и единое мазутное хозяйство отсутствует, следует предусматривать установку для ввода в мазут жидких присадок, улучшающих его сжигание и предотвращающих или уменьшающих коксование его в выходных отверстиях сопел форсунок.

Система газоснабжения тепловых агрегатов в общем виде включает:

систему газопроводов от газорегулировочного пункта предприятия до тепловых агрегатов, с установленными на газопроводах запорной и регулирующей арматурой и предохранительными клапанами; устройства для контроля расхода газа; устройства для продувки газопроводов (свечи).

Топливосжигающие устройства

Для сжигания топлива в тепловых агрегатах производств искусственных пористых заполнителей применяют:

горелки газовые низкого и среднего давления;

форсунок мазутные с паромеханическим и воздушно-механическим распылением;

горелки газомазутные (комбинированные) с паромеханическим распылением мазута.

Паромеханическое распыление мазута предпочтительнее, так как обеспечивает лучшее диспергирование мазута и повышение эффективности его сжигания.

Горелки газомазутные применяют в случаях использования двух видов топлива: основное — природный газ, резервное — мазут.

2.3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТОПЛИВА

Описание методов отбора проб твердого топлива с конвейеров, железнодорожных вагонов, автомашин и т. д. и их подготовки перед проведением анализов дается в ГОСТ 10742—71, с изм. (СТ СЭВ 752—77).

Содержание влаги W_1 определяют по ГОСТ 11014—81.

Определение зольности твердого топлива регламентируется ГОСТ 11022—75, с изм. и основано на сжигании навески ($1 \pm 0,1$ г) аналитической пробы твердого топлива ($-0,25(0,2)$ мм) в муфельной печи при $800-875^\circ\text{C}$.

Определение зольности жидкого топлива проводится по ГОСТ 1461—75, с изм.

Методика определения плавкости золы основана на нагревании в определенной атмосфере образца золы и фиксации температур плавкости, соответствующих характерным изменениям вида и формы образца. Определение температур плавкости может производиться либо микроскопически-фотографическим, либо прямым визуальным методом. Описание методики и необходимой для этого аппаратуры даны в ГОСТ 2057—82.

Метод определения выхода летучих основан на нагревании навески пробы твердого топлива или отходов углеобогащения без доступа воздуха при температуре $840-860^\circ\text{C}$ и определении выхода летучих по разности между общей потерей массы и потерей за счет испарения влаги (аналитической) и регламентируется ГОСТ 6382—80.

Методы определения содержания углерода, водорода, азота и кислорода регламентируются ГОСТ 2408.1—75 — ГОСТ 2408.3—75, серы — ГОСТ 8606—72, (с изм.) ускоренный метод определения содержания углерода и водорода — ГОСТ 6389—81.

Химический анализ золы с определением содержания SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , K_2O и Na_2O производится по ГОСТ 10538.0—72 — 10538.8—72.

Высшую теплоту сгорания с последующим вычислением низшей теплоты сгорания определяют по ГОСТ 147—74, с изм.

Для ориентировочного расчета низшей теплоты сгорания твердого и жидкого топлива используют соотношение, предложенное Д. И. Менделеевым (см. с. 18).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петролого-геохимическая (научная) классификация углей / Еремин И. В., Броневец Т. М., Супруненко О. И., Клер Д. В. // Деструкция и окисление ископаемых углей / Сб. науч. труд. — Киев: Наук. думка, 1979. — С. 85—116.
2. Энергетическое топливо СССР: Справочник. — М.: Энергия, 1979. — 126 с.

ГЛАВА 3. ДОБЫЧА ИСКОПАЕМОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И ЕГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

3.1. ДОБЫЧА ГЛИНИСТЫХ ПОРОД Способы и содержание работ

Разработка месторождений ископаемого сырья для производства искусственных пористых заполнителей в основном идентична разработке месторождений другого общераспространенного нерудного сырья, и для нее применимы рекомендации существующих спра-

* Настоящие справочные данные применимы также при разработке месторождений перлита, обсидиана.

вочных источников. Поэтому в данной главе приведены только краткие общие сведения, касающиеся добычи сырья и его транспортирования.

Разработку месторождений глинистых пород производят, как правило, открытым способом.

Эксплуатационные работы на карьерах включают:

подготовительные работы — удаление кустарников, пней, деревьев;

вскрышные работы — удаление почвенно-растительного слоя и перемещение их в отвалы;

добычные работы — выемка породы из массива и погрузка ее на транспортные средства;

транспортирование породы из карьера на предприятие;

работы по горнотехнической рекультивации земель.

Характеристики вскрышных пород и полезного ископаемого

Вскрышные породы и полезные ископаемые по трудности разработки классифицируют на четыре категории. К первой категории относят грунт растительный, супесь, песок, суглинок, лесс, гальку и гравий; ко второй — глину, к третьей — глину с примесью гравия, к четвертой — глину жирную, выветрившиеся глинистые сланцы, к пятой — шестой — глинистые сланцы. Угол естественного откоса указанных пород в зависимости от их влажности колеблется в пределах от 15 до 50 град.

Объемы выполненных горных пород измеряют в плотном теле. При необходимости объем работ в плотном теле V_n переводится в объем работ в разрыхленном состоянии V_p по формуле

$$V_p = V_n K_p,$$

где K_p — коэффициент разрыхления, колеблющийся от 1,08 до 1,4 в зависимости от вида породы (глина, супесь, лесс, песок и др.).

Режим работы карьеров принимается: при добыче мягких глинистых пород — сезонный, с продолжительностью сезона в зависимости от климатических условий района; число рабочих дней в зависимости от температурной зоны от 125 до 260;

при добыче камнеподобных глинистых пород (глинистые сланцы, аргиллиты и др.) — круглогодовой.

Выбор типа экскавационного оборудования (экскаваторы, скреперы, бульдозеры) зависит от горногеологических и гидрологических условий месторождения, физико-механических свойств пород и производительности карьера.

Разработка карьеров одноковшовыми экскаваторами. На карьерах глинистых пород преимущественно применяют одноковшовые

экскаваторы на гусеничном ходу с прямой лопатой и вместимостью ковша от 0,4 до 2,5 м³.

При необходимости сезонной добычи переувлажненных глинистых пород возможно применение экскаваторов-драглайнов.

Расход дизельного топлива одноковшовыми экскаваторами с дизельными двигателями на 1000 ч работы при мощности двигателя от 37 до 147 кВт, колеблется от 5,6 до 18 т.

Расход бензина на запуск дизельного двигателя принимают в размере 3% от расхода дизельного топлива.

Расход смазочных материалов одноковшовыми гусеничными экскаваторами на 1000 ч работы при вместимости ковша от 0,8 до 2,5 м³ колеблется в пределах от 29 до 954 кг в зависимости от вида смазки.

Разработка карьеров многоковшовыми экскаваторами. Многоковшовые экскаваторы на рельсовом ходу применяют для разработки мягких глинистых пород при объемах годовой добычи не более 150—200 тыс. м³.

Отечественной промышленностью выпускается один тип многоковшовых экскаваторов на рельсовом ходу — ЭМ-201А.

Использование на карьерах колесных скреперов и бульдозеров. Колесные скреперы марок ДЗ-33А, ДЗ-111, ДЗ-20В, ДЗ-13 выпускаются Бердянским и Челябинским им. Коллющенко заводами дорожных машин и используются для вскрышных работ и селективной (послойной) выемки мягких глинистых пород, залегающих горизонтальными или наклонными пластами (с уклоном до 10—15°) небольшой мощности.

Бульдозеры марок ДЗ-42, ДЗ-101, ДЗ-109, ДЗ-110А, изготавливаемые заводами дорожных машин Брянским, Калкамановским и Челябинским им. Коллющенко, используют:

для разработки вскрышных пород и перемещения их непосредственно в отвалы. При большом удалении отвалов бульдозеры используют в сочетании с одноковшовыми экскаваторами, выполняющими роль погрузчика, и автосамосвалами;

для подготовительных и вспомогательных работ на карьерах (уборка кустарников, пней, зачистка кровли полезного ископаемого, зачистка подошвы уступа, планировка отвалов и др.).

Расход дизельного топлива тракторами колесных скреперов и бульдозеров с дизельными двигателями принимают по данным, приведенным выше. Расход смазочных материалов на 1000 ч работы колесными скреперами и бульдозерами колеблется в пределах от 120 до 4008 кг в зависимости от вместимости ковша и мощности двигателя.

Гидромеханизация на карьерах глинистых пород. Гидромеханизацию на карьерах глинистых пород можно применять для выполнения вскрышных работ при больших объемах работ и мощности

вскрыши (более 8—10 м) в тех случаях, когда глинистая порода представлена тяжелыми (плотными) глинами или суглинками.

Гидромеханизация эффективна в тех случаях, когда вскрышные породы рыхлые, малосвязные и хорошо размываются водой.

Основными способами являются гидромониторная разработка вскрышной породы с размывом ее в целике в сочетании с напорным гидротранспортом пульпы и гидротоувалом.

Достоинствами гидромеханизации вскрышных работ являются простота оборудования, более высокая производительность труда (в 1,5—2 раза), значительно меньшие, чем при экскаваторных работах, эксплуатационные затраты на 1 м³ вскрыши. К недостаткам следует отнести значительную энергоемкость и потребность в больших ресурсах воды.

По практическим данным, удельный расход воды с напором 0,4—0,6 МПа на разработку и транспортировку 1 м³ вскрышных пород I и II категории составляет 5—6 м³ в зависимости от высоты забоя.

Буровзрывные работы при добыче камнеподобных глинистых и водосодержащих горных пород

Буровзрывные работы являются специальным видом работ, их выполняют на карьерах по добыче камнеподобных глинистых и водосодержащих горных пород, как правило, специализированные подрядные организации.

3.2. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ИСКОПАЕМОГО СЫРЬЯ

Основными видами транспорта при перевозке ископаемого сырья являются в настоящее время автомобильный и железнодорожный нормальной колеи в сочетании с автомобильным (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Условия рационального применения различных видов транспорта при перевозке сырья из карьеров

Вид транспорта	Годовая производительность карьера, тыс. м ³	Характеристика ископаемого сырья	Расстояние транспортирования, км
Автомобильный: автосамосвалы грузоподъемностью, т до 5	50 и более	Не регламентируется	До 1,5—2
более 5	То же	То же	До 5—7
Железнодорожный нормальной колеи	300* и более	Влажность до 15%	Более 50*

* При использовании железнодорожного транспорта МПС.

Перевозка сырья и вскрышных пород автомобильным транспортом

Используют автосамосвалы грузоподъемностью, т:
4,5—8 — ЗИЛ-ММЗ-555К; МАЗ-5549;
10—20 — КамАЗ-5511, КрАЗ-256Б1, МАЗ-6507.

Заводы-изготовители: им. Лихачева, Минский, Кременчугский, Камский, Могилевский.

Перевозка сырья железнодорожным транспортом

Железнодорожный транспорт нормальной колеи для перевозки сырья используют, как правило, от пунктов перегрузки глинистых пород или дробильно-сортировочных фабрик по переработке водосодержащих горных пород, на которые сырье доставляется из карьеров автомобильным или конвейерным транспортом.

На пунктах перегрузки устраивают открытые склады глинистых пород; погрузку породы на железнодорожный транспорт осуществляют одноковшовыми экскаваторами.

Водосодержащие горные породы, рассортированные на мелкие фракции на дробильно-сортировочных фабриках, грузят на железнодорожный транспорт из бункерных или силосных складов.

Для перевозки глинистого сырья и рядового щебня из водосодержащих горных пород используют универсальные железнодорожные платформы и полувагоны; перевозку мелких фракций водосодержащих горных пород осуществляют в крытых вагонах.

ГЛАВА 4. КЕРАМЗИТОВЫЕ ГРАВИЙ И ПЕСОК

4.1. ИСХОДНОЕ СЫРЬЕ И КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ

Для производства керамзитовых гравия и песка, впредь называемых керамзитом, применяют природные легкоплавкие глинистые породы, способные при нагревании до 1100—1250°C вспучиваться, а также различного рода добавки, улучшающие технологические свойства сырья или повышающие качество конечного продукта.

Важнейшими характеристиками глинистых пород, используемых для производства керамзита, являются: коэффициент вспучивания, интервал вспучивания, температура вспучивания, химический и минеральный составы, огнеупорность, содержание железистых и орга-

Таблица 4.1. Добавки, применяемые в производстве керамзита

Назначение	Физическое состояние	Способ введения	Количество, % по массе
Повышение вспучиваемости сырья (снижение насыпной плотности гравия)	Жидкие: органические (мазут, пиролезная смола, сульфитопирровая бражка, нефтенные кислоты, мутьма, омыленный древесный пек, кислая смолка, сульфатное мыло) неорганические (раствор хлористого кальция, отработанный буровой раствор, бентонитовые глины)	Вводится в шихту в виде растворов или эмульсий	1—6 (подбирается лабораторными испытаниями)
		То же	1—20
	Твердые: органические в виде порошка для корректировки состава шихты (уголь, торф, опилки, сапропель, сульфатный шлам — лигнин) неорганические в виде порошка для корректировки состава шихты (алунитовая порода, серные соли щелочных или щелочноземельных металлов, железная руда, болотная руда, пиритные огарки, шлаки производства алюминиевых сплавов, шлаки металлургического производства меди, отходы обогащения титано-железистых руд)	Вводится в шихту	1—3
Повышение прочности керамзитового гравия	Твердые: золы ТЭС, пирит, рутил, опоки, трепелы, тугоплавкие высокопластичные глины Жидкие: диаммоний фосфат (раствор)	Вводится в шихту в виде порошка, эмульсий, шликера	3—50
		Наносится на поверхность гранул	1—3

нических соединений, содержание кварца, карбонатов и соединений серы. Для пластичных и рыхлых глин важными характеристиками являются также число пластичности, дисперсность, содержание грубодисперсных включений и коэффициент консистенции (или карьерная влажность сырья). Этих характеристик достаточно, чтобы оценить пригодность сырья для производства керамзита. Они позволя-

ют в первом приближении установить основные параметры его производства.

Допустимые пределы колебаний основных показателей свойств глинистых пород для производства керамзита:

Коэффициент вспучивания K_v	Не менее 2,5
Интервал вспучивания, °C	Не менее 30
Температура вспучивания, °C	Не более 1250
Диоксид кремния SiO_2 , % по массе	43—70
В том числе кварц SiO_2 своб	10—30
Сумма оксидов алюминия и титана ($Al_2O_3 + TiO_2$), % по массе	10—25
Сумма оксидов железа $FeO + Fe_2O_3$, % по массе	2,5—12
Оксид кальция CaO , % по массе	0,5—6
Оксид магния MgO , % по массе	0,5—4
Сумма соединений серы в пересчете на SO_3 , % по массе	До 1,5
Сумма оксидов калия и натрия $K_2O + Na_2O$, % по массе	1,5—6
Органические вещества, % по массе	До 3
Пластичность (число пластичности), % по массе	Не менее 10
Содержание тонкодисперсных фракций, частицы размером менее 1 мкм	Не менее 15
Содержание включений размером от 0,5 до 1 мм, % по массе	Не более 5
В том числе карбонатных	Не более 3
Содержание включений размером более 5 мм, % по массе	Не более 2,1
В том числе карбонатных	Не более 1

Качество керамзита улучшают подшихтовкой глинистого сырья добавками.

По физическому состоянию различают твердые и жидкие добавки; по объему введения — макродобавки (более 10%) и микродобавки (менее 10% по массе); по способу введения: вводимые непосредственно в сырье и наносимые на поверхность гранул перед обжигом, в процессе или после обжига (табл. 4.1).

4.2. ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМЗИТА

Физико-химические основы и технологические факторы получения керамзита. Современная технология производства пористых материалов и изделий использует следующие основные принципы их поризации [3]: вспенивание, выжигание органических примесей, выпаривание воды, воздействие на массу подлежащей вязкости газобразной фазой извне, спекание, вспучивание размягченных масс.

Очевидно, что при рассмотрении физико-химической природы вспучивания материалов типа керамзита необходимо учитывать действие тех или других факторов с точки зрения их влияния на оптимальную кажущуюся вязкость пиропластической массы и одновременное равномерно распределенное газовыделение изнутри.

Условия газообразования и газообразующие вещества. Ниже приводятся поставщики газообразующих веществ при вспучивании глинистых пород и конкретный состав порообразующей газовой фазы.

Свободная и физически связанная вода. Испаряется при 100—

180°C. Непосредственно как порообразующий агент на рассматриваемый вид вспучивания оказать влияния не может, однако при быстром нагревании может задержать преждевременное развитие окислительно-восстановительных реакций и последние, смещаясь в область более высоких температур, оказывают положительное косвенное влияние на процесс порообразования.

Химически связанная (конституционная) вода вторичных глинистых и первичных материалов. При постепенном нагревании основная часть конституционной воды глинистых минералов удаляется при 200—900°C, однако часть наиболее прочно связанной конституционной воды ряда глинистых минералов — монтмориллонита, гидрослюда, каолинита, вермикулита, гидрохлорита и других даже в условиях относительно длительного обжига (до 1050—1150°C, т. е. на момент вспучивания) может сохраниться. При быстром обжиге, когда термическая обработка (от 600 до 1150°C) продолжается около 5—10 мин и происходит со скоростью 70—100 град/мин, остатки конституционной воды минералов удаляются при температуре вспучивания и, несомненно, принимают участие в порообразовании пиропластической массы.

Газообразные продукты диссоциации карбонатов. Диссоциация содержащихся в глинах карбонатов кальция, магния и нередко железа с высвобождением газообразной фазы CO₂ начинается тогда, когда упругость диссоциации превышает парциальное давление углекислоты, находящейся в газовой среде. Практически карбонат кальция интенсивно разлагается при 850—950°C, карбонат магния — при 500—600°C, железа — при 400—500°C. При быстром обжиге разложение карбонатов может смещаться в область высоких температур и тогда газообразные продукты диссоциации карбонатов могут явиться одним из источников газовой фазы при вспучивании.

Сульфаты и сульфиды. Диссоциация сульфата кальция происходит при 1204°C. В восстановительной среде, а также в присутствии других составляющих, разложение сульфатов начинается при более низких температурах. Высвобождающийся при этом газ SO₂ можно рассматривать как один из возможных агентов, вспучивающих глину. Примеси сульфидов в виде пирита, марказита и т. п. при нагревании высвобождают серу, которая, взаимодействуя с кислородом, образует газы SO₂ и SO₃. Последние также могут явиться вспучивающими газами.

Углерод. Окисление углерода начинается при температурах воспламенения органических веществ — несколько выше 200°C. Но полностью он может выгорать лишь при 900—1000°C, когда прекращается противоток газообразных продуктов изнутри материала, препятствующий доступу кислорода. При быстром же обжиге углерод интенсивно окисляется в области температур, при которых глини-

стая масса размягчается и вспучивается, что позволяет отвести углероду значительную роль в процессах вспучивания. Как показывают результаты исследования, керамзит, как правило, содержит от 0,1 до 0,3% углерода.

Газообразные продукты восстановления оксидов железа. Процесс восстановления оксидов железа характеризуется совокупностью двух одновременно протекающих превращений: диссоциации восстановливаемого оксида и соединения восстановителя с кислородом. Образующиеся при этом газообразные продукты CO₂, CO и H₂O обладают меньшей упругостью диссоциации и могут участвовать во вспучивании как газообразная фаза.

Одновременно при благоприятных условиях развивается обратимая реакция с подвижным равновесием $2CO \rightleftharpoons C + CO_2$, с накоплением в порах материала мелкодисперсного углерода. Отмечается, что при температуре ниже 1000°C оксид углерода является нестойким и разлагается на углекислоту и твердый сажистый углерод. Выше 1000°C в присутствии углерода нестойкими являются углекислота и пары воды, которые образуют активные газообразные восстановители: пары воды вступают в непосредственное взаимодействие с оксидами железа как прямой восстановитель. Тот и другой характер взаимодействия приводят к интенсивному восстановлению оксидов железа с образованием высокоактивной закиси железа, вступающей во взаимодействие с другими составляющими, образуя расплав, обладающий оптимальной для вспучивания вязкостью и равномерно распределенной газовой фазой в виде пузырьков CO₂, CO и H₂O.

Схема окислительно-восстановительных реакций описывается уравнениями



и другими.

В состав газовой фазы пор керамзита чаще всего входят: CO, CO₂, O₂ и H₂O. При этом в момент вспучивания поры содержат не один, а, как правило, несколько газов.

Теоретически потребное количество газообразной фазы для вспучивания 1 г абсолютно сухого глинистого сырца V_T и объем газообразной фазы на момент вспучивания V_d из любых источников могут быть определены по следующим формулам, см³,

$$V_T = [(V_1 V_c) / V_2] [1 - \Pi \Pi \Pi / 100] (V_k / V_c); \quad (4.1)$$

$$V_d = [(G_b V_{г.м}) / G_{г.м}] [(T_{абс} + T_b) / T_{абс}], \quad (4.2)$$

725°C. Двойная система $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ дает эвтектику при 793°C. Оксид калия образует ряд эвтектик, начиная с температуры 742°C. В интервале температур интенсивного размягчения и вспучивания легкоплавких глин 1050—1200°C большое значение имеют эвтектики с участием оксидов железа и кальция. К ним относятся эвтектики и растворы переменного состава, образуемые системами: $\text{FeO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ с температурами плавления 1030; 1093 и 1117°C; $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ с температурами плавления 1072—1148°C, а также плавление фаялита $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ при 1205°C и др. В этой же области температур 1170°C имеет место эвтектика трехкомпонентной системы $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}$.

В процессе обогащения жидкой фазой кажущаяся вязкость образующейся пиропластической массы понижается и в какой-то момент достигает величины, когда под влиянием той или другой нагрузки обжигаемый материал приобретает способность пластически деформироваться, в том числе вспучиваться за счет давления пузырьков газа изнутри.

При температурах вспучивания пиропластическая масса проходит 3 фазы: кристаллическую, жидкую и газообразную. Кристаллическая фаза состоит, в основном, из наиболее тугоплавких компонентов — глинозема и кремнезема, а также незначительного количества плавней. Со временем и по мере повышения температуры последние остатки флюсующих веществ переходят в расплав. Жидкая фаза состоит из перешедших в расплав легкоплавких компонентов и некоторого количества глинозема и кремнезема, израсходованных на образование стеклофазы. Количество кристаллических фаз в процессе вспучивания непрерывно уменьшается и составляет около 70—90% в начале и 10—50% — в конце вспучивания. Количество стеклофазы к концу процесса вспучивания достигает 50—90%. Газообразная фаза меняется по составу и количеству и зависит от свойств исходного сырья, конкретных условий термообработки.

Соотношение количества кристаллической и жидкой фаз, необходимое для возникновения определенной подвижности пиропластической массы, является функцией не только количества, но и вязкости жидкой фазы. Чем ниже вязкость жидкой фазы, тем меньшее количество ее нужно для того, чтобы вызвать деформацию, подвижность и текучесть, или, что то же, одна и та же степень подвижности может быть вызвана различными количествами жидкой фазы.

Чем шире интервал вспучивания, тем благоприятнее условия для порообразования. Наоборот, при коротком интервале технические трудности вспучивания могут оказаться труднопреодолимыми. По аналогии со стекловарением следует различать «длинные» и «короткие» массы. Первые вспучиваются в пределах значительного

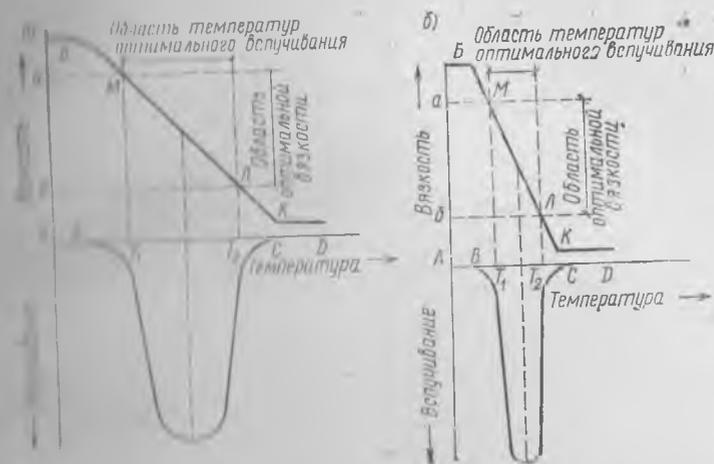


Рис. 4.1 Характер размягчения и оптимальные условия вспучивания масс
а — длинная, б — короткая

интервала температур, вторые лишь в крайне ограниченном интервале (рис. 4.1).

Плавные различия оксидов на физико-химические процессы, обуславливающее возникновение пиропластического состояния с оптимальной для вспучивания вязкостью, различно.

Оксиды алюминия и кремния составляют наиболее стойкий против температурного разрушения скелет легкоплавких глин. Они в большей мере, чем другие оксиды повышают вязкость массы и удлиняют интервал температур ее размягчения.

Оксиды натрия и калия в решающей степени влияют на огнеупорность глин, их раннее спекание и интервал размягчения, в пределах которого происходит вспучивание. На долю щелочных оксидов приходится до 50% и выше жидкой фазы, образующейся при переходе их в расплав вместе с сопровождающими компонентами. Расчеты показывают, что наличие в глинах 1% K_2O обеспечивает обрешивание при 1050°C 11% жидкой фазы; 3% — дают 33%, а при 3% Na_2O переходит в расплав около 60% глинистой массы.

Оксид кальция образует с другими компонентами глины ряд легкоплавких эвтектик, плавление которых происходит в пределах температуры обжига керамики. Вместе с тем оксид кальция оказывает двойное флюсующее и разжижающее действие, резко снижая вязкость и коротком интервале температур, что может вызвать быстротечную деформацию материала.

Оксиды железа являются крайне полезными для керамзитобразования составляющими. Активно участвуя в окислительно-восстановительных процессах, они в значительной степени обеспечивают пиропластическую массу газообразной фазой. Вместе с тем по закону Рауля при переходе из окисной в закисную форму с увеличением активных молекул в 2 раза они одновременно оказывают решающее влияние и на образование пиропластической массы, оптимальной для вспучивания вязкости. Наряду с легкоплавкостью важной особенностью закисных форм железа является их высокая смачивающая способность, а ферросиликатов — длинноплавкость.

Как указывалось выше, легкоплавкие глины, содержащие 8—10% оксидов железа, как правило, относятся к хорошо вспучивающимся видам глинистого сырья.

Поведение глинистых масс в процессе вспучивания и конечный эффект порообразования в значительной мере определяются характером и величинами развивающихся при этом деформаций и напряжений.

Поэтому вспучивание глин при обжиге закономерно рассматривать как частный случай реологических явлений — их деформации и течения.

Согласно гипотезе Ньютона, величина силы F , преодолевающей вязкое соприкосновение при движении двух слоев жидкости, имеющей площадь соприкосновения S , выражается формулой

$$F = \eta (dv/dr) S, \quad (4.3)$$

где F — сила внутреннего трения; η — коэффициент внутреннего трения или вязкость; v — скорость движения слоев жидкости; r — расстояние между слоями; dv/dr — градиент скорости; S — поверхность сопротивления слоев, между которыми действует сила внутреннего трения.

Откуда

$$\eta = F/S = (dr/dv), \quad (4.4)$$

где F/S — напряжение сдвига (сила F , действующая на площадь S).

Характерная черта веществ, описываемых уравнением Ньютона (Ньютоновские жидкости), состоит в том, что их деформация прямо пропорциональна приложенной силе. К ним относятся истинные жидкости, гомогенные растворы и т. п. Совсем другие закономерности деформации и течения веществ, находящихся в пластическом состоянии, например, глин или вспучивающихся масс.

Реологическое поведение веществ, находящихся в пластическом состоянии, описывается уравнением

$$F = Q + \eta_{пл} [(dv)/(dr)] S,$$

$$\text{откуда } \eta_{пл} = [(F - Q)/S] / [(dv)/(dr)], \quad (4.5)$$

где F — сила внутреннего трения; $\eta_{пл}$ — кажущаяся вязкость; v — скорость движения; r — расстояние между слоями; S — поверхность слоев; Q — предельное напряжение сдвига, при котором начинается течение веществ.

Деформируемость (вспучивание) и текучесть пиропластических глинистых масс могут быть охарактеризованы их кажущейся вязкостью. Наилучшее вспучивание наблюдается в том случае, когда при заданном давлении пузырьковая газообразная фаза с определенной упругостью деформируемая глинистая масса обладает некоторым оптимальным значением в течение определенного времени достаточным для завершения процесса порообразования, общий эффект которого определяется соотношением между деформируемостью (или вязкостью) и развивающимся напряжением (давлением пузырьков газа).

В зависимости от величины кажущейся вязкости различают три типа жидкости: $\eta < 10^2$; жидкотекучее $\eta < 10^2$; вязкое $\eta = 100^{11}$, «густое» $\eta > 10^3$.

Вязкость при вспучивании легкоплавких вспучивающихся и не легкоплавких глин на вискозиметре «Оргрэс» разными исследователями определена в пределах 10^7 — 10^5 Н·с/м².

Важную роль при образовании ячеистой структуры керамзита играют также поверхностные явления, развивающиеся на границах твердой, жидкой и газообразной фаз, характеристикой которых может служить поверхностное натяжение.

Радиус элементарных пузырьков глин, образующихся в процессе вспучивания, весьма чувствителен к поверхностному натяжению. При определенном поверхностном натяжении возникающие пузырьки газа с радиусом меньше критического не могут расширяться и произойдет эффект вспучивания. Если же поверхностное натяжение будет уменьшено, то эти пузырьки начнут быстро увеличиваться в размерах, которые превысят критический радиус и окажутся эффективными для процесса вспучивания. На образование пузырьков газовой фазы во вспучивающихся массах существенное влияние оказывают вязкость среды и смачиваемость.

Несомненно наше положение затрагивают только качественную сторону физико-химических процессов вспучивания глинистых материалов при керамзит. Вместе с тем очевидно, что лишь количественная характеристика может явиться базой для расчетов, связанной с выбором газообразователя, температуры и продолжительности обжига на различных этапах термообработки, а также определения количественных зависимостей между коэффициентом вспучивания, вязкостью, поверхностным натяжением расплава и газообразованием.

Существенно важные аналитические работы в этой области выполнены Я. И. Черняком [9, 10].

Опираясь на фундаментальные теоретические разработки Я. И. Черняка [7, 8] и сделав ряд упрощений, он показал, что коэффициент вспучивания куска материала тесно связан с коэффициентом расширения пор. При этом процесс расширения таких пор следует рассматривать как элементарный акт вспучивания.

Так, если количество пор в единице объема материала N и радиус каждой поры r , то общий объем пор $V_{\text{пор}}$ равен

$$V_{\text{пор}} = 4/3 \pi r^3 N. \quad (4.6)$$

По аналогии с коэффициентом вспучивания K_v процесс расширения одной поры можно охарактеризовать коэффициентом ξ

$$\xi = V_2/V_1, \quad (4.7)$$

где V_2 — конечный, а V_1 — начальный объем поры.

Выразив V_2 и V_1 через истинные пористости, можно получить зависимость ξ и K_v (при условии постоянства числа пор N и закрытого их характера):

$$K_v = \xi P_1/P_2 \quad \text{и} \quad \xi = K_v (P_2/P_1), \quad (4.8)$$

где P_1 и P_2 — истинные пористости до и после обжига.

$$r_{\text{ср}} = \sqrt[3]{3\pi/(4\pi N)}, \quad (4.9)$$

а число пор

$$N = 3\pi/(4\pi r_{\text{ср}}^3). \quad (4.10)$$

Схематически процесс образования и расширения элементарных пузырьков внутри материала по Я. Н. Черняку показан на рис. 4.2. На рис. 4.2,а дан разрез открытой поры в первой стадии процесса. Во второй стадии по мере повышения температуры материала и появления расплава, заполняющего более мелкие поры, крупные поры изолируются друг от друга, превращаясь в закрытые поры произвольной формы (рис. 4,б). Образование элементарного пузырька газа происходит на третьей стадии процесса, когда закрытая пора под влиянием капиллярных сил приобретает сферическую форму (рис. 4,в). Четвертая стадия процесса характеризуется уменьшением объема пузырьков до тех пор, пока давление газа внутри элементарного пузырька не станет равным капиллярному (рис. 4.2,г). Собственно процесс вспучивания происходит на пятой стадии, когда внутри пузырька будут созданы соответствующие условия для роста элементарных пузырьков и материал вспучивается.

Я. Н. Черняк показал, что процесс вспучивания как элементарных пузырьков, так и в целом материала происходит по причине многократного расширения объема элементарных пузырьков при увеличении внутреннего давления за счет новых количеств газа, поступающего в них из гомогенно распределенного в куске глины газообразователя.

Уравнение зависимости коэффициента вспучивания $K_{\text{всп}}$ от избыточного давления внутри элементарного пузырька $P_{\text{изб}}$ и вязкости η , для простейшего случая $P_{\text{изб}}/\eta = \text{const}$.

$$K_{\text{всп}} = e^{(9 P_{\text{изб}} t)/8 \eta}, \quad (4.11)$$

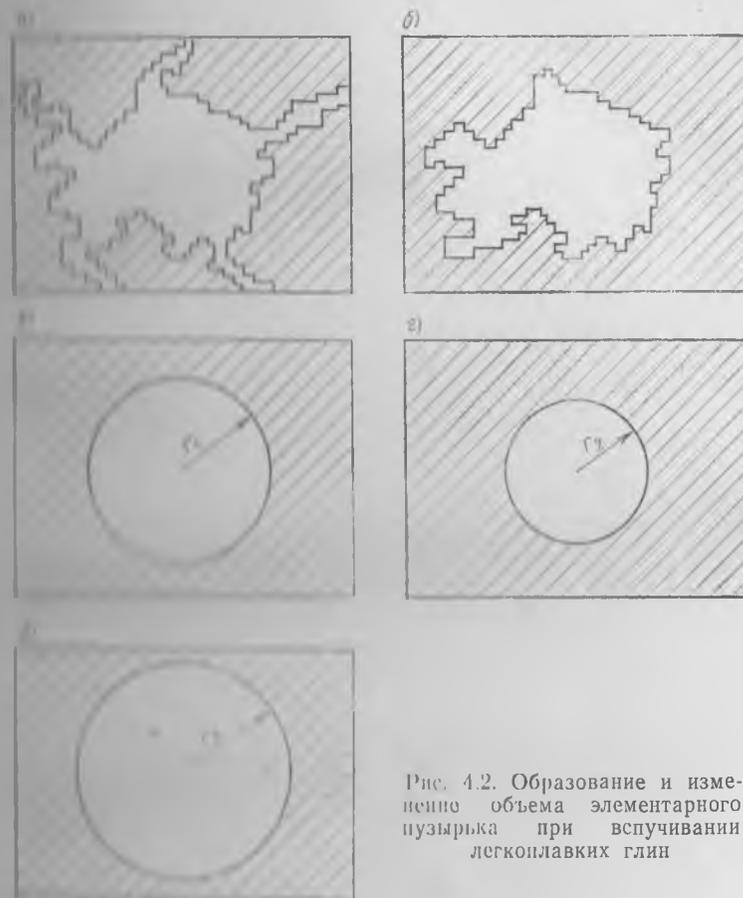


Рис. 4.2. Образование и изменение объема элементарного пузырька при вспучивании легкоплавких глин

Уравнению соответствует о возможности количественного расчета основных характеристик процесса вспучивания, который в значительной мере определяется реологическими параметрами и свойствами и в условиях обжига кажущейся вязкости.

Реологические факторы получения керамзита. Вспучивание глинистых пород на керамзит зависит от ряда важнейших технологических факторов: характера газовой среды при обжиге, температуры и скорости нагревания в различные периоды тепловой обработки, характера добавок, а также переработки и гомогенизации сырья.

Газовая среда. Восстановительная среда повышает вспучиваемость легкоплавких глинистых пород и понижает температуру их

керамзитобразования. Важно при этом, чтобы восстановительная среда достигалась не за счет химического недожога с перерасходом топлива в процессе его сжигания в топках, а за счет окислительно-восстановительных реакций в обжигаемых гранулах, что может регулироваться органическими примесями, скоростью обжига в различные периоды термообработки и т. п.

Положительное влияние на вспучиваемость оказывает нейтральная среда. Окислительная среда отрицательно влияет на вспучиваемость глин (рис. 4.3).

Наиболее благоприятные условия для вспучивания создаются при наличии в глинах достаточного количества органических примесей и оксидов железа, а при их недостатке — добавкой в шихту тех и других.

Недопустимо проведение обжига керамзита в промышленных печах с большим избытком воздуха, достигающим нередко значений 1,5 и 2 вместо нормальных для вращающихся печей 1,05.

Скорость обжига и температурный уровень нагревания материала на различных стадиях его тепловой обработки. Оптимальное вспучивание различных по вспучиванию глинистых пород может быть достигнуто [1, 2] только в результате ступенчатого способа обжига керамзита, сущность которого состоит в предварительной тепловой обработке гранулированного полуфабриката в запечных теплообменноподогревательных устройствах барабанного, конвейерного, шахтноколосникового и другого типа до температуры около 200—500°C (в зависимости от свойств исходного сырья) с последующим быстрым перемещением материала в область высоких температур вспучивания. Кривая обжига при этом принимает ступенчатый вид (рис. 4.4).

На рис. 4.5 показаны кривые обжига керамзита по ступенчатому способу для основных видов глинистого сырья: слабовспучивающегося, средневспучивающегося и хорошевспучивающегося.

При относительно постепенном нагревании все виды глинистого сырья теряют вспучиваемость; наибольшие потери вспучиваемости имеют место при обжиге слабовспучивающегося и средневспучивающегося сырья.

Как правило, природные разности слабовспучивающихся суглинков при постепенном их нагревании дают поризованный материал плотностью около единицы. При добавке же к ним железистых и органических веществ и обжиге по ступенчатому способу с предварительной тепловой подготовкой до 200—300°C они надежно дают заполнитель с насыпной плотностью 400—500 кг/м³.

Непременным условием хорошего вспучивания суглинков является их кратковременная предварительная тепловая подготовка в интервале температур 200—300°C. Та же тенденция сохраняется и

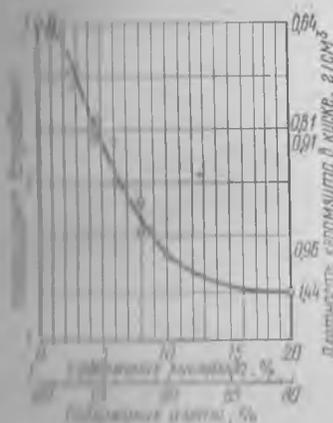


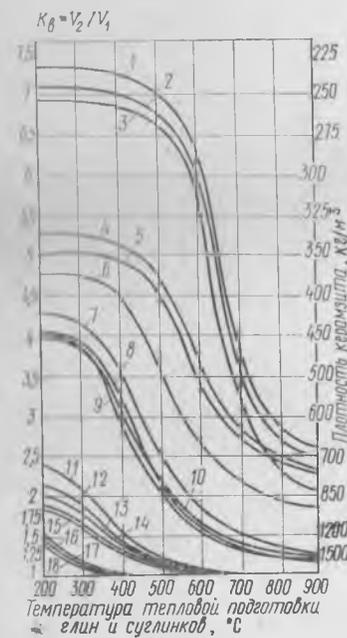
Рис. 4.3. Зависимость коэффициента вспучивания глины от содержания органики и оксидов железа в шихте печи

Рис. 4.4. Принципиальные кривые обжига керамзита по ступенчатому способу

Рис. 4.5. Зависимость коэффициента вспучивания глины и плотности керамзита от температуры их тепловой подготовки и окислительной среде глин: 1 — пурлатская; 2 — смешанная; 3 — паркуновская; 4 — чурьянская; 5 — котлянская; 6 — подлеская; 7 — соколовско-сарбайская; 8 — иононеруслимская; 9 — лядновская; 10 — курганская; 11 — приокский; 12 — рязанский; 13 — бекудинковский; 14 — южноостровский; 15 — курьянский; 16 — новоселовский; 17 — хлюпковский; 18 — соколовский



Тепловая подготовка перед вспучиванием



для средневспучивающихся и хорошевспучивающихся видов глин. Однако те и другие по сравнению с суглинками имеют значительно более широкий интервал температур предварительной тепловой подготовки без значительной потери вспучиваемости (средневспучивающиеся — 200—400°C; хорошевспучивающиеся — 200—600°C).

Особенно значительна потеря вспучиваемости при предварительной тепловой обработке сверх температуры воспламенения органических примесей и при увеличении времени предварительной тепловой обработки материала.

Добавки в исходное глинистое сырье. Физико-химические про-

цессы образования керамзита и основные технологические факторы его получения свидетельствуют о безусловной возможности изготовления керамзита с требуемыми свойствами не только из хорошо-вспучивающихся, но и слабо-вспучивающихся глинистых пород, обогащенных органическими и железистыми добавками (см. разд. 4.1).

Переработка и гомогенизация шихты. Исходная шихта для производства керамзита, как правило, состоит из многих компонентов, а процессы керамзитобразования происходят при обжиге на молекулярном уровне. В связи с этим неизменным условием производства заполнителя с заданными свойствами из такой шихты является ее тщательная переработка и гомогенизация.

Технология производства. Технологическая схема производства керамзита в общем случае включает следующие основные операции: переработку сырья (дробление, измельчение, перетирание, смешение с добавками и т. д.); формование сырцовых гранул; сушку сырцовых гранул; обжиг; охлаждение; сортировку на фракции по размерам зерен и на части по насыпной плотности.

Переработка сырья. Формование сырцовых гранул. Доставленное с карьера сырье подвергают машинной переработке с целью его усреднения, разрушения первичной и создания вторичной однородной структуры, подготовке к последующей технологической операции — формованию.

Формование должно обеспечить получение сырцовых гранул размером 6—14 мм — для получения керамзитового гравия и менее 5 мм — для получения керамзитового песка.

В настоящее время в промышленности сырье перерабатывают четырьмя способами: пластическим, сухим, шликерным и порошковым. При выборе способа переработки сырья учитывают его физико-механические свойства, требуемое качество продукции, экономичность.

✓ Пластический способ переработки сырья. По пластическому способу работает большинство предприятий, главным образом благодаря широкому распространению в стране рыхлых и пластичных глинистых пород.

Однородной, дающей продукцию высокого качества, можно считать керамическую массу, которая характеризуется коэффициентом вариации пластической прочности, численно равным 5—10%.

Набор перерабатывающего оборудования зависит от начальных физико-механических свойств глинистого сырья и степени переработки его в карьере и промежуточных конусах-запасниках. Начальные физико-механические свойства глин и суглинков могут быть оценены числом пластичности $W_{пл}$ и коэффициентом консистенции K

$$K = (W - W_p) / W_{пл}, \quad (4.12)$$

где W — влажность сырья, поступающего на переработку, %; W_p — влажность сырья на пределе раскатывания, % (ГОСТ 21216.0—81—ГОСТ 21216.12—81).

Чем менее увлажнено сырье (чем меньше коэффициент консистенции), чем выше его дисперсность (чем выше число пластичности), тем больше требуется затратить энергии на его переработку (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Типовые схемы переработки глинистого сырья по пластическому способу

Коэффициент консистенции	Число пластичности	Технологическая схема переработки сырья
Менее —0,25	Более 25	Глинорыхлитель → ящичный подаватель → вальцы грубого помола → глиномешалка с пароводяным увлажнением → бегуны мокрого помола → ленточный шнековый пресс с камневывделительной приставкой (или глиномешалка с протирачной головкой) → вальцы тонкого помола → башня гомогенизации → ленточный формующий пресс
Менее —0,25	Менее 25	Глинорыхлитель → ящичный подаватель → вальцы грубого помола → глиномешалка с пароводяным увлажнением → ленточный шнековый пресс с камневывделительной приставкой (или глиномешалка с протирачной головкой) → вальцы тонкого помола → башня гомогенизации → формующий агрегат (ленточный формующий пресс либо дырчатые вальцы)
От —0,25 до 0	Более 25	Глинорыхлитель → ящичный подаватель → вальцы грубого помола → глиномешалка с пароводяным увлажнением → вальцы тонкого помола → формующий агрегат (ленточный формующий пресс или дырчатые формующие вальцы)
От —0,25 до 0	Менее 25	Глинорыхлитель → ящичный подаватель → вальцы грубого помола → глиномешалка с пароводяным увлажнением → вальцы тонкого помола → формующий агрегат (ленточный формующий пресс или дырчатые формующие вальцы)
От 0 до +0,25	Любое	Глинорыхлитель → ящичный подаватель → сушильный барабан → вальцы грубого помола → глиномешалка → ленточный шнековый пресс с камневывделительной приставкой → вальцы тонкого помола → формующий агрегат (ленточный формующий пресс или дырчатые формующие вальцы)
От 0 до 0,25	Любое	
Более +0,25	Любое	

Формование сырцовых гранул целесообразно осуществлять на ленточных формующих прессах, оборудованных приставками конструкции НИИКерамзита. И только при очень высокой засоренности сырья крупными включениями и в случае применения суглинков с числом пластичности менее 15 формование гранул можно производить на дырчатых формующих вальцах.

Для получения крошки менее 5 мм, используемой в производстве песка, сырцевые гранулы, полученные по одной из схем, подсушивают на 2—12% (в зависимости от свойств сырья) и затем дробят на шахтных молотковых дробилках. Возможен вариант совмещения процессов подсушки и дробления гранул.

Сухой способ производства. Применяют для подготовки к обжигу камнеподобных глинистых пород: глинистых сланцев и аргиллитов.

Добытую в карьере породу с размером кусков до 100—300 мм дробят в две стадии. Первую стадию осуществляют в щековых дробилках, характеризующихся высокой степенью дробления; вторую — в короткоконусных или роторных, если дробят сланцы, или в валково-возбучатых дробилках, если дробят аргиллиты. Раздробленную породу сортируют на фракции по размерам. Для получения керамзитового гравия используют фракции 5—10 и 10—20 мм, для получения песка — фракцию менее 5 мм. Сортировку осуществляют в грохотах или в ситах — буратах. Дробление и сортировку материала ведут по замкнутому циклу. Зерна размером более 20 мм после второй стадии вновь возвращают на повторное дробление. Дробильно-сортировочный узел целесообразнее организовывать на карьере.

Шликерный способ подготовки сырья. Отличается повышенным расходом топлива. Поэтому его применяют при наличии технико-экономического обоснования при отрицательных результатах получения керамзита по другим способам. Шликерный способ может быть применен при значительном содержании в сырье карбонатных включений, использовании сильно увлажненного сырья, необходимости тщательного смешения глинистой породы с добавками при выпуске заполнителей специального назначения (жаростойких, химически стойких) и т. д.

Технологическая схема переработки сырья по шликерному способу включает глинорыхлитель, ящичный подаватель, глиноболтушку и шламбассейн.

В глиноболтушку подают твердые и жидкие добавки для улучшения качества керамзита и повышения текучести шликера. Крупные включения размером более 10 мм задерживаются выпускной решеткой глиноболтушки. Мелкие включения в случае необходимости могут отделяться на специальном сите с мелкими ячейками, устанавливаемом после глиноболтушки.

Текучесть шликера повышают различного рода разжижителями. Наиболее распространенным является жидкое стекло в сочетании с содой в соотношениях 2 : 1 или 2 : 1,5. Общий расход разжижителя составляет 0,2...0,4% по массе сухой глины.

Шликер из шламбассейнов ковшовыми питателями подают непосредственно в печь обжига, холодный конец которой оборудован специальной цепной завесой. Налипая на цепи, подсушиваясь, глина распадается на мелкие кусочки — гранулы размером от 2 до 20 мм. Такой неоднородный зерновой состав сырцовых гранул затрудняет обжиг, заставляет вести его при пониженных температурах. Это еще один существенный недостаток шликерной подготовки сырья.

Порошковый способ подготовки сырья. Как и шликерный, применяют при специальном технико-экономическом обосновании, по-

скольку он требует повышенных расходов топлива. Он может оказаться эффективным при переработке отходов камнеподобных глинистых пород, применении пород с большим содержанием карбонатных включений, организации производства специальных видов заполнителей: жаро-, кислото- и щелочестойких.

Процесс переработки глинистого сырья по порошковому способу состоит из двух операций: грубого измельчения, которое в зависимости от прочности породы может осуществляться в щековой, валково-зубчатой дробилках или в глинорыхлителях, и тонкого измельчения, которое может осуществляться в молотковых шахтных или в шаровых мельницах. Перед тонким измельчением крошку высушивают в сушильных агрегатах (сушильных барабанах, аэрожелобах и др.). При применении молотковых мельниц типа ММТ, оборудованных подтопками, операция подсушки совмещается с тонким измельчением.

Порошок крупностью менее 1 мм в дальнейшем замачивают водой в глиномешалках, специальных замачивающих шнеках. Воду в порошок нужно вводить порциями в несколько последовательно установленных агрегатов (в две-три глиномешалки).

Формование сырцовых гранул может производиться либо по пластическому способу в шнековом прессе или в дырчатых вальцах (в этом случае керамическую массу увлажняют до формовочной влажности), либо на тарельчатом грануляторе (в этом случае часть воды вводится непосредственно на тарель гранулятора).

Сушка сырцовых гранул. Сушка сырцовых гранул не является обязательной. В силу небольших размеров гранул, а также специфических условий теплообмена во вращающихся печах режимы сушки не оказывают решающего влияния на качество продукции. Поэтому в общем случае процессы сушки гранул, их нагрева и обжига при производстве керамзитового гравия могут быть совмещены в одном агрегате — однобарабанной вращающейся печи или в двух последовательно расположенных агрегатах — двухбарабанной вращающихся печах. Во вращающихся барабанах сушка гранул может производиться газами с температурой 500—800°C. В слое гранул температура газов до полного высушивания последних не превышает 150—300°C, что в конечном итоге и предопределяет их сохранность.

В последние годы для сушки и нагрева сырцовых гранул начали применять более эффективные тепловые агрегаты типа слоевых самотечных теплообменников и теплообменников псевдооживленного слоя.

Расчет материального и теплового балансов сушильного барабана см. с. 51.

На рис. 4.6 приведена схема слоевого подготовителя. В состав

подготовителя входят наклонные продуваемые решетки, по которым движется материал, приемный бункер — накопитель материала и барабанный разгрузатель. В бункере-накопителе устанавливаются датчики уровня (верхний и нижний). В стенках корпуса подготовителя предусмотрены люки для осмотра агрегата. Движение газов в подготовителе показано стрелками. В подготовитель газы попадают из печи обжига, проходят через материал и нижний каскад решеток и рециркуляционным дымососом подают под низ верхнего каскада решеток. Часть газов идет вверх через верхнюю решетку, часть — вниз через материал и нижнюю решетку. Рециркуляция позволяет снизить температуру газов, просасываемых через нижнюю решетку.

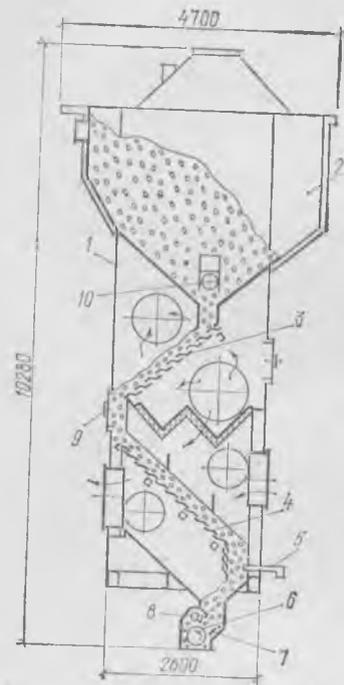
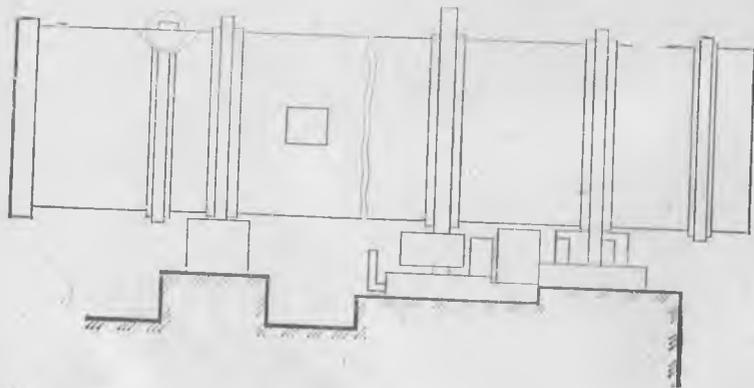


Рис. 4.6. Слоевой подготовитель

1 — корпус; 2 — приемный бункер; 3 — верхняя наклонная решетка; 4 — нижняя наклонная решетка; 5 — термомпара; 6 — барабан разгрузателя; 7 — заслонка просыпи; 8 — регулирующая заслонка; 9 — люк; 10 — указатель уровня материала

Рис. 4.7. Схема сушильного барабана



перед обжиговым агрегатом устанавливают сушильный барабан, в котором гранулы подсушивают на 2—10%. Основное назначение сушильных барабанов — подсушкой гранул увеличить прочность, предотвратить возможность последующего слипания, что позволяет складировать гранулы в промежуточных бункерах-накопителях и обеспечивать таким образом бесперебойное питание печей полуфабрикатом. Помимо сушки в сушильных барабанах происходит окатка гранул, в процессе которой закатываются трещины, возникшие при формировании.

Сушильный барабан (рис. 4.7) представляет собой металлический цилиндр диаметром 1,6—2,8 м и длиной 8—20 м, вращающийся с частотой 1,5—3 об/мин. Наибольшее распространение в промышленности получил сушильный барабан длиной 14 м и диаметром 2,2 м. Сушку гранул в барабанах производят газами, отходящими из вращающейся печи обжига. Для улучшения тепло- и массообмена в сушильных барабанах устанавливают различного рода теплообменники: яйцевые, трубчатые и др.

При сухом способе производства сушильные барабаны, как правило, не устанавливают. Удаление поверхностной влаги производится непосредственно в печах обжига.

Обжиг керамзитового гравия. Обжиг является наиболее ответственной операцией в производстве керамзитового гравия.

Различают два этапа: 1 этап — сравнительно медленный нагрев высушенных гранул до температуры 200—500°C и 2 этап — быстрый нагрев до температуры вспучивания и выдержка при этой температуре в течение 3—10 мин в зависимости от размеров гранул.

При нагреве высушенных гранул в них происходят процессы дегидратации глинистых минералов, разложения карбонатов и сульфатов, окислительно-восстановительные реакции, размягчение материала, сопровождающееся переходом некоторой его части в пиропластическое состояние. Наличие газов и пиропластической фазы определенного качества являются основными условиями вспучивания гранул.

На первом этапе нагрева гранул заканчиваются процессы сушки с удалением значительных количеств физически связанной и частично химически связанной воды отдельных глинистых минералов, гипса и др. Для предотвращения разрушения гранул в этот период нагрев их необходимо вести сравнительно медленно со скоростью до 30 град/мин.

Задача обжига гранул на втором этапе — максимально сохранить газовую фазу, образующуюся от разложения, дегидратации и окислительно-восстановительных реакций в период от 500 до 1300°C, до появления пиропластической фазы в момент вспучивания. Эта задача решается быстрым нагревом гранул со скоростью 60—

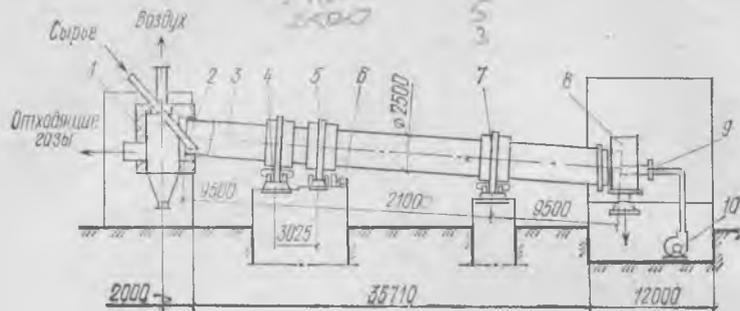


Рис. 4.8. Схема установки однобарабанной печи длиной 40 м для обжига керамзита

1 — пылесадительная камера; 2 — питательная труба; 3 — корпус печи; 4 — роликоопоры; 5 — зубчатая венцовая шестерня; 6 — основной и вспомогательный приводы; 7 — бандаж; 8 — откатная головка печи; 9 — горелка (форсунка); 10 — дутьевой вентилятор

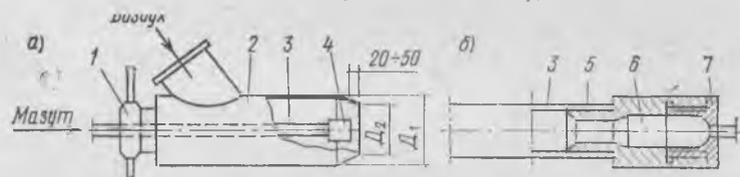


Рис. 4.9. Форсунка для сжигания жидкого топлива во вращающихся печах

а — общий вид; б — наконечник форсунки; 1 — шарнирно-зажимное устройство; 2 — корпус форсунки; 3 — труба для подвода жидкого топлива; 4 — наконечник форсунки; 5 — корпус наконечника; 6 — винтовой завихритель; 7 — распылитель

100 град/мин. При быстром нагреве все химические реакции с образованием газов смещаются в зону высоких температур.

На рис. 4.8 показана схема серийно выпускаемой однобарабанной печи размером по корпусу 2,5×40 м. Кроме указанной, в промышленности применяются вращающиеся печи других размеров.

Для улучшения теплообмена во вращающейся печи в холодные концы иногда устанавливают различного рода теплообменники.

Вращающиеся печи работают на жидком или газообразном топливе. В качестве жидкого топлива используют мазут, в качестве газообразного — природный или попутный газ.

Система топливоподачи для жидкого топлива состоит из склада, расходного бака с устройством для подогрева, фильтров для очистки, насосов, подогревателя перед форсунками, расходомера, соединительных, рециркуляционных линий и форсунок. Мазут перед транспортировкой и сжиганием подогревают для уменьшения вязко-

сти. В табл. 4.3 приведены рекомендуемые температуры разогрева мазута различных марок.

Таблица 4.3. Температура разогрева мазута, °С

Марка мазута	В хранилище	Перед форсункой
40	20—30	90—100
100	50—60	115—118

Система топливоподачи для газообразного топлива состоит из газораспределительного пункта (ГРП), соединительного газопровода, продувочных свечей, горелок, запальников и расходомеров газа.

Система воздухообеспечения для сжигания жидкого и газообразного топлива включает дутьевой вентилятор и воздухопровод от вентилятора к горелке.

В промышленности применяют следующие виды горелочных устройств. Для жидкого топлива — форсунки (рис. 4.9) механического распыления топлива под давлением. Для газообразного — газовые горелки, представляющие собой в общем случае две концентрично расположенные трубы. По внутренней подается газ, по наружной — воздух. На рис. 4.10 и 4.11 приведены две наиболее распространенные в промышленности горелки: многосопловая и с регулируемой геометрией факела.

С целью уменьшения теплопотерь через обечайку и сохранности ее вращающиеся печи по всей длине футеруют огнеупорными материалами: огнеупорным кирпичом или жаропрочным бетоном.

Расчетами вращающихся печей определяют их производительность, расходы сырьевых материалов и топлива.

В качестве примера ниже приводится схема расчета материального и теплового балансов 40-метровой печи.

Материальный баланс вращающейся печи

1. Коэффициент выхода керамзита

$$K = \gamma_{\text{пф}} / \gamma_{\text{кер}} \left(1 - \frac{W}{100} \right) (1 - П П П / 100) - V_{\text{ун}} / 100, \quad (4.13)$$

где $\gamma_{\text{пф}}$, $\gamma_{\text{кер}}$ — насыпная плотность полуфабриката и керамзита, кг/м³; W — относительная влажность полуфабриката, %; $V_{\text{ун}}$ — величина уноса, %.

2. Часовая производительность печи, м³/ч,

$$D_1 = (M_{\text{ксп}} \cdot 1000) / (T K_{\text{и}} K_{\text{в}}). \quad (4.14)$$

где $M_{\text{ксп}}$ — производственная мощность установки, тыс. м³ в год; T — годовой фонд рабочего времени, ч (8760); $K_{\text{и}}$ — коэффициент использования годового фонда рабочего времени; $K_{\text{в}}$ — объемный коэффициент выхода готовой продукции, предусматривающий корректировку часовой производительности обжиговых агрегатов в зависимости от марки выпускаемого керамзита

$$G_1 = D_1 \gamma_{\text{кер}}, \quad \text{кг/ч.} \quad (4.15)$$

3. Загрузка печи сырьевыми гранулами

$$D_2 = D_1 / k_{\text{в}}, \quad \text{м}^3/\text{ч.} \quad (4.16)$$

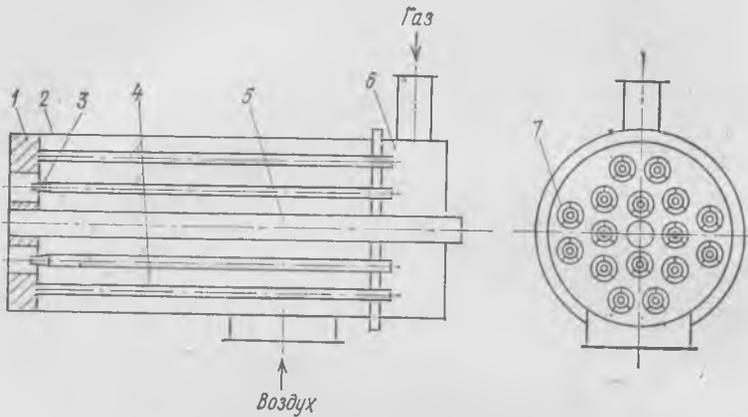


Рис. 4.10. Газовая горелка многосопловая среднего давления для вращающихся печей длиной 40 м
1 — огнеупорная набивка; 2 — корпус; 3 — сопловая насадка; 4 — трубы для подвода газа; 5 — труба для ввода запальника; 6 — распределительная камера; 7 — центрирующая втулка

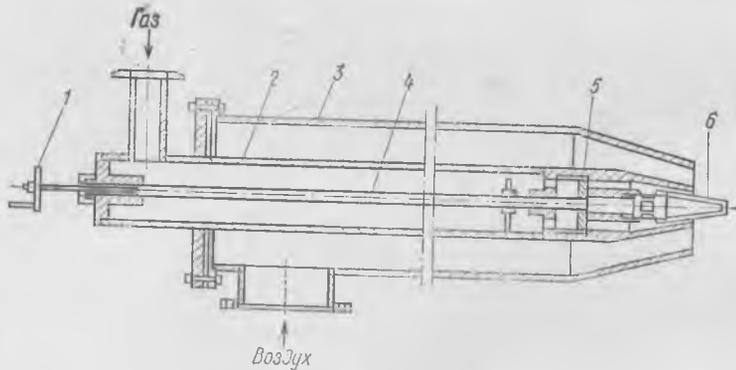


Рис. 4.11. Газовая горелка с регулируемой геометрией факела
1 — маховик; 2 — внутренний корпус; 3 — внешний корпус; 4 — тяга; 5 — дроссельная шайба; 6 — газораспределитель

$$G_2 = D_2 \gamma_{пф}, \text{ кг/ч.} \quad (4.17)$$

4. Количество испаренной влаги, кг/ч,

$$G_3 = G_2 (W/100). \quad (4.18)$$

5. Количество сухой глины, кг/ч,

$$G_4 = G_2 - G_3. \quad (4.19)$$

6. Потери массы при прокаливании, кг/ч,

$$G_5 = G_4 (ППП/100). \quad (4.20)$$

7. Масса углекислого газа, выходящего из сырья, кг/ч,

$$G_6 = (G_4 \text{ CO}_2)/100; \quad (4.21)$$

$$\text{CO}_2 = 44 \text{ CaO}/56 + 44 \text{ MgO}/40,32, \quad (4.22)$$

8. Содержание оксидов в сырье, %.

8. Масса гидратной воды, выходящей из сырья, кг/ч,

$$G_7 = G_4 (\text{ППП} - \text{CO}_2)/100. \quad (4.23)$$

9. Масса уноса, кг/ч,

$$G_8 = G_4 (B_{ун}/100). \quad (4.24)$$

10. Удельный расход сырья, м³ сыр. глины/м³ кер.,

$$r = D_2/D_1. \quad (4.25)$$

При изменении насыпной плотности $\gamma_{пф}$ и его влажности W рассчитывается новое значение коэффициента выхода и соответственно удельный расход сырья.

Тепловой баланс вращающейся печи

Уравнение теплового баланса печи

$$Q_{\text{топл}}^{\text{II}} + Q_{\text{физ.возд}}^{\text{II}} + Q_{\text{физ.топл}}^{\text{II}} = Q_{\text{кер}}^{\text{II}} + Q_{\text{вл}}^{\text{II}} + Q_{\text{о.с}}^{\text{II}} + Q_{\text{ух.г}}^{\text{II}} + Q_{\text{ун}}^{\text{II}} + Q_{\text{х.р}}^{\text{II}} + Q_{\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O ух.г}}^{\text{II}}, \text{ Вт.} \quad (4.26)$$

Приход тепла:

$Q_{\text{топл}}^{\text{II}}$ — приход от сгорания топлива; $Q_{\text{физ.топл}}^{\text{II}}$ — физическое тепло с топливом; $Q_{\text{физ.возд}}^{\text{II}}$ — физическое тепло с поступившим в печь воздухом.

Расход тепла:

$Q_{\text{кер}}^{\text{II}}$ — тепло с уходящим из печи керамзитом; $Q_{\text{вл}}^{\text{II}}$ — тепло на нагрев, на испарение и перегрев водяных паров; $Q_{\text{о.с}}^{\text{II}}$ — тепло через корпус печи в окружающую среду; $Q_{\text{ух.г}}^{\text{II}}$ — тепло с уходящими газами; $Q_{\text{ун}}^{\text{II}}$ — тепло с уносом; $Q_{\text{х.р}}^{\text{II}}$ — тепло на эндотермические (химические) реакции, включая тепло плавления; $Q_{\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O, ух.г}}^{\text{II}}$ — тепло с уходящими из печи CO_2 и H_2O , конденсирующимися из сырья.

Приход тепла:

$$1. \quad Q_{\text{топл}}^{\text{II}} = 0,278 Q_{\text{р}}^{\text{II}} B \text{ Вт,} \quad (4.27)$$

где B — часовой расход топлива, кг/ч или м³/ч; $Q_{\text{р}}^{\text{II}}$ — низшая теплота сгорания топлива на рабочую массу, кДж/кг или кДж/м³

$$2. \quad Q_{\text{физ.возд}}^{\text{II}} = 0,278 B \alpha^{\text{II}} V_0 c_{\text{возд}} T_{\text{возд}}, \text{ Вт,} \quad (4.28)$$

где α^{II} — коэффициент избытка воздуха; V_0 — теоретический объем воздуха для сгорания 1 кг или 1 м³ топлива, м³/кг или м³/м³; $T_{\text{возд}}$ — температура нагрева воздуха, °С; $c_{\text{возд}}$ — теплоемкость воздуха при его температуре, кДж/м³·°С. При значительных объемах первичного и вторичного воздуха

$$Q_{\text{физ.возд}}^{\text{II}} = Q_{\text{физ.возд}}^{\text{I}} + Q_{\text{физ.возд}}^{\text{II}} = 0,278 b V_0 [\alpha_1 c_{\text{возд}}^{\text{I}} T_{\text{возд}}^{\text{I}} + \alpha_{\text{II}} c_{\text{возд}}^{\text{II}} T_{\text{возд}}^{\text{II}}], \text{ Вт,} \quad (4.29)$$

где индекс I относится к первичному потоку воздуха, II — ко вторичному.

$$3. \quad Q_{\text{физ.топл}}^{\text{II}} = 0,278 B c_{\text{топл}} T_{\text{топл}}, \text{ Вт,} \quad (4.30)$$

где $c_{\text{топл}}$ — теплоемкость топлива при температуре топлива кДж/кг·°С или кДж/(м³·°С); $T_{\text{топл}}$ — температура нагрева топлива, °С.

Расход тепла:

$$1. Q_{\text{кер}}^{\text{п}} = 0,278 Q_1 c_{\text{кер}} (T_{\text{м}}'' - T_{\text{м}}'), \text{ Вт}, \quad (4.31)$$

где $T_{\text{м}}'$, $T_{\text{м}}''$ — температура материала на входе и выходе из печи, °С.

$$2. Q_{\text{вл}}^{\text{п}} = 0,278 G_3 [i_{\text{в.п}}'' - i_{\text{вл}}' + c_{\text{р H}_2\text{O}} T_{\text{ух.г}}^{\text{п}}], \text{ Вт}, \quad (4.32)$$

где $i_{\text{в.п}}''$, $i_{\text{вл}}'$ — теплосодержание водяных паров и влаги на линии насыщения, кДж/кг; $i_{\text{в.п}}^{\text{п}} = 2675,9$ кДж/кг; $i_{\text{вл}}' = 4,187 (T_{\text{м}}' - 273)$ кДж/кг; $c_{\text{р H}_2\text{O}}$ — теплоемкость перегретых паров при $T_{\text{ух.г}}'$; $T_{\text{ух.г}}^{\text{п}}$ — температура уходящих из печи дымовых газов, °С.

$$3. Q_{\text{о.с}}^{\text{п}} = \pi D_{\text{п}} L_{\text{п}} K_{\text{о.с}}^{\text{п}} (\bar{T}_{\text{газ}} - T_{\text{о.с}}), \quad (4.33)$$

где $D_{\text{п}}$; $L_{\text{п}}$ — диаметр и длина печи, м; $K_{\text{о.с}}^{\text{п}}$ — коэффициент теплопередачи от газового потока через корпус печи в окружающую среду, Вт/(м²·°С); $\bar{T}_{\text{газ}}$ — средняя температура газового потока в печи, °С. Учитывая приближенно линейное распределение температуры газового потока по длине печи, °С.

$$\bar{T}_{\text{газ}} = T_{\text{газ}}' + T_{\text{ух.г}}^{\text{п}}, \quad (4.34)$$

где $T_{\text{газ}}'$ — температура газов в зоне всучивания, °С. $T_{\text{о.с}}$ — среднегодовая температура окружающей среды, °С.

Коэффициент теплопередачи $K_{\text{о.с}}^{\text{п}}$, Вт/(м²·°С).

$$K_{\text{о.с}}^{\text{п}} = 1 / [(1/\alpha_1) + \Sigma (\delta_i/\lambda_i) + (1/\alpha_2)], \quad (4.35)$$

где α_1 — коэффициент теплопередачи от газового потока к поверхности футеровки; δ_i — толщина слоев футеровки, м; λ_i — теплопроводность слоев футеровки, Вт/(м·°С); α_2 — коэффициент теплопередачи от корпуса печи в окружающую среду, Вт/(м²·°С).

Приближенно для действующих вращающихся печей при скорости ветра 2 м/с и $T_{\text{о.с}} = 0^\circ\text{C}$; коэффициент теплопередачи $K_{\text{о.с}}^{\text{п}}$ рассчитывается по формуле

$$K_{\text{о.с}}^{\text{п}} = 1,163 [(2,04 + 0,00098 (\bar{T}_{\text{газ}} - T_{\text{о.с}}))]. \quad (4.36)$$

$$4. Q_{\text{ух.г}}^{\text{п}} = 0,278 y_{\text{ух.г}}^{\text{п}} B = 0,278 j_{\text{ух.г}}^{\text{п}} Q_{\text{р}}^{\text{п}} B, \text{ Вт}, \quad (4.37)$$

где $j_{\text{ух.г}}^{\text{п}} = y_{\text{ух.г}}^{\text{п}} / Q_{\text{р}}^{\text{п}}$ — относительное теплосодержание дымовых газов, зависящее от температуры газов и коэффициента избытка воздуха и постоянное для природных газов и мазутов с различной теплотой сгорания топлива $Q_{\text{р}}^{\text{п}}$; $y_{\text{ух.г}}^{\text{п}}$ — теплосодержание дымовых газов при температуре уходящих газов $T_{\text{ух.г}}^{\text{п}}$ и коэффициенте избытка воздуха $\alpha_{\text{ух.г}}^{\text{п}}$ кДж/м³ или кДж/кг.

$$5. Q_{\text{ун}}^{\text{п}} = 0,278 G_8 c_{\text{кер}} T_{\text{ух.г}}^{\text{п}}, \text{ Вт}. \quad (4.38)$$

6. $Q_{\text{х.р}}^{\text{п}}$ — рассчитывается по эффекту керамитообразования по известной методике.

Упрощенная формула для расчета:

$$Q_{\text{х.р}}^{\text{п}} = 1,16 \cdot 350 G_4 (b_{\text{Al}_2\text{O}_3} / 100) + 1,16 \cdot 40 G_1, \quad (4.39)$$

где $b_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ — содержание Al₂O₃ в сырье, %; 1,16·40 — расход тепла на образование пиропластической фазы при температурах 900—1180°С, Вт.

$$7. Q_{\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O ух.г}}^{\text{п}} = 0,278 (G_6 c_{\text{р CO}_2} + G_7 G_{\text{р H}_2\text{O}}) \times T_{\text{ух.г}}^{\text{п}}, \text{ Вт}, \quad (4.40)$$

где $c_{\text{р CO}_2}$, $c_{\text{р H}_2\text{O}}$ — теплоемкость углекислого газа и водяных паров при температуре уходящих газов $T_{\text{ух.г}}^{\text{п}}$, кДж/(кг·°С).

Для сопоставления режимов работы печей тепловой баланс может быть представлен в удельных затратах тепла на 1 кг керамита.

Общий вид уравнения теплового баланса на 1 кг керамита принимает вид:

$$q_{\text{топл}} + q_{\text{физ.возд}} + q_{\text{физ.топл}} = q_{\text{кер}} + q_{\text{вл}} + q_{\text{о.с}} + q_{\text{ух.г}} + q_{\text{ун}} + q_{\text{х.р}} + q_{\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O ух.г}}, \text{ кДж/кг}, \quad (4.41)$$

$$\text{где } q_{\text{топл}} = Q_{\text{топл}}^{\text{п}} / G_1, \quad q_{\text{физ.возд}} = Q_{\text{физ.возд}}^{\text{п}} / G_1, \quad (4.42)$$

$$q_{\text{физ.топл}} = Q_{\text{физ.топл}}^{\text{п}} / G_1, \quad q_{\text{кер}} = Q_{\text{кер}}^{\text{п}} / G_1 \text{ и т.д.}$$

Используя уравнение теплового баланса, можно определить расход топлива из следующего соотношения, кг/ч или м³/ч,

$$B = \frac{1}{0,278} \times$$

$$\frac{Q_{\text{кер}}^{\text{п}} + Q_{\text{вл}}^{\text{п}} + Q_{\text{о.с}}^{\text{п}} + Q_{\text{ух.г}}^{\text{п}} + Q_{\text{х.р}}^{\text{п}} + Q_{\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O ух.г}}}{\{ Q_{\text{р}}^{\text{п}} (1 - j_{\text{ух.г}}^{\text{п}}) + V_0 [\alpha_1 c_{\text{возд}}^{\text{п}} T_{\text{возд}}^{\text{п}} + \alpha_{\text{II}} c_{\text{возд}}^{\text{II}} T_{\text{возд}}^{\text{II}}] + c_{\text{топл}} T_{\text{топл}} \}}, \quad (4.43)$$

Удельный расход топлива, кг/м³ кер., м³/м³ кер.,

$$b_{\text{уд}} = B / D_1 \quad (4.44)$$

или

$$b_{\text{уд}} = [q - q_{\text{физ.возд}} - q_{\text{физ.топл}}] \gamma_{\text{кер}} / Q_{\text{р}}^{\text{п}}, \quad (4.45)$$

где

$$q = q_{\text{кер}} + q_{\text{вл}} + q_{\text{о.с}} + q_{\text{ух.г}} + q_{\text{ун}} + q_{\text{х.р}} + q_{\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O ух.г}}, \text{ кДж/кг}, \quad (4.46)$$

q — общий удельный расход тепла в печи.

Удельный расход топлива, кг усл. топл./м³ кер.

$$b_{\text{усл}} = (B / D_1) (Q / 29339). \quad (4.47)$$

Материальный баланс сушильного барабана

(при непрерывной работе сушильного барабана в 3 смены).
Количество испаренной влаги W , в сушильном барабане, кг/ч,

$$W = G_2 (W_1 - W_2) / (100 + W_1), \quad (4.48)$$

где W_1 , W_2 — относительная влажность полуфабриката на входе и выходе из сушильного барабана, %.

При работе сушильного барабана $\tau_{\text{с.б}}$ в сутки (для двухсменной работы $\tau_{\text{с.б}} = 16$ ч) величины G_4 , W в формулах (4.19); (4.48) должны быть увеличены на множитель $24/\tau_{\text{с.б}}$, кг/ч, так что

$$W_{\tau} = W (24/\tau_{c.6}); \quad (4.49)$$

$$G_4 \tau = G_4 (24/\tau_{c.6}), \quad (4.50)$$

Остальные величины не изменяются.

Тепловой баланс сушильного барабана

Уравнение теплового баланса сушильного барабана

$$Q_{д.г}^{c.6} + Q_{CO_2, H_2O д.г}^{c.6} = Q_{с.гл}^{c.6} + Q_{вл}^{c.6} + Q_{о.с}^{c.6} + Q_{ух.г}^{c.6} + Q_{CO_2, H_2O, ух.г}^{c.6} \quad \text{Вт}, \quad (4.51)$$

Приход тепла:

$Q_{д.г}^{c.6}$ — тепло с дымовыми газами от печи; $Q_{CO_2, H_2O д.г}^{c.6}$ — тепло с уходящими из печи CO_2 и H_2O , выделившимися из сырья.

Расход тепла:

$Q_{с.гл}^{c.6}$ — тепло с уходящей из сушильного барабана сухой части глины; $Q_{вл}^{c.6}$ — тепло на нагрев и испарение водяных паров; $Q_{о.с}^{c.6}$ — тепло через корпус сушильного барабана в окружающую среду; $Q_{ух.г}^{c.6}$ — тепло с уходящими газами из сушильного барабана; $Q_{CO_2, H_2O ух.г}^{c.6}$ — тепло с уходящими из сушильного барабана CO_2 и H_2O , выделившимися из сырья.

Приход тепла:

$$1. \quad Q_{д.г}^{c.6} = 0,278 B j^n Q_p^n \eta_{газ}, \quad \text{Вт}, \quad (4.52)$$

где $\eta_{газ}$ — коэффициент, учитывающий потери тепла в газоходе $\eta_{газ} = 0,98 - 0,99$.

$$2. \quad Q_{CO_2, H_2O д.г}^{c.6} = 0,278 [G_6 c_p CO_2 + (G_7 + G_8) c_p H_2O] T_{д.г}^{c.6}, \quad \text{Вт}, \quad (4.53)$$

где $T_{д.г}^{c.6}$ — температура дымовых газов на входе в сушильный барабан, °С;

$c_p CO_2$, $c_p H_2O$ — теплоемкость углекислого газа и водяных паров при $T_{д.г}^{c.6}$, кДж/(кг·°С).

Расход тепла:

$$1. \quad Q_{с.гл}^{c.6} = 0,278 G_4 c_{с.гл} (T_M'' - T_M'), \quad \text{Вт}, \quad (4.54)$$

где T_M' ; T_M'' — температура материала на входе и выходе из сушильного барабана, °С; $c_{с.гл}$ — теплоемкость сухой глины, кДж/(кг·°С); $c_{с.гл} \approx 0,8374$ кДж/(кг·°С).

$$2. \quad Q_{вл}^{c.6} = 0,278 W \{ [i_{вл}'' - i_{вл}' + c_p H_2O T_{ух.г}^{c.6}] \}, \quad \text{Вт}, \quad (4.55)$$

где W — количество влаги, испаренной в сушильном барабане, кг/ч; $T_{ух.г}^{c.6}$ — температура уходящих газов из сушильного барабана, °С.

$$3. \quad Q_{о.с}^{c.6} = \pi D_{с.б} L_{с.б} \alpha_{о.с}^{c.6} (T_{корп}^{c.6} - T_{о.с}), \quad \text{Вт}, \quad (4.56)$$

где $L_{с.б}$, $D_{с.б}$ — длина и диаметр сушильного барабана, м; $\alpha_{о.с}^{c.6}$ — коэффициент теплоотдачи от корпуса сушильного барабана в окружающую среду, Вт/(м²·°С); $T_{корп}^{c.6}$ — температура корпуса сушильного барабана, °С.

Приближенно $T_{корп}^{c.6} \approx 100^\circ\text{C}$, $\alpha_{о.с}^{c.6} = 13,956$ Вт/(м²·°С) для сушильных барабанов, установленных в помещении.

$$4. \quad Q_{ух.г}^{c.6} = 0,278 y_{ух.г}^{c.6} B = 0,278 j_{ух.г}^{c.6} Q_p^n B, \quad \text{Вт}, \quad (4.57)$$

где $j_{ух.г}^{c.6}$ — теплосодержание уходящих дымовых газов из сушильного барабана при коэффициенте избытка воздуха и температуре уходящих газов $\alpha_{ух.г}^{c.6}$ и $T_{ух.г}^{c.6}$, кДж/кг; $j_{ух.г}^{c.6}$ — относительное теплосодержание дымовых газов при $\alpha_{ух.г}^{c.6}$ и $T_{ух.г}^{c.6}$.

$$5. \quad Q_{CO_2, H_2O ух.г}^{c.6} = 0,278 [G_6 c_p CO_2 + (G_7 + G_8) c_p H_2O] T_{ух.г}^{c.6}, \quad \text{Вт}, \quad (4.58)$$

где $c_p CO_2$; $c_p H_2O$ — теплоемкость углекислого газа и водяных паров при температуре уходящих газов из сушильного барабана $T_{ух.г}^{c.6}$, кДж/(кг·°С).

Размер сушильного барабана, м³, $V_b = W/A$, (4.59)

где A — напряжение барабана по влаге, кг(м³·ч); для практических расчетов принимается $A = 15 - 30$ кг/(м³·ч).

Длина барабана, м

$$L_{с.б} = 4 V_{с.б} / (\pi D_{с.б}^2), \quad (4.60)$$

где $D_{с.б}$ — диаметр сушильного барабана, который для линии мощностью 100 тыс. м³ кер./год принимается равным 2,2 м, а для линии мощностью 200 тыс. м³ кер./год — 2,8 м.

Вычисленное значение длины сушильного барабана корректируется в большую сторону в соответствии с ГОСТ 11875-79 (с изм.).

Справочные величины (табл. 4.4 и 4.5). Теплоемкость керамики:

$$c_{кер} = 0,8081 + 0,00031 (T_M' + T_M''), \quad \text{кДж/(кг·°С)}. \quad (4.61)$$

Таблица 4.4. Теплоемкость водяного пара, углекислого газа и воздуха

Температура, °С	Значения теплоемкости, кДж/(кг·°С)		
	пар	углекислый газ	воздух
100	2,1019	0,9136	1,3243
200	1,9763	0,9927	1,3319
300	2,0139	1,0568	1,3424
400	2,0726	1,1104	1,3545
500	2,1354	1,1548	1,3683
600	2,2065	1,192	1,383
700	2,2735	1,223	1,3976
800	2,3447	1,2394	1,4114
900	2,4159	1,2716	1,4248
1000	2,4829	1,29	1,4374

Теплоемкость топлива (мазута):

$$c_{топл} = 1,7376 + 0,0025 \cdot T_{топл}, \quad \text{кДж/(кг·°С)}, \quad (4.62)$$

где $T_{топл}$ — температура подогрева мазута, °С.

Эксплуатация вращающихся печей. Пути снижения расходов топлива. Вращающуюся печь в процессе пуска наладочных работ подвергают всестороннему изучению. Уточняют ее производительность, определяют оптимальные параметры производства, на основе которых составляют технологическую карту производства. Данными технологической карты в последующем руководствуются эксплуатационники.

Таблица 4.5. Относительное теплосодержание дымовых газов i при коэффициенте избытка воздуха α

Температура, °C	Газовое топливо			Мазут		
	$\alpha = 1,6$	$\alpha = 1,8$	$\alpha = 2,0$	$\alpha = 1,6$	$\alpha = 1,8$	$\alpha = 2$
100	0,06227	0,0693	0,07628	0,66	0,067	0,074
200	0,1252	0,1393	0,01535	0,1213	0,1353	0,15
300	0,1898	0,2112	0,2326	0,184	0,206	0,227
400	0,2562	0,2849	0,3137	0,248	0,277	0,306
500	0,3238	0,3601	0,3965	0,314	0,351	0,387
600	0,3992	0,4372	0,4818	0,382	0,426	0,469
700	0,4644	0,5163	0,5683	0,451	0,503	0,554
800	0,5372	0,5971	0,6572	0,522	0,581	0,641
900	0,6111	0,679	0,7471	0,594	0,661	0,729
1000	0,6866	0,7627	0,839	0,667	0,742	0,818

К основным технологическим параметрам работы вращающихся печей относят: производительность, насыпную плотность керамзитового гравия, расход топлива (часовой и на 1 м³ продукции), температуру материала (или газов) в зоне вспучивания, температуру отходящих газов на выходе из печи и перед дымососом, разрежение на головке печи, в пылесадительной камере и перед дымососом, объем загружаемых в печь сырцовых гранул, их влажность.

Для контроля технологических параметров применяют контрольно-измерительные приборы: термопары, пирометры, тягонапоромеры, манометры, диафрагмы с дифманометрами, поршневые мазутомеры и др.

Особенностью производства керамзитового гравия во вращающихся печах является ведение процесса вспучивания на грани слипания гранул друг с другом. Этому состоянию при всех прочих равных условиях соответствует наибольшая вспучиваемость материала. Необходимо поддержание процесса на грани слипания гранул. Отклонения от заданных параметров производства (изменение расходов материала и топлива, изменение зернового состава материала и разрежения на головке печи и др.) могут привести к образованию сваров или привариванию гранул к футеровке печи.

Для предотвращения слипания гранул друг с другом применяют опудривание их огнеупорными порошками. Этот технологический прием позволяет при условии применения порошка с большей на 100°C огнеупорностью повысить температуру обжига гранул и таким образом повысить их вспучиваемость. Даже небольшое увеличение температуры обжига — на 20—50°C — ведет к снижению насыпной плотности керамзитового гравия на 50—200 кг/м³. Поэтому опудривание можно считать важнейшим технологическим приемом, позволяющим не только повысить стабильность процесса производства (предотвратить сварообразование), но и существенно увеличить

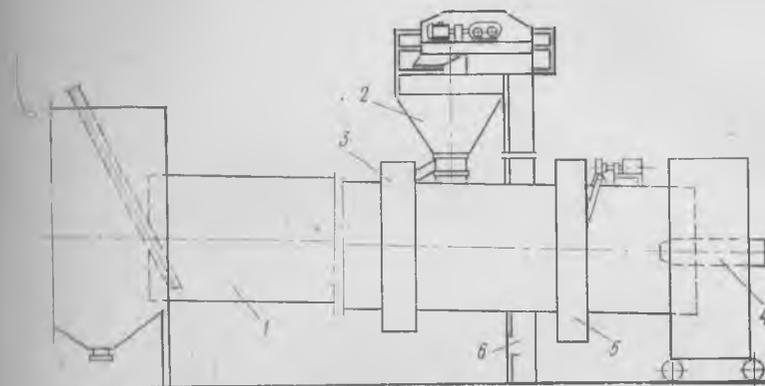


Рис. 4.12. Схема устройства для ввода огнеупорного порошка во вращающуюся печь

1 — вращающаяся печь; 2 — бункер запаса опудривателя; 3 — устройство для ввода опудривателя; 4 — горелка; 5 — устройство для ввода вторичного воздуха; 6 — элеватор

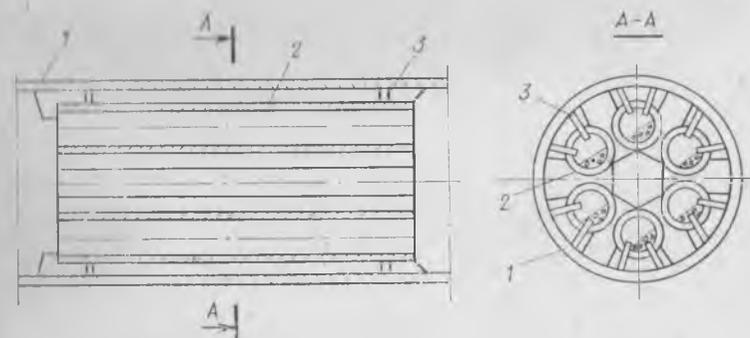


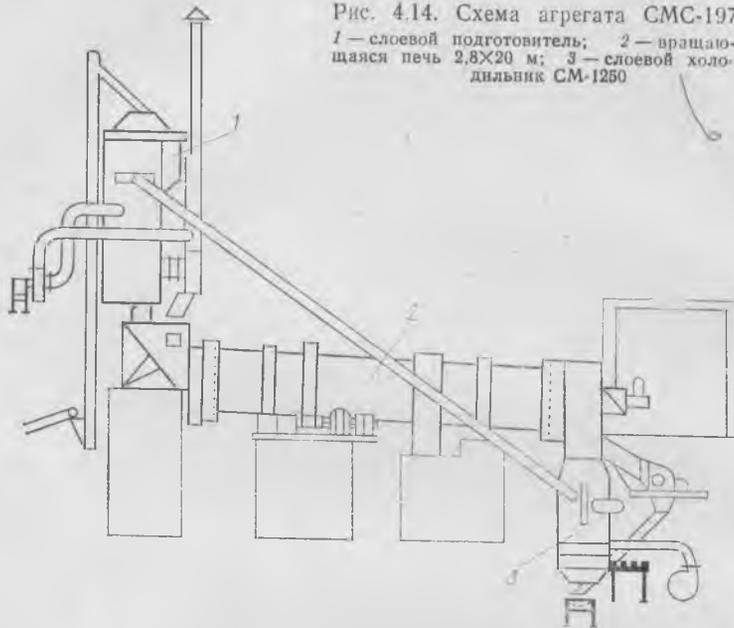
Рис. 4.13. Схема устройства трубчатого теплообменника
1 — корпус печи; 2 — труба теплообменника; 3 — крепление

производительность печей, улучшить качество выпускаемой продукции, снизить удельный расход топлива.

Огнеупорный порошок может вводиться на разных участках технологического процесса: на свежеформованные гранулы в специальном опудривающем барабане, в печь обжига перед зоной вспучивания. На рис. 4.12 показана схема устройства для ввода огнеупорного порошка в печь обжига.

Вращающиеся печи обладают существенным недостатком — повышенными температурами отходящих газов, что является главным следствием повышенных расходов топлива. Предложено много способов снижения температуры отходящих газов путем устройств раз-

Рис. 4.14. Схема агрегата СМС-197
1 — слоевой подготовитель; 2 — вращающаяся печь 2,8×20 м; 3 — слоевой холодильник СМ-1250



личного рода внутривспучивающих и запечных теплообменников. На рис. 4.13 приведена схема устройства трубчатого теплообменника, установленного в холодном конце вращающейся печи или сушильном барабане. На рис. 4.14 показан агрегат СМС-197, состоящий из слоевого подготовителя — запечного теплообменника и короткой вращающейся печи. Практика эксплуатации внутривспучивающих и запечных теплообменников показывает, что в ряде случаев их применение позволяет снизить удельные расходы топлива на 10—30%.

Ступенчатый способ обжига керамзитового гравия. Керамзитовое сырье вспучивается до оптимальной величины лишь в том случае, когда его подвергают предварительной тепловой подготовке в интервале 200—400°C в зависимости от свойств исходного сырья, а затем быстро, почти мгновенно направляют в область высоких температур вспучивания в пределах 1100—1300°C. Кривая обжига при этом принимает ступенчатый вид. Когда указанные условия не соблюдают (т. е. тепловая подготовка происходит относительно постепенно — от низких до высоких температур и на кривой обжига отсутствует упомянутый выше технологически необходимый температурный перепад), вспучиваемость сырья резко снижается или вовсе утрачивается, что приводит к утяжелению готового продукта. В технологическом плане целью тепловой подготовки сырьевых гранул является высвобождение избытка паргазообразных продуктов с

сохранением необходимого их количества на момент порообразования и придания материалу термической стойкости, т. е. способности не подвергаться разрушению на мелкие части при поступлении в область высоких температур. При этом важным условием правильного проведения тепловой подготовки материала является соблюдение оптимального времени, необходимого для протекания указанных процессов при заданных температурах. Продолжительная задержка сырьевых гранул, особенно при нагревании выше температур воспламенения органических веществ (230—300°C) может привести к значительной или полной потере вспучиваемости; проведение предварительной тепловой обработки высушенных гранул с высокими скоростями нагрева — к разрушению гранул.

Однobarабанные вращающиеся печи не отвечают указанным требованиям. Материал в них движется примерно с одинаковой скоростью во всех технологических зонах; коэффициент заполнения печей больше там, где он должен быть меньше (в зоне вспучивания); регулировать отдельно процессы тепловой подготовки и вспучивания практически не представляется возможным. Вследствие этого керамзитовые предприятия с однobarабанными печами повсеместно выпускают более тяжелый наполнитель и с меньшим его выходом в единицу времени, чем позволяет исходное сырье. При этом потеря производительности печей составляет минимум 30%, а завышение насыщенной плотности достигает 40%. Особенно высоки расходы топлива на обжиг, достигающие 6700 кДж/кг и выше, вместо возможных 2510—2930 кДж/кг. При производстве керамзитового гравия в СССР применяют двухбарабанные печи, в которых сушку и подогрев сырьевых гранул осуществляют в барабане предварительной тепловой подготовки, а обжиг — в барабане вспучивания. В зависимости от компоновочных решений применяют 2 вида двухбарабанных печей (рис. 4.15): с соосным расположением барабанов предварительной тепловой подготовки и вспучивания и с расположением барабанов на разных уровнях и соединенных между собой футерованной пересыпной камерой.

Двухбарабанная печь (рис. 4.16) состоит из пылесадительной камеры 1, барабана предварительной тепловой подготовки 2, 3 — уплотнения стыка барабанов, барабана вспучивания 4, откатной (или стационарной) головки 5 и топливосжигающего устройства 6. Во избежание проникновения наружного воздуха в печь, что уменьшает ее производительность и повышает удельный расход технологического топлива, холодный и горячий концы печи оборудуются специальными уплотнениями при входе в пылесадительную камеру и головку печи. Каждый барабан имеет самостоятельный привод, обеспечивающий вращение его с регулируемой скоростью.

Устройство и ремонт футеровки производят в соответствии с

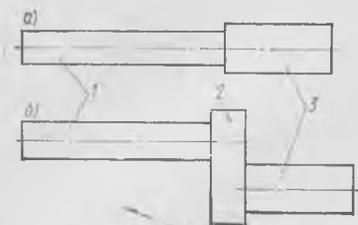
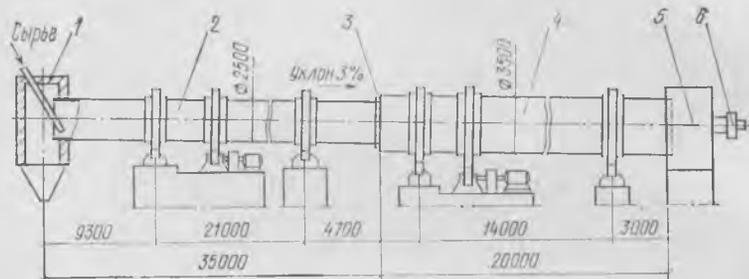


Рис. 4.15. Виды двухбарабанных печей

a — с соосным расположением барабанов; *b* — с расположением барабанов на разных уровнях; 1 — барабан предварительной тепловой подготовки; 2 — пересыпная камера; 3 — барабан вспучивания

Рис. 4.16. Схема установки двухбарабанной печи



«Инструкцией по проведению во вращающихся печах для производства керамзита футеровочных работ и установке порогов на основе алюмохромофосфатной связки» (Куйбышев, НИИКерамзит, 1974). С целью более полной утилизации тепла отходящих газов и сокращения расхода технологического топлива барабан предварительной тепловой подготовки оснащают встроенным теплообменником.

В зависимости от вида применяемого технологического топлива в качестве устройств для его сжигания применяют горелки 16-сопловые Мосгазпроекта или форсунки механического распыления топлива. Во избежание выбивания горячих газов и высыпания сырьевых гранул стык барабанов предварительной тепловой подготовки и вспучивания оснащают лабиринтным уплотнением (рис. 4.17, 4.18). Работу двухбарабанной печи осуществляют в следующей последовательности. По питательной трубе, опущенной в холодный конец барабана предварительной тепловой подготовки, дозированно подают сырьевые гранулы. Материал по мере продвижения по барабану последовательно подвергается сушке и предварительному нагреву до 200—300°C в зависимости от вида исходного сырья. Затем подогретый материал поступает в барабан вспучивания, в котором его обжигают с последующим вспучиванием в интервале температур 1100—1300°C. В этом же барабане вспученные гранулы частично охлаждают до температуры 800—900°C.

В табл. 4.6 приведены основные технические характеристики

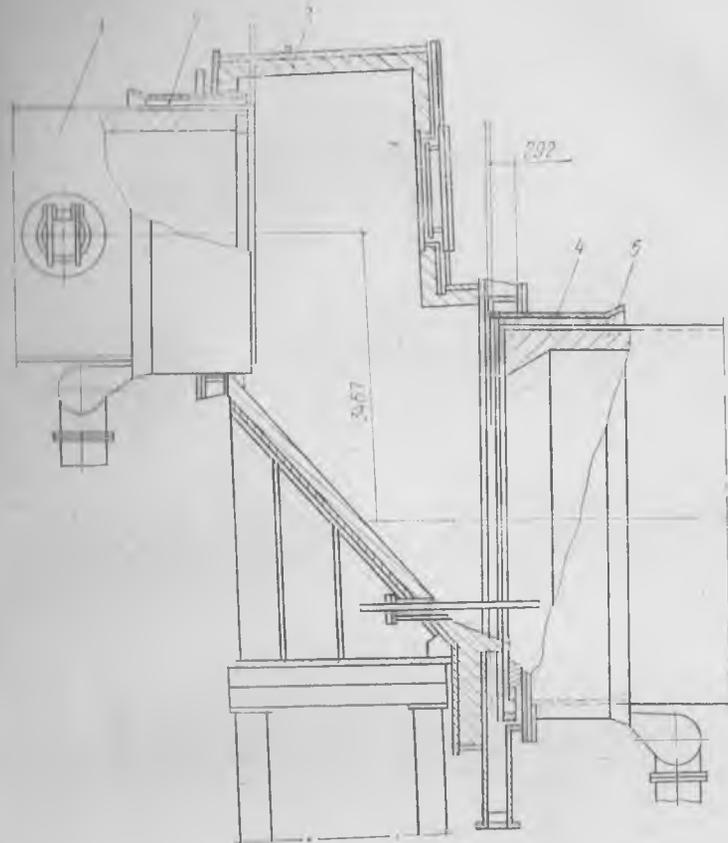
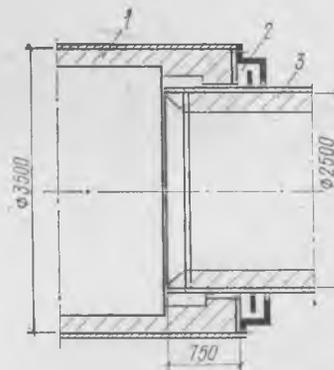


Рис. 4.17. Стык двухбарабанной печи с расположением барабанов на разных уровнях (конструкция Волгоцеммаш)

1 — барабан предварительной тепловой подготовки; 2 — уплотнение; 3 — пересыпная камера; 4 — уплотнение; 5 — барабан вспучивания

Рис. 4.18. Стык двухбарабанной печи с соосным расположением барабанов

1 — барабан вспучивания; 2 — лабиринтное уплотнение; 3 — барабан предварительной тепловой подготовки



двухбарабанной печи, изготовленной заводом «Строммашина» (г. Брянск) и модернизированной Куйбышевским заводом керамзитового гравия № 10 и ВНИИСтромом им. П. П. Будникова, а также двухбарабанной печи, разработанной заводом «Волгоцеммаш» (г. Тольятти).

Таблица 4.6. Технические характеристики двухбарабанных печей

Показатель	Размеры печи, м, заводов	
	«Строммашина» 2,5×35/3,5×19	«Волгоцеммаш» 3×24/4,5×24
Годовая мощность по керамзиту, м ³ /ч	150 000	200 000
Удельный расход тепла, кДж/кг керамзита	41 868	3 540
Скорость вращения барабана термоподготовки, об/мин	2—4	1—3,32
Скорость вращения барабана всучивания, об/мин	3—6	1—5,1
Угол наклона, %	3	3,5
Установленная мощность двигателей главного привода, кВт	80	150
Масса, т	217,33	429,4

Для каждой вращающейся печи с учетом качества глинистого сырья специальными испытаниями определяют эксплуатационный режим термообработки, при котором достигают наибольшей производительности при минимальной насыпной плотности керамзитового гравия. При этом устанавливают оптимальные числа оборотов барабанов предварительной тепловой обработки и всучивания. Чтобы сырьевые гранулы не выпали через уплотнение стыка барабанов, в процессе пуска наладочных работ с учетом конкретных размеров двухбарабанной печи, качества глинистого сырья, угла наклона печи определяют скорости вращения барабанов предварительной тепловой обработки и всучивания. Одним из условий при выборе указанного параметра является соотношение линейных скоростей продвижения пересыпающегося материала вдоль печи К. Установлено, что

$$K = v_B/v_{\text{п}} \approx 1, 5 \dots 2, \quad (4.63)$$

где v_B — линейная скорость материала в барабане всучивания, м/с; $v_{\text{п}}$ — то же, в барабане предварительной тепловой подготовки, м/с.

В процессе проведения наладочных работ определяют, а затем при эксплуатации печи контролируют фиксированное взаиморасположение барабанов, с тем чтобы обеспечить надежную работу уплотнений на холодном конце печи и у ее головки, а также на стыке барабанов. При эксплуатации двухбарабанной печи необходимо очень тщательно следить за положением каждого барабана на роликоопорах, так как значительные перемещения одного барабана относительно другого могут привести к разрушению стыка и упорных роликов. Приемку двухбарабанных печей, их футеровку, регу-

лировку роликоопор, розжиг и разогрев, проведение обжига и остановку печей осуществляют в соответствии с «Инструкцией по производству керамзитового гравия», Куйбышев, НИИКерамзит, 1979.

Как видно из данных табл. 4.7, применение двухбарабанных печей приводит к улучшению таких важных производственных показателей, как производительность печного агрегата, удельный расход тепла, выработка на одного работающего и другие.

Таблица 4.7. Сравнительные показатели работы двухбарабанных и однобарабанных печей

Предприятие	Годовая мощность одной печи, тыс. м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Количество работающих (рабочих), чел.	Выработка на одного работающего (рабочего) в год, тыс. м ³	Расход условного топлива на 1 м ³ керамзита, кг
С двухбарабанными печами:					
двумя	115	420	48	4000 (6100)	—
одной	133	350	24	5500	60
С однобарабанными печами:					
одной (2,5×40 м)	75—90	400—450	45—65	1500—2500	85—115
двумя (2,5×40 м)	80—95	400—450	120—150	1500—3000	80—110

К числу важнейших мероприятий по совершенствованию производства керамзитового гравия в двухбарабанных печах следует отнести:

уменьшение потерь тепла с отходящими газами за счет установки внутрипечных теплообменных устройств;

снижение насыпной плотности керамзитового гравия путем ввода опудривающих добавок в зону обжига вращающейся печи.

В отличие от типовых однобарабанных вращающихся печей размером 2,4×40 м двухбарабанные печи, имеющие большие геометрические размеры, позволяют разместить в них внутрипечные теплообменные устройства и обеспечить условия для продолжительной их эксплуатации. Конструкция теплообменного устройства и величина его поверхности должны определяться с учетом требуемого режима предварительной тепловой подготовки глинистого сырья.

На рис. 4.19 представлено внутрипечное теплообменное устройство ячеечного типа, которое было установлено на двухбарабанной печи Куйбышевского завода керамзитового гравия № 10. Теплообменник изготовлен из листовой стали марки X18H10T и установлен со стороны холодного конца барабана предварительной тепловой подготовки на участке 6 м. Общая масса теплообменника — 10 т. Опыт эксплуатации такого теплообменника показал, что с его установкой температура отходящих газов снизилась с 340 до 280°C, удельный расход тепла уменьшился с 4730 до 4186,8 кДж/кг. С ус-

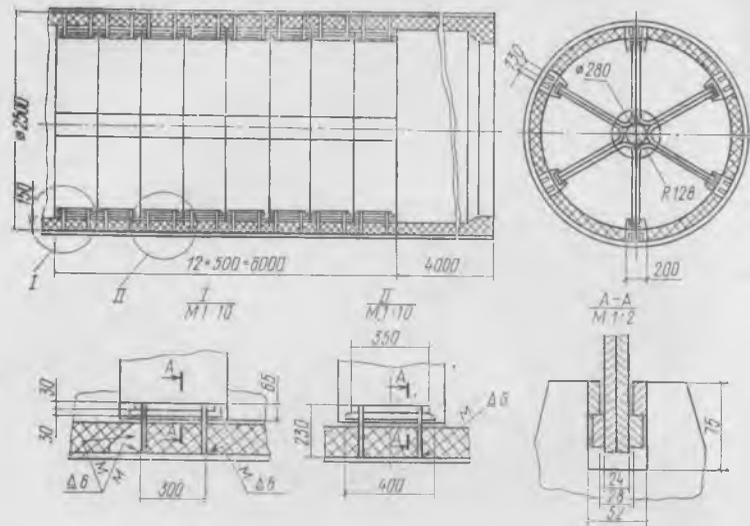


Рис. 4.19. Внутрипечной теплообменник ячейкового типа

тановой теплообменника на участке печи до 10 м упомянутые выше показатели соответственно будут равны 230—250°C и 3600—3770 кДж/кг керамзита.

4.3. ОБЖИГОВЫЙ АГРЕГАТ С КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧЬЮ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТА В НЕПОДВИЖНОМ МОНОСЛОЕ

Обжиговый агрегат с кольцевой печью для производства керамзита включает в себя слоевой подготовитель (конструкция НИИКерамзита), кольцевую печь и холодильник.

Кольцевая печь 1 (рис. 4.20, 4.21) состоит из вращающегося пода 2 и неподвижного кольцевого канала, выполненного из огнеупорного и теплоизоляционного кирпича толщиной 800 мм, перекрытого сводом с теплоизоляционной засыпкой толщиной 700 мм. Газоплотность кольцевых зазоров между вращающимся подом и неподвижной кладкой печи достигается установкой водяных затворов 3.

Вращающийся под 2 состоит из металлической платформы с бортами высотой 160 мм и футеровки толщиной 550 мм и массой 13 т. Платформа состоит из 12 секций, закрепленных между собой болтовыми соединениями. К несущей конструкции подины прикреп-

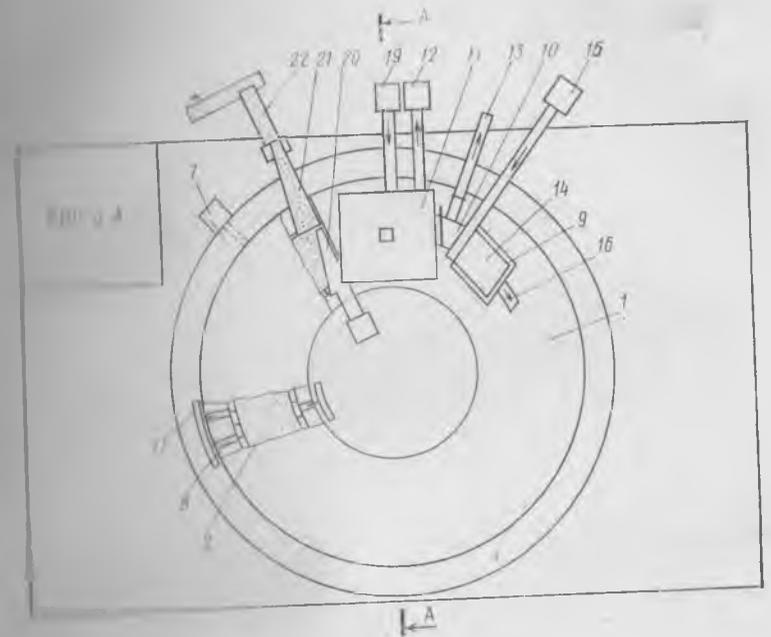


Рис. 4.20. Тепловой агрегат с кольцевой печью для производства керамзита

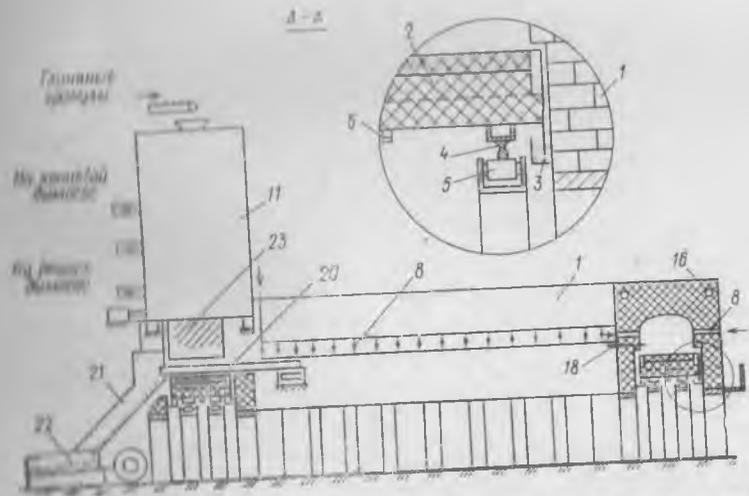
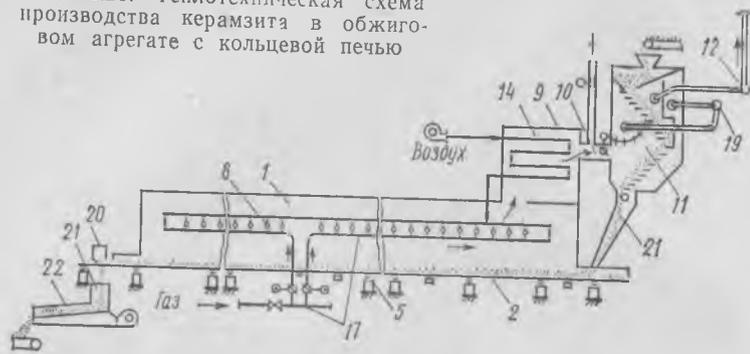


Рис. 4.21. Теплотехническая схема производства керамзита в обжиговом агрегате с кольцевой печью



лены два концентрических рельсовых пути 4, с помощью которых под опирается на опорные ролики (катки) 5, закрепленные на фундаментных балках.

Вращение подины кольцевой печи осуществляется посредством рейки 6 и цепного привода 7. Рейка прикрепляется к несущим конструкциям подины и находится в зацеплении с цепью привода. Центрирование кольцевого пода осуществляется упорными роликами, установленными радиально по внутренней окружности пода между опорными роликами.

При среднем диаметре кольцевой печи 11,25 м (внешний диаметр — 15,25 м, ширина канала — 2,4 м, высота от уровня пода до замка свода — 750 мм) средняя длина окружности печи составляет 35,3 м, а длина зоны обжига (зоны расположения горелок) — 30 м.

Горелки 8 с производительностью 3—15 $\text{м}^3/\text{ч}$ в количестве 62 шт. размещены по внешней и внутренней сторонам кольцевого канала. Такое расположение маломощных горелок позволяет по длине канала печи поддерживать требуемый температурный режим обжига.

В начале рабочего канала (со стороны загрузки) расположена дымоотборная шахта 9, из которой дымовые газы по борову 10 поступают в слоевой подготовитель 11 и далее выбрасываются концевым дымососом 12 в атмосферу. Количество дымовых газов, подаваемых в слоевой подготовитель, регулируется с помощью шибера, установленного в борове. Часть дымовых газов через обводной газоход 13 из дымоотборной шахты направляется в сушильный барабан. В дымоотборной шахте установлен трубчатый стальной рекуператор 14 для подогрева первичного воздуха, подаваемого на горение топлива за счет тепла отходящих печных газов.

Дутьевая система кольцевой печи состоит из вентилятора высокого давления 15, рекуператора 14 и воздушного секционнного

коллектора 16 с отводами на горелки. В коллекторе предусмотрена регулирующая поворотная заслонка.

Газооборудование 17 печи включает четыре участка газопровода (по числу зон регулирования температуры) с отводами для подключения горелок среднего давления конструкции института Мосгазпроект. На участках газопровода предусмотрены поворотные заслонки для автоматического регулирования расхода природного газа по температуре в рабочем канале печи. Система газоснабжения оборудована приборами автоматики безопасности, отключающими подачу газа к горелкам при падении разрежения в печном канале или падении давления в воздухо- и газопроводах печи.

Воздух к горелкам подается по кольцевым воздухопроводам после подогрева в рекуператоре до 300—350°C. Воздухопровод смонтирован на своде печи, засыпанном теплоизоляционным материалом.

Частота вращения пода печи изменяется плавно в широких пределах с помощью регулируемого асинхронного электропривода.

Системой автоматизации и КИП кольцевой печи предусмотрен контроль основных технологических параметров и их автоматическое регулирование, а также автоматика безопасности.

Контроль и управление процессом обжига, управление работой оборудования печи осуществляется со щита КИП. Температура в канале печи контролируется с помощью семи термопар 18, работающих в комплексе с многоточечным автоматическим потенциометром.

Для стабилизации температуры в канале печи предусмотрены два независимых контура регулирования, включающие термопары, регулирующие приборы и заслонки с электрическими исполнительными механизмами.

Аэродинамический режим в печи регулируют заслонками, установленными на газоходах рециркуляционного 19 и концевого 12 дымососов.

Системой управления электроприводами осуществляется дистанционный полуавтоматический пуск механизмов и обеспечиваются необходимые технологические блокировки — пуск механизмов в определенной последовательности, отключение питателя печи при остановке пода, транспортных механизмов керамзита и срабатывании автоматики безопасности и т. д.

Возможность установки в кольцевой печи для измерения температуры обжига стационарных термопар без специальных защитных чехлов от абразивного воздействия обжигаемого материала и отсутствия токосъемных устройств для коммутации термопар с приборами контроля и регулирования значительно снижает инерционность в контуре регулирования температуры и повышает его надежность и помехоустойчивость.

Керамзит с пода печи выгружают с помощью выгрузателя 20 в присмную точку 21 холодильника 22.

Гранулы глины, изготовленные на линии переработки и формовки, после сушки в сушильном барабане подвергаются предварительной термоподготовке до 200—300°C в слоевом подготовителе и с помощью барабанного разгрузателя последнего и точки 23 монослоем подаются на раскаленную поверхность пода кольцевой печи, перемещаются в печь, всучиваются в течение 5—8 мин, а затем керамзит с поверхности пода выгрузателем подается в холодильник и транспортируется на склад.

Эксплуатация обжигового агрегата с кольцевой печью на Кольчугинском ССК показала, что достижение возможности сокращения времени нагрева гранул от температуры термоподготовки до температуры всучивания до технологически необходимого минимума и обжига керамзита при температурах, превышающих на 50°C температуру обжига керамзита во вращающихся печах, позволяют снизить насыпную плотность керамзита на 25—40% по сравнению с его насыпной плотностью при производстве в однобарабанных вращающихся печах. Удельный расход топлива снижается на 40%.

Основными источниками снижения расхода топлива при обжиге керамзита в обжиговом агрегате с кольцевой печью по сравнению с вращающимися печами являются: снижение теплотеря с отходящими газами, определяемое возможностью организовать сжигание топлива при относительно небольших коэффициентах избытка воздуха $\alpha = 1,3—1,35$ (во вращающихся печах $\alpha = 1,6—2$), вследствие применения развитой системы отопления и хорошей герметизации канала печи; подогрев гранул в слоевом подготовителе до 200—400°C и первичного воздуха до 300—350°C, подаваемого на горение топлива, за счет тепла отходящих печных газов; снижение теплотеря через ограждения печи в окружающую среду.

Кольцевая печь как тепловой аппарат для производства керамзита характеризуется следующими особенностями.

Развитая система отопления с многочисленными горелками позволяет создать требуемые профили температур по длине канала печи при перепаде температур $\pm 5^\circ\text{C}$ и в сочетании с возможностью плавного регулирования частоты вращения пода (времени обжига), обеспечивает реализацию оптимальных температурно-временных режимов обжига керамзита.

В кольцевой печи, где обжиг гранул осуществляется в неподвижном монослое, по сравнению с обжигом в пересылающемся слое во вращающихся печах, улучшаются условия теплообмена между продуктами сгорания топлива, нагретыми элементами печи и обжигаемым материалом. Это обусловлено удлинением и совмещением зоны нагрева материала с зоной горения топлива и развитием тепло-

уединенной поверхности материала при его дискретном распределении на поверхности пода. Следствием этого является повышение скорости нагрева материала от температуры термоподготовки до температуры всучивания до 350—400°C в мин, чем обеспечивается оптимальный технологический режим обжига — термический удар, приемлемый для всех видов глинистых пород.

Интенсификация процесса обжига керамзита определяет высокую производительность кольцевой печи G при ее небольших габаритах. Она определяется по формуле, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$G = 0,86 \cdot S \cdot 0,014 n, \quad (4.64)$$

где S — общая площадь пода печи, м^2 ; n — частота вращения пода, об/ч; 0,014 — удельный съем керамзита с 1 м^2 площади пода (при d_{max} керамзита 10—15 мм).

Производительность кольцевой печи в зависимости от среднего диаметра, ширины и скорости вращения пода может меняться в больших пределах (табл. 4.8).

Таблица 4.8. Производительность обжигового агрегата с кольцевой печью в зависимости от среднего диаметра, ширины и скорости вращения пода

Средний диаметр печи, м	Ширина печи, м	Полезная ширина пода печи, м	Длина средней окружности пода печи, м	Площадь пода, м^2	Полезная площадь пода печи, м^2	Объем керамзита с полезной площади пода печи, м^3 (с 1 м^2 0,014 м^3)	Время обжига керамзита, мин	Число оборотов пода печи, об/ч	Производительность кольцевой печи, $\text{м}^3/\text{ч}$
11,25	2,4	2,2	35,95	86,4	75	1,05	5	12	12,4
							8	7,5	7,7
11,85	2,7	2,5	37,05	100	86	1,2	5	12	14,4
							8	7,5	9
13,5	2,4	2,2	43	103,2	90	1,26	5	12	14,8
							8	7,5	9,2
14,1	2,7	2,5	44	118,8	104,4	1,46	5	12	17,1
							8	7,5	10,8
15	2,4	2,2	54	129,6	113	1,58	5	12	18,5
							8	7,5	11,6
15,0	2,7	2,5	55	148,5	130,5	1,83	5	12	20,2
							8	7,5	13,3
20	2,4	2,2	69,7	161,3	145,7	2,03	5	12	23,2
							8	7,5	14,5

Охлаждение керамзитового гравия. Охлаждение — заключительная стадия тепловой обработки керамзита, в процессе которой завершается формирование структуры гранул. Условно можно выделить две стадии охлаждения:

от температуры всучивания до температуры затвердевания пиропластического расплава (до 550—800°C);

ниже температуры затвердевания пиропластического расплава (ниже 550—800°C).

При затвердевании пиропластического расплава происходит частичная его кристаллизация; некоторая часть закисного железа по-

верхностных слоев гранул под воздействием кислорода воздуха окисляется до трехвалентного железа, при температуре 573°C происходят модификационные превращения кварца. Первая стадия охлаждения частично проходит во вращающейся печи, где керамзит охлаждается до температуры 900—1000°C, и заканчивается в холодильнике. Режим охлаждения на первой стадии должен создать благоприятные условия для возможно большей кристаллизации пиропластического расплава, предотвратить разрушение структуры гранул под воздействием модификационных превращений кварца, ослабить разрушающее действие, связанное с окислением закисного железа. Оптимальным на этой стадии считается следующий режим охлаждения: быстрое охлаждение керамзита со скоростью 40—60 град/мин до 900—1000°C и медленное охлаждение со скоростью 10—20 град/мин до температуры 500—600°C.

Вторая стадия охлаждения проходит в холодильнике. Режим охлаждения на этой стадии должен обеспечить сохранность гранул от воздействия термических напряжений, которые возникают в грануле вследствие неравномерности охлаждения наружных и внутренних слоев. Предельной скоростью охлаждения для гравия крупностью 20 мм является 100 град/мин.

Для охлаждения керамзитового гравия после вращающейся печи в промышленности в последнее время применяют слоевые и барабанные холодильники, а также в некоторых случаях аэрожелоба (рис. 4.22 и 4.23).

Сортировка и хранение продукции. Охлажденный керамзитовый гравий сортируют по размерам на четыре фракции, мм: до 5, 5—10, 10—20 и 20—40. Для отсева применяют вибросита, сита-бураты, гравнесортировки. Наибольшее распространение получили гравнесортировки благодаря большей надежности в работе, долговечности (рис. 4.24).

Для повышения однородности керамзитового гравия НИИКерамзитом разработана конструкция классификатора — разделителя гравия по насыпной плотности (рис. 4.25).

Технический контроль качества керамзита. Под техническим контролем качества подразумевается совокупность операций, направленных на создание мер по обеспечению выпуска продукции высокого качества при оптимальных технико-экономических показателях его производства, что достигается, во-первых, поддержанием процесса производства на заданном технологической картой уровне и, во-вторых, совершенствованием процесса производства путем сбора и анализа данных о качестве сырья и продукции, технологических параметрах, установлением связи между ними, составлением новых принципов ведения процесса на основе вскрытых закономерностей.

В зависимости от места организации контроля технический кон-

Рис. 4.22 Слойной холодильник

1 — крышка для задержания свара; 2 — приемный бункер; 3 — вращающиеся колосники; 4 — верхние наклонные решетки; 5 — нижние наклонные решетки; 6 — пластинчатые перегородки; 7 — труба аварийного охлаждения; 8 — барабанный разрыхлитель; 9 — укрытие ленточного транспортера; 10 — коллектор отсоса запыленного воздуха

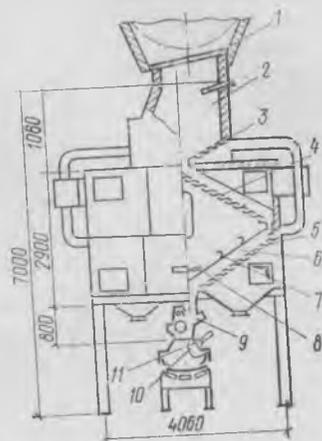


Рис. 4.23 Аэрожелоб-холодильник

1 — атмосферный вентилятор; 2 — теплообменная труба; 3, 4 — зонты; 5 — регулятор высоты слоя; 6 — теплообменная труба; 7 — перфорированная решетка; 8 — корпус; 9 — удерживающее устройство



троль подразделяется на входной контроль — контроль качества глинистого сырья, добавок, технологического топлива, огнеупоров и других материалов, поступающих на производство; операционный контроль — контроль качества материалов и технологических параметров в ходе производства; приемочный контроль — контроль качества продукции после завершения всех технологических операций по ее изготовлению.

Операционный контроль, в свою очередь, делится на оперативный, осуществляемый обслуживающим персоналом, и технологический, осуществляемый службами ОТК и заводской лабораторией.

Оперативный контроль выполняют на отдельных переделах. Он включает визуальный осмотр качества материалов, контроль по приборам и работой основного технологического оборудования.

Оперативный контроль обеспечивает поддержание процесса на заданном уровне и позволяет обслуживающему персоналу управлять

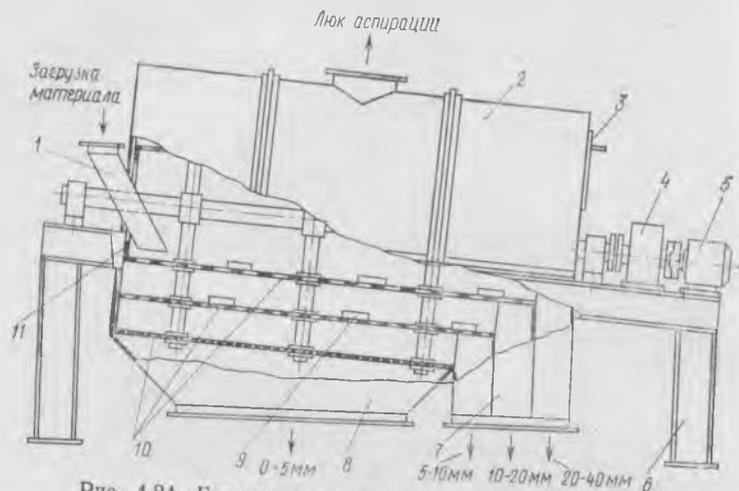


Рис. 4.24. Грависортировка керамзитового гравия
 1 — течка загрузочная; 2 — кожух; 3 — люк обслуживания; 4 — редуктор; 5 — двигатель; 6 — рама; 7, 8 — течки разгрузочные; 9 — сороги; 10 — сита барабанные (решетки); 11 — кольцо задерживающее

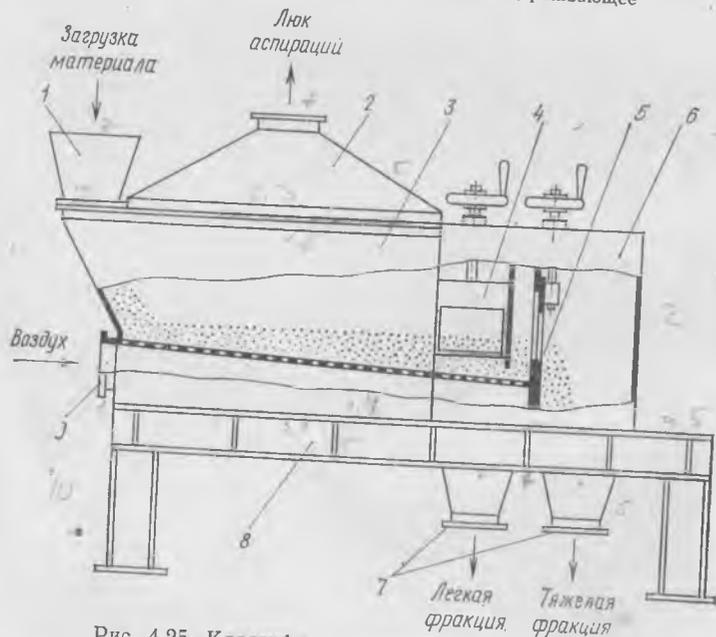


Рис. 4.25. Классификатор керамзитового гравия
 1 — течка загрузочная; 2 — кожух аспирационный; 3 — камера псевдоожижения; 4, 5 — задвижки; 6 — камера классификации; 7 — течки разгрузочные; 8 — рама; 9 — патрубок для соединения с дутьевым вентилятором

принятии и соответствии с требованиями технологических карт.

Технологический контроль выполняют, главным образом, с целью постоянного сбора информации о режимах производства, качестве перерабатываемого материала и готовой продукции. Полученная информация используется для разработки рекомендаций по совершенствованию технологического процесса.

В целях повышения надежности принятия решения о необходимости регулирования процесса обжига оперативный контроль может выполняться с помощью контрольных карт, являющихся носителями статистической информации о состоянии технологического процесса.

В прил. 1, 2 и 3 «Инструкции по производству керамзитового гравия» (Куйбышев, 1979) приведены типовые формы журналов производного, операционного и приемочного контроля.

4.4. ПРОИЗВОДСТВО ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ШУНГИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

Свойства сырья для производства шунгитовых гравия и песка

Рассматриваемый сырьевой материал представляет собой камнеподобные, неразмокаемые в воде породы.

Физико-механические свойства шунгитосодержащих пород

Нигозерского месторождения:	
Плотность, г/см ³	2,74—2,84
Прочность, МПа:	
при сжатии	105—180
при изгибе	37—55
Модуль упругости, МПа	90000
Модуль сдвига, МПа	37000
Коэффициент Пуассона	0,23
Твердость по Моосу	4,5
Водопоглощение	0,16—0,38
Истощаемость, г/см ²	0,32—0,91

По огнеупорности (1280°C) породы относятся к легкоплавким. Коэффициент испучивания их колеблется от 2,5 до 10. Химический состав шунгитосодержащих пород приведен в табл. 4.9.

Таблица 4.9. Средний химический состав пород Нигозерского месторождения, %

Порода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO + Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ППП
Среднезернистый	50,52	16,47	16,34	1,96	2,35	3,58	1,51	2,53	4,77
Среднезернистый	49,76	15,74	17,65	2,04	2,66	3,96	1,04	2,54	4,47
Крупнозернистый	49,45	14,61	17,34	2,07	2,99	4,58	0,72	2,77	5,23

Породы Нигозерского месторождения по содержанию основных оксидов приближаются к вспучивающемуся глинистому сырью, заметно отличающемся от него повышенным содержанием закисного железа. Они состоят из следующих минералов, %: железистого хлорита (27—40), плагиоклаза (10—33), кварца (10—20), гидрослюда (5—10), магнетита, органической составляющей (в сумме 8—14) и незначительного количества кальцита (до 2—4) [11].

Сырье для производства шунгизита должно соответствовать требованиям ГОСТ 19221—83.

Технологическая схема производства шунгизитовых гравия и песка

Производство шунгизита осуществляется в следующей последовательности.

Фракционированное сырье с Кондопожского шунгитового завода поставляют на заводы-потребители и хранят отдельно по фракциям на открытых складах, откуда грейферным краном и затем скиповым подъемником транспортируют в питательный бункер обжиговой печи, вместимость которого рассчитана на 2—3-сменную работу печного отделения.

Из бункера материал дозирующим устройством, обеспечивающим равномерную подачу сырья, направляют в обжиговой агрегат. Обжиг щебня из шунгитосодержащих пород осуществляют пофракционно. В качестве обжигового агрегата используют одно- и двухбарабанные вращающиеся печи (табл. 4.10).

Таблица 4.10. Характеристика вращающихся печей и показатели свойств шунгизитового гравия

Тип и размеры печей	Производительность, м ³ /ч	Свойство шунгизитового гравия	
		насыпная плотность, кг/м ³	прочность, МПа
Однобарабанные 2,2×22 м	5	450	1—1,2
Однобарабанные 2,5×40 м	10	520	1,3—1,5
Двухбарабанные 2,5×20; 3,5×24 м	12,5	480	1,5—1,8

Узкий интервал вспучивания шунгитосодержащих пород усложняет обжиг сырья. Рекомендуется в зону обжига печей вводить специальные добавки — пиритные огарки, огнеупорную глину, молотый песок и др. в количестве 3—5% по массе загружаемого материала. Размер частиц опудривающей добавки не должен превышать 0,3 мм. Полученный шунгизит охлаждают в холодильнике до температуры не более 80°C, затем ленточным конвейером и ковшовым элеватором

транспортируют на рассев в гравьесортировку. Шунгизитовый гравий (фракции 20—10, 10—20 и 5—10 мм и отсеянный шунгизитовый песок (размер зрети менее 5 мм) ленточными конвейерами направляют в специально предназначенную для каждой из них силосную банку на хранение. Готовую продукцию отгружают заводам-потребителям [5, 6].

Технико-экономические показатели производства шунгизитового гравия

удельный расход:	0,44
сырья, м ³	80
удельного топлива, кг	12
электроэнергии, кВт/ч	16,43
себестоимость, руб/м ³	20
рентабельность к себестоимости, %	16,7
рентабельность к фондам, %	

Агрегат должен соответствовать требованиям ГОСТ 19345—83 «Гравий и песок шунгизитовые».

4.5. ГЛИНОЗОЛЬНЫЕ КЕРАМЗИТОВЫЕ ГРАВИЙ И ПЕСОК

Глинозольный керамзит — аналог керамзита, отличающийся тем, что его производят из двухкомпонентной шихты, содержащей глину и золу от 10 до 80% по массе.

Для производства глинозольного керамзита применяют золу, добываемую в золоотвалах от пылевидного сжигания торфа, бурого и каменных углей, и легкоплавкие глинистые породы [2].

Производство глинозольного керамзита включает следующие технологические переделы: введение добавок (жидких и твердых) в шихту; получение сырьевых гранул, их опудривание и обжиг.

Производство глинозольного керамзита может осуществляться на действующих керамзитовых предприятиях при различных методах изготовления шихты. С этой целью керамзитовые предприятия необходимо оборудовать: закрытым складом с отдельным хранением глины и золы, дозирующим устройством для золы, глины и добавок; механизмами для усреднения двухкомпонентной шихты [1].

Свойства глинозольного керамзита нормируются ГОСТ 9759—83 «Гравий и песок керамзитовые».

Химический состав исходных материалов

Ориентировочное содержание отдельных оксидов в глинозольной шихте должно находиться в пределах, %: SiO₂ — 40—60; Al₂O₃ — 15—25; Fe₂O₃+FeO — 7—15; CaO — 1—6; С — не более 10.

Корректирующие добавки в производстве глинозольного керамзита применяют для снижения или повышения плотности и прочности, увеличения огнеупорности, жаростойкости, стойкости заполнителя к агрессивным средам, а также для регулирования реологических свойств шихты — пластичности, пластической прочности, вязкости, адгезии и т. п.

Корректирующие добавки вводят в шихту или наносят на поверхность сформованных гранул.

В качестве корректирующих добавок применяют природные материалы и отходы промышленности (табл. 4.11).

Таблица 4.11. Классификация промышленных отходов по химическому составу

Группа	Промышленные отходы	Доминирующие компоненты, %			ППП
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃ + +FeO	CaO	
Силикатные	Вскрышные глинистые породы	65—75	—	—	—
	Зола, шлак ТЭС	40—50	—	—	—
	Отходы от добычи и обогащения углей	60—80	—	—	—
	Металлургические шлаки	40—50	—	—	—
	Стеклобой	40—60	—	—	—
	Каолиновый продукт	50—70	—	—	—
	Пыль цементная	40—60	—	—	—
	Пыль шамотная	50—60	—	—	—
	Силикагель	60—80	—	—	—
	Кварцевые хвосты	70—80	—	—	—
Железистые	Формовочная земля	60—80	—	—	—
	Керамзитовая пыль	50—70	—	—	—
	Пиритные огарки	—	60—75	—	—
	Красный шлам	—	50—70	—	—
Кальциевые	Пыль шлифования	—	80—95	—	—
	Известняковая мука	—	—	70—80	—
Органические	Доломитовая мука	—	—	40—55	—
	Сланцевая зола	—	—	50—70	—
	СКОП	—	—	—	50—75
	СДБ	—	—	—	80—90
	Опилки	—	—	—	70—85

Технические требования к исходным сырьевым материалам

Зола ТЭС должна удовлетворять следующим требованиям:

размер шлаковых включений не более 10 мм;

дисперсность не менее 1000 см²/г;

содержание углерода и окиси кальция не более 20%;

влажность — не более 30%. В случае содержания избыточной влаги рекомендуется золу выдерживать в закрытом помещении.

Глинистое сырье должно иметь число пластичности выше 15, а глинозольная шихта — выше 7. Влажность глинозольной массы должна соответствовать формовочной влажности (18—28%). Глино-

зольная шихта должна содержать включений углерода не более 10%. Температура обжига глинозольных сырьевых гранул не должна превышать 1250°C, а интервал вспучивания — не менее 30 град.

Для производства глинозольного керамзита низких марок по максимальной плотности (до 500) используют золы ТЭС дисперсностью от 1000 до 3000 см²/г с содержанием оксидов железа в пределах 10—20%, глинозольного керамзита повышенной прочности — золы ТЭС дисперсностью выше 3000 см²/г, содержащие Al₂O₃ более 20% и углерода не более 5%. С целью увеличения интервала вспучивания используют тугоплавкие золы ТЭС с плавкостью выше 1370°C.

Для жаростойкого глинозольного керамзита используют тугоплавкие золы ТЭС с содержанием Al₂O₃ более 25%.

Для кислотостойкого керамзита используют золу ТЭС, содержащую мушлит.

Для щелочестойкого керамзита зола ТЭС должна содержать силикатной стекловидной фазы не более 40%.

Методы испытаний

Лабораторно-технологические испытания производят для определения свойств исходных сырьевых материалов и оптимального состава шихты в соответствии с «Указаниями по испытанию зол тепловых электростанций и глинистого сырья для производства глинозольного керамзита», Куйбышев, НИИКерамзит, 1974.

Физико-химические процессы вспучивания глинозольных гранул

Зола в отличие от пластичного глинистого сырья представляет собой обожженный дегидратированный материал, содержащий стекловидную и кристаллические фазы.

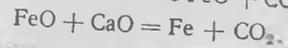
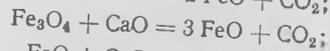
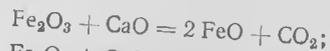
Образование глинозольного керамзита связано с процессом вспучивания при одновременном накоплении оптимального объема жидкой (интерпластической) фазы и интенсивного выделения газов внутри гранул.

Газообразные продукты выделяются за счет термохимических взаимодействий отдельных материалов глинистого и зольного составов.

При обжиге сырьевых гранул выше 1000°C появляется жидкая фаза, объем которой увеличивается по мере увеличения скорости химических реакций и образования эвтектических смесей.

Углерод коксовых и полукоксовых частиц золы вступает в реакцию с парами воды $C + H_2O = CO + H_2$ и оксидами железа $C +$

$+Fe_2O_3 = 2FeO + CaO$, образуя оксид углерода, реагирующий с оксидом железа;



В свою очередь диоксид углерода реагирует с углеродом золы $CO_2 + C = 2CO$ с выделением газообразных продуктов.

Химические процессы на поверхности сырцовых гранул завершаются образованием плотной корочки. Формирование пористой структуры зависит от состояния вязкости пиропластической фазы, парциального давления газообразных продуктов и способности поверхностной корочки выдерживать давление и препятствовать миграции газов.

Технология производства глинозольного керамзита

Золу ТЭС, не содержащую шлаковых включений, из золоотвала без предварительной подготовки доставляют в закрытый склад сырья. Эксплуатация золоотвала осуществляется в соответствии с «Указаниями по технологии добычи золы из золоотвалов ТЭС для производства глинозольного керамзита» (Куйбышев, НИИКерамзит, 1976).

Дозирование компонентов производят отдельными питателями. При содержании золы в шихте более 40% дозировать рекомендуется ящичным питателем.

Физико-технические свойства глинозольных керамзитовых гравия и песка

Физико-технические свойства глинозольного керамзита (гравия и песка) при использовании местных зол ТЭС и глинистого сырья должны соответствовать требованиям действующего стандарта на гравий и песок керамзитовые.

С повышением количества золы в составе шихты увеличивается насыпная плотность и соответственно прочность глинозольного керамзита.

Глинозольный керамзитовый гравий и песок пригодны в качестве пористого заполнителя для легких бетонов классов от В 3,5 до В 30. В зависимости от области применения глинозольный керамзит можно выпускать легкой, сверхпрочной, жаростойкой и стойкой к агрессивным средам.

4.6. БЕЗОБЖИГОВЫЙ ЗОЛЬНЫЙ ГРАВИЙ

Безобжиговый зольный гравий (БЗГ) — затвердевшие гранулы шарообразной формы, полученные путем грануляции увлажненной смеси сухой золы от сжигания бурых и каменных углей и антрацита вяжущего с последующей термообработкой.

Для производства БЗГ возможно использовать золы ТЭС с содержанием углерода до 25% и свободной CaO до 5—10%.

Для производства БЗГ могут быть использованы золы ТЭС сухого отбора (из-под электрофильтров или мультициклонов), а также высушенная гидроудаленная отвальная зола (золшлаковая смесь) от сжигания бурых и каменных углей и антрацита Донецкого, Кузнецкого, Экибастузского, Канско-Ачинского, Подмоскownого, Черемховского и других угольных бассейнов. Зола должна отвечать следующим требованиям. Содержание остаточного углерода не более 25% для зол от сжигания каменных углей и антрацита и не более 5% для зол от сжигания бурых углей; содержание свободной окиси кальция — не более 10%; содержание сульфидной серы — не более 1%; общее содержание серы в пересчете на SO_3 — не более 5%.

Влажность золы или золошлаковой смеси, поставляемой из отвалов на склад цеха по производству БЗГ, не должна превышать 3%. Первоначальная дисперсность золы от электрофильтров или мультициклонов, а также отвальной золы не регламентируется. В составе отвальной золошлаковой смеси содержание частиц размером более 1 мм не должно превышать 10% по массе.

В качестве вяжущего при производстве БЗГ могут быть использованы портландцемент марки 400 и 500, соответствующий ГОСТ 10178—76 (с изм.) гипсоцементно пуццолановое вяжущее (ГЦПВ) и строительная известь — пушонка. В зависимости от вида применяемого вяжущего твердение сырцовых зольных гранул проводится в пропарочных камерах или автоклавах.

В настоящее время производство БЗГ организовано только на основе портландцемента. С целью повышения прочности гранул в начальные сроки и ускорения твердения при тепловлажностной обработке применяют добавки — ускорители твердения типа сернистого натрия Na_2SO_4 (ГОСТ 4166—76, с изм.), нитрит-нитратхлорид кальция и других солей неорганических кислот.

Технические требования к сырьевым материалам и методы их испытаний регламентируются соответствующими ГОСТами и ТУ.

Возможность использования золы от сжигания твердого топлива в производстве БЗГ обусловлена наличием в ее составе метакремниста и алюмосиликатных минералов, которые придают ей различную активность при твердении. Твердение гранул БЗГ происходит за счет введения 10—20% портландцемента. Портландцемент опре-

деляет прочность гранул не только за счет собственного его твердения, но и оказывает активирующее действие и стимулирует проявление вяжущих свойств золы и шлака.

В процессе термообработки происходит активизация алюмосиликатных компонентов золы и их химическое взаимодействие с гидроксидом кальция с образованием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция переменной состава, а также гидросульфатоалюминатов кальция трехсульфатной и моносulfатной формы.

Производство БЗГ осуществляют в следующей последовательности. Сырьевую смесь подвергают помолу, а затем, после увлажнения, грануляции в тарельчатых или барабанных грануляторах сырьевые гранулы проходят термическую (подогрев с частичной подсушкой) и термовлажностную обработку. При необходимости в смесь вводят добавки — ускорители твердения. Характер грануляции связан с гранулометрическим составом смеси: гранулируемость смеси и характеристики сырьевых гранул оптимальны при наличии в смеси до 30% частиц размером менее 20 мкм.

Технологическая схема производства БЗГ состоит из следующих разделов: подготовка и помол сырьевой смеси, приготовление добавок — ускорителей твердения, равномерное увлажнение сырьевой смеси, грануляция, подогрев сырьевых гранул с их частичной подсушкой, термовлажностная обработка, рассев затвердевших гранул на фракции.

Физико-механические характеристики БЗГ определяют в возрасте 28 сут нормального хранения и должны соответствовать следующим показателям:

Насыпная плотность, кг/м ³	700—1000
Объем межзерновых пустот, %	32—45
Плотность, г/см ³	2,3—2,8
Истинная плотность зерен, г/см ³	1,3—1,8
Водопоглощение, %	17—25
Прочность при сжатии, МПа	3—6
Коэффициент размягчения	0,8—1
Потери массы при кипячении, %	0
Стойкость против силикатного распада, %	0
Морозостойкость — потеря в массе после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания, %	0,5—10

Технические требования к БЗГ: зерна БЗГ должны иметь окатанную округлую форму. Среднее значение коэффициента формы зерен гравия (отношение наибольшего размера к наименьшему) должно быть не более 1,5.

Насыпная плотность, кг/м ³	600—700	700—800	800—900	900—1000
Марка	700	800	900	1000

В зависимости от насыпной плотности БЗГ подразделяют на марки:

Область применения: БЗГ используется в качестве крупного заполнителя для бетонов классов В15 — В30 со средней плотностью 1700—2000 кг/м³. Бетоны на БЗГ могут готовиться в бетононасосах любых конструкций. Бетонные и железобетонные конструкции на БЗГ изготавливают по общепринятой технологии. Перед термообработкой изделия выдерживают в течение 2 ч. Продолжительность изотермического прогрева при термообработке не должна быть менее 8 ч. Рекомендуется проводить изотермический прогрев при температуре 85—90°С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Глинозольный керамзит на основе золы тепловых электростанций / Билибин А. Г. М., Антоненко Л. Д., Гостева В. А. // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей: Обзор, информ. / ВНИИЭСМ. — М., 1981. — 52 с.
- 2 Использование золы ТЭС для производства керамзита и повышения его прочности / Бигильдева Г. М. // Использование отходов и попутных продуктов для изготовления строительных материалов, изделий и конструкций: Реф. информ. / ВНИИЭСМ. — М., 1972. — Вып. 3. — С. 12—15.
- 3 Очацкий С. П. Производство керамзита. — М.: Стройиздат, 1971. — 311 с.
- 4 Очацкий С. П., Рязанцев А. Н., Титовская В. Т., Дизенгоф Г. И. и Пильчева С. И. Рациональная технология производства шунгизита // Тр. ВНИИЭСМ. — 1973. — Вып. 25(53). — С. 75—84.
- 5 Особенности технологии производства пористого заполнителя из шунгизитовых сланцевых пород / Очацкий С. П., Титовская В. Т., Дизенгоф Г. И., Пильчева С. И. // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей: Реф. информ. / ВНИИЭСМ. — М., 1973. — Вып. 1. — С. 12—17.
- 6 Резников Ю. К., Шубенкин П. Ф., Ершов К. В. Шунгизит и шунгизитобетон. — М.: Стройиздат, 1974. — 118 с.
- 7 Френкель Я. И. Вязкое течение в кристаллических телах // Ж. Эксперим. техн. физики. — 1946. — Т. 16, вып. 1.
- 8 Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. — М., 1945. — 350 с.
- 9 Черняк Я. Н. Некоторые вопросы теории процесса вспучивания легкоплавких глин и пеностекла // Тр. НИИстройкерамики. — 1958. — Вып. 13. — С. 130—154.
- 10 Черняк Я. Н. Некоторые вопросы теории процесса вспучивания легкоплавких глин и пеностекла. Сообщение 2-е // Тр. НИИстройкерамики. — 1959. — Вып. 14. — С. 46—53.
- 11 Шунгизиты Карелии и пути их комплексного использования / Под ред. А. Соколова и Ю. К. Калинин. — Петрозаводск: Карелия, 1975. — 240 с.

ГЛАВА 5. ПРОИЗВОДСТВО АГЛОПОРИТОВЫХ ЩЕБНЯ, ГРАВИЯ И ПЕСКА ИЗ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД, ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ И ЗОЛЫ ТЭС

5.1. СВОЙСТВА АГЛОПОРИТОВЫХ ЩЕБНЯ, ГРАВИЯ И ПЕСКА

Основными техническими свойствами, характеризующими аглопоритовые щебень, гравий и песок, являются плотность зерен заполнителя, насыпная плотность и межзерновая пустотность, зерновой состав, прочность и стойкость щебня, гравия и песка.

Плотность аглопоритовых щебня, гравия и песка зависит от пористости самих зерен (гранул) и их крупности. При этом с увеличением крупности зерен (гранул) наблюдается снижение плотности щебня и гравия и увеличение их межзерновой пустотности.

Прочность аглопоритовых щебня и гравия колеблется в значительных пределах и в основном зависит от крупности зерен (гранул), их пористости и наличия микродефектов.

При производстве аглопоритового щебня годный продукт получают в результате дробления спекшегося бруса, и выход фракций щебня и песка находится в прямой зависимости от структуры аглопорита, его пористости и прочности, а также от типа оборудования, применяемого для охлаждения и дробления.

При производстве аглопоритового гравия зерновой состав заполнителя в основном зависит от зернового состава сырцовых гранул, полученных при окомковании шихты на тарельчатом грануляторе.

5.2. ТРЕБОВАНИЯ К АГЛОПОРИТОВЫМ ЩЕБНЮ, ГРАВИЮ И ПЕСКУ

Показатели насыпной плотности для каждой марки щебня, гравия и песка должны соответствовать требованиям табл. 5.1.

Таблица 5.1. Требования к аглопоритовым щебню, гравию и песку по насыпной плотности

Марка щебня, гравия по плотности	Марка песка по плотности	Допустимая насыпная плотность, кг/м ³
400	—	До 400
500	—	Св. 400 до 500
600	600	» 500 » 600
700	700	» 600 » 700
800	800	» 700 » 800
900	900	» 800 » 900
—	1000	» 900 » 1000
—	1100	» 1000 » 1100

Щебень и гравий аглопоритовые в зависимости от прочности подразделяют на марки. Показатели прочности для соответствующих марок приведены в табл. 5.2.

Потеря массы пробы щебня при прокаливании не должна быть более 3%, а гравия и песка не более 5%.

Аглопоритовые щебень и гравий должны выдерживать не менее 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания с потерей массы не более 3%. Потеря массы пробы щебня и гравия после определения его стойкости против силикатного и железистого распада соответственно не должна превышать 8 и 5%. Потеря массы пробы при определении содержания слабообожженных зерен испытанием в

Таблица 5.2. Требования к аглопоритовым щебню и гравию по прочности
ГОСТ 9757—83, ТУ 21-31-13-76)

Марка щебня и гравия по прочности	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа*	
	щебня	гравия
П 25	0,30—0,39	—
П 35	0,40—0,49	—
П 50	0,50—0,59	1—1,29
П 75	0,60—0,69	1,3—1,49
П 100	0,70—0,79	1,5—1,79
П 125	0,80—0,89	1,8—1,99
П 150	0,90—0,99	2—2,49
П 200	1,00—1,19	2,5—2,99
П 250	1,20—1,39	3—3,49
П 300	1,40—1,6	—
П 350	Св. 1,6	—

* Прочность песка не нормируется.

растворе сернистого натрия после трех циклов испытания не должна быть более 5%. Коэффициент размягчения щебня и гравия не должен превышать 0,7. Содержание водорастворимых и сернистых соединений в пересчете на SO₃ не должно превышать 1% по массе.

Технические требования к аглопоритовым щебню, гравию и песку приведены в ГОСТ 9757—83 «Заполнители пористые неорганические для легких бетонов. Общие технические условия», ГОСТ 25137—82 «Материалы нерудные, строительные, щебень и песок плотные из отходов промышленности, заполнители для бетона пористые. Классификация», ГОСТ 11991—83 «Щебень и песок аглопоритовые. Технические условия» и ТУ 21—31—13—76 «Аглопоритовый гравий из шлака тепловых электростанций (ТЭС). Технические условия»; методика испытаний — в ГОСТ 9758—77 «Заполнители пористые неорганические для бетона. Методы испытаний».

5.3. СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОПОРИТОВЫХ ЩЕБНЯ И ГРАВИЯ

Сырьем являются глинистые и песчано-глинистые породы, а также отходы от добычи, обогащения и сжигания твердого топлива (табл. 5.3).

На глинистых породах в первую очередь целесообразно применять вспучивающиеся и слабовспучивающиеся легкоплавкие глины и шуглины с огнеупорностью от 1150 до 1250°C и спекаемостью до 5%.

На топливосодержащих отходах промышленности в первую очередь следует использовать отходы углеобогащения и золы ТЭС средней плавкости и тугоплавкие с интервалом размягчения более 100°C.

Удельная поверхность зол ТЭС должна быть не менее 2000 см²/г.

Таблица 5.3. Химический состав глинистых пород и шлава аглопоритовых щебня и гравия

топливосодержащих отходов промышленности, пригодных для производ-

Исходное сырье	Заполнитель	Область применения	Содержание основных оксидов, %				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+MgO	SO ₃
Глинистая порода	Щебень	Конструктивно-тепло-изоляционные и конструкционные легкие бетоны	55—65	8—20	8	20	3
Отходы углеобогащения	>	То же	45—65	13—35	15	12	3
Зола ТЭС	>	>	45—65	15—35	25	12	3
	>	>	43—65	15—35	18	12	3
	Гравий	Конструкционные и высокопрочные легкие бетоны	50—65	20—35	10	3	1

ствятков на сите с сеткой № 008 не более 40%), а число пластичности отходов углеобогащения крупностью до 0,3 мм должно составлять 5 и более.

При использовании топливосодержащих отходов промышленности в зависимости от характеристик плавкости сырья содержание остатков топлива в нем должно быть, %: для легкоплавкого сырья — до 10, для сырья средней плавкости — до 12 и для тугоплавкого сырья — до 15.

5.4. ИСПЫТАНИЯ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОПОРИТОВЫХ ЩЕБНЯ И ГРАВИЯ

Испытания проводят в соответствии с «Указаниями по испытанию сырья для производства аглопорита» (У-03-63) и «Указаниями по испытанию золы ТЭС для производства аглопоритового гравия» (М., 1970).

Определение химического состава и физико-механических свойств исходного сырья

Химический состав определяют:

глинистых пород — по ГОСТ 2642.0—81 (с изм.)—ГОСТ 2642.4—81 (с изм.);

пород от добычи и обогащения угля и золы ТЭС — по ГОСТ 10538.0—72—10538.8—72.

Содержание углерода в топливосодержащих отходах — по ГОСТ 6380—81.

Число пластичности глинистых пород и отходов углеобогащения — по ГОСТ 21216.10—81.

Зерновой состав и влажность отходов углеобогащения — по ГОСТ 9758—77.

Дисперсность золы ТЭС оценивают по ее зерновому составу и удельной поверхности. Зерновой состав золы определяют путем распыла на ситах с размерами ячеек в свету — 0,2 мм и 0,08 мм и оценивают по величине остатка на сите 0,08 мм.

Определение удельной поверхности рекомендуется проводить на приборе ПСХ-4 в соответствии с методикой, разработанной для этого прибора.

Плавкость топливосодержащих отходов определяют по ГОСТ 1057—82. По этому ГОСТу плавкость сырья определяется двумя методами: микроскопическо-фотографическим или прямым визуальным.

Микроскопическо-фотографический метод основан на нагревании

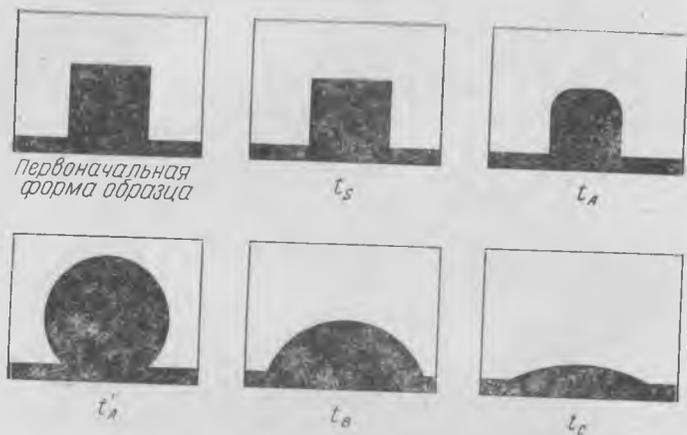


Рис. 5.1. Изменение формы образца при нагревании

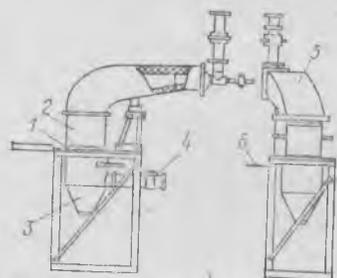


Рис. 5.2. Универсальная лабораторная агломерационная установка

1 — колосниковая решетка; 2 — обжигочная чаша; 3 — вакуум-камера; 4 — регулировочный вентиль; 5 — газовый горн; 6 — термопара ХК

в определенной атмосфере образца золы и определения температуры, соответствующей характерным изменениям вида и формы образца, наблюдаемым или фотографируемым на координатную сетку с помощью микроскопа.

При испытании определяют температуру спекания, при которой в результате реакции отдельные частицы образца золы спекаются по контуру t_5 ;

температуру начала деформации, при которой наблюдается первый признак размягчения образца золы t_A . Это устанавливают по изменению поверхности, закруглению кромок или по началу вспучивания образца;

температуру плавления, при которой образец оплавляється, образуя полусферу t_B ;

температуру жидкоплавкого состояния, при которой образец золы растекается t_C (рис. 5.1).

При оценке характеристик плавкости топливосодержащих отходов с целью определения их пригодности для производства аглопоритовых гравия и щебня, помимо установления принятых по ГОСТ

2057-82 температур, следует фиксировать также температуру максимального вспучивания образца золы. Интервал между температурами спекания и вспучивания позволяет ориентировочно оценить температуру, при которой следует вести процесс спекания и обжига шихты и сырцовых гранул.

Аппаратура для проведения технологических испытаний сырья

Смешивание составляющих шихты и ее увлажнение производят в лабораторной мешалке принудительного действия.

Окомкование шихты осуществляют в лабораторном тарельчатом или барабанном грануляторе. Диаметр тарельчатого гранулятора — не менее 0,7 м при высоте борта 0,15 м; угол наклона тарели от 45 до 52°, а скорость вращения — 15—25 об/мин. Длина барабанного гранулятора — не менее 1,2 м при диаметре не менее 0,6 м. Угол наклона барабана до 6°, а скорость его вращения — 3—9 об/мин.

Спекание и обжиг проводят на лабораторной агломерационной установке (рис. 5.2), состоящей из чаши, горна для зажигания, колосниковой решетки, вакуум-камеры, системы труб для отсоса газов и воздухоудовного устройства.

Замер температуры отходящих газов, разрежения под колосниковой решёткой и количества отсасываемого газа производят техническим термометром, U-образным вакуумметром, измерительной диафрагмой и микроманометром.

Для регулирования количества воздуха, просасываемого сквозь шихту, в трубопровод врезано дроссельное устройство.

Характеристика рекомендуемых приборов и приспособлений лабораторной агломерационной установки:

Чаша агломерационная	высота 330 мм, площадь спекания не менее 300 см ²
Решетка колосниковая	живое сечение решетки не менее 14%
Воздухоудовное устройство	создаваемое разрежение не менее 4000 Па, производительность 1—1,1 м ³ /с на 1 м ² площади спекания
Термометр технический	шкала до 400°С
Вакуумметр U-образный	шкала до 5000 Па
Диафрагма двойная	размеры определяют расчетом
Микроманометр	многопредельный типа ММН

Допускается использование лабораторной агломерационной установки иной конструкции, при работе которой обеспечивается требуемое разрежение, а масса загружаемой шихты (гранул) составляет не менее 4 кг.

Подготовка сырьевых материалов к спеканию

Глинистые породы и отходы углеобогащения. Влажное сырье предварительно подсушивают, а затем подвергают дроблению: гли-

нистое сырье до крупности 5 мм, отходы углеобогащения — до 2,5 мм. В тех случаях, когда в шихту вводят добавки, их предельная крупность не должна превышать: для угля и глинистой породы — 3 мм, для возврата* — 5 мм и для опилок — 10 мм.

Смешение и увлажнение шихты производят в лабораторной мешалке принудительного действия в следующем порядке: смешивают сухие составляющие шихты, отдозированные по массе, затем, не прекращая перемешивания, добавляют воду. Продолжительность перемешивания зависит от пластичности сырья и составляет от 4 до 8 мин. После перемешивания шихту подвергают окомкованию (грануляции) в лабораторном барабанном или тарельчатом грануляторе. Продолжительность грануляции составляет от 6 до 8 мин. По окончании перемешивания и грануляции определяют влажность и насыпную плотность шихты. Оптимальную влажность шихты устанавливают методом «наименьшей насыпной плотности» (путем установления ее насыпной плотности при различной влажности). При первом увлажнении количество воды принимают 5% по массе пробы; при последующих увлажнении количество воды увеличивают каждый раз на 2%. Шихту после каждого увлажнения тщательно перемешивают и гранулируют, а затем определяют ее насыпную плотность.

Для определения насыпной плотности шихту засыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндрический сосуд объемом 2 л до образования над верхом сосуда конуса, который затем снимают (срезают) металлической линейкой и сосуд с шихтой взвешивают. Насыпную плотность шихты, кг/м³, вычисляют с точностью до 1 кг/м³ по формуле

$$\gamma_{\text{ш}} = [(g_2 - g_1)/V] 1000, \quad (5.1)$$

где g_1 — масса мерного сосуда, кг; g_2 — масса мерного сосуда с шихтой, кг; V — объем мерного сосуда, л.

Насыпную плотность определяют 3 раза, смешивая каждый раз испытанную пробу с остатком шихты, и вычисляют ее как среднее арифметическое из результатов трех определений. Оптимальная влажность соответствует наименьшей насыпной плотности шихты.

Зола ТЭС. Из отобранной для испытания пробы берут 2—3 кг зола, увлажняют ее и перемешивают.

Гранулируемость золы (способность ее к окомкованию) оценивают по выходу фракции 10—20 мм, % от общего объема полученных в процессе окомкования гранул. Для определения гранулируемости проводят серию опытов. Количество вводимой в золу воды зависит от ее дисперсности и в первом опыте принимают, % по массе сухой золы: при удельной поверхности золы от 2000 до 2500 см²/г — 25; при удельной поверхности от 2500 до 3000 см²/г — 30; при удельной поверхности свыше 3000 см²/г — 35.

Увлажненную пробу золы подают на тарельчатый гранулятор и окомковывают в течение 6—8 мин. По окончании грануляции производят рассев полученных сырцовых гранул. При проведении последующих опытов уменьшают или увеличивают количество воды до достижения оптимальной влажности гранул. Интервал изменения влажности гранулируемой золы принимают равным 2%. Оптимальной считают влажность, при которой получен наибольший выход сырцовых гранул фракции 10—20 мм. Гранулируемость золы удовлетворительная, если выход гранул фракции 10—20 мм составляет не менее 60% общего объема полученных гранул.

Учитывая, что в производстве аглопоритового гравия полученные сырцовые гранулы подвергаются нагрузкам, возникающим при их транспортировании и укладке на агломерационную машину, а также термическим напряжениям, связанным с их сушкой и подогревом, необходимо помимо зернового состава определять прочностные характеристики и температуростойкость сырцовых гранул. Определение прочностных характеристик сырцовых гранул включает в себя оценку их прочности при сжатии и при ударе. Прочность сырцовых гранул при сжатии определяют путем приложения статической нагрузки. За предел прочности сырцовых гранул при сжатии принимают нагрузку, при которой на грануле появляется первая трещина (рис. 5.3).

Прочность сырцовых гранул при ударе оценивают по двум показателям: количеству сбрасываний с высоты 300 мм на металлическую плиту и предельной высоте (начиная с 300 мм) падения, которые сырцовая гранула выдерживает без разрушения. Признаком разрушения в обоих случаях является момент появления первой трещины (рис. 5.4).

Для проведения испытаний на прочность отбирают по 10 гранул диаметром 14—16 мм на каждый вид определения.

Сырцовые гранулы, пригодные для производства аглопоритового гравия, должны отвечать следующим требованиям:
прочность при сжатии — не менее 5 Н;

максимальная высота сбрасывания — не менее 500 мм;
количество сбрасываний с высоты 300 мм — не менее 4 раз.

О температуростойкости — способности сырцовых гранул выдерживать без разрушения действие высоких температур — судят по температуре «теплого удара» и прочности сухих гранул при сжатии. Температуру «теплого удара» устанавливают по появлению на гранулах трещин или отколов. Для определения температуры «теплого удара» рекомендуется использовать вертикальную электрическую силитовую печь мощностью до 5 кВт, обеспечивающую понижение температуры до 1450°C. Определение температуростойкости проводят следующим образом: четыре — пять гранул диаметром

* Возврат — плохо обожженные зерна шихты.

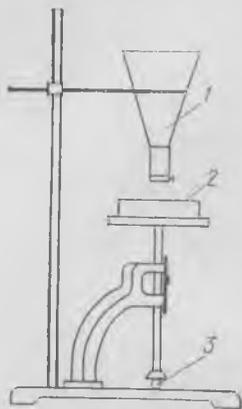
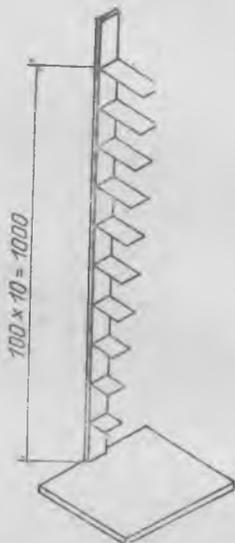


Рис. 5.3. Схема прибора для определения прочности сырьевых гранул на раздавливание
1 — воронка с дробью; 2 — площадка для груза; 3 — гранула

Рис. 5.4. Схема прибора для определения предельной высоты падения и количества сбрасываний сырьевых гранул



14—16 мм укладывают в корзинку из нихрома и опускают в печь, разогретую до заданной температуры. Продолжительность пребывания гранул в печи — 3 мин. Опыты проводят при температурах в печи от 200°C с интервалом 50°C. При этом для каждой заданной температуры берут новые гранулы (4—5 шт.). Прочность сухих гранул при сжатии определяют так же, как и прочность влажных сырьевых гранул. Температуростойкость зольных гранул, обеспечивающая их сохранность при термической обработке, должна характеризоваться следующими показателями: температура «теплого удара» — не менее 250°C; прочность сухой гранулы при сжатии — не менее 3 Н.

Если в результате определения гранулируемости, прочности и температуростойкости сырьевых зольных гранул получены показатели, меньшие рекомендуемых, проводят дополнительные испытания с введением в шихту добавок (глины, суглинки, раствор сульфитно-дрожжевой бражки, отходы целлюлозно-бумажного производства), улучшающих гранулируемость и повышающих прочность и температуростойкость сырьевых гранул. Вид и количество добавки устанавливают опытным путем; при этом рекомендуется вводить следующие количества добавок, % сухого вещества по массе сухой золы: глина

и суглинок (в виде порошка или шликера) — от 3 до 10; сульфитно-дрожжевая бражка — от 0,5 до 1,5; отходы целлюлозно-бумажной промышленности (скоп, избыточный активный ил, шлам-лигнин, шлам зеленого шелока) — от 5 до 20.

Кроме того, устанавливают оптимальную температуру обжига сырьевых зольных гранул. Для этого шесть гранул диаметром 14—16 мм укладывают в корзинку из нихрома — три гранулы вплотную друг к другу для определения температуры контактного спекания; три другие — отдельно друг от друга для установления их прочности. Корзинку с гранулами вводят в разогретую до заданной температуры печь и выдерживают в течение 5 мин, затем вынимают и охлаждают до комнатной температуры. Обжиги проводят при температурах от 1100°C с интервалом в 50°C до температуры, при которой начинается контактное спекание гранул между собой. После каждого обжига визуально отмечают наличие и степень оплавления, а также контактное спекание гранул. Гранулы, уложенные отдельно друг от друга, испытывают на прочность.

За оптимальную температуру обжига принимают температуру, при которой получены несспекшиеся между собой гранулы наибольшей прочности. В зависимости от полученных данных устанавливают количество твердого топлива в сырьевых зольных гранулах, используемых в первой серии опытных спеканий, %: при оптимальной температуре обжига 1200°C — 7, 1250°C — 10 и 1350°C — 12.

Спекание шихты и сырьевых гранул

Лабораторные спекания проводят в следующей последовательности. Вначале в агломерационную чашу загружают подстилающий слой (аглопоритовый щебень или гравий крупностью 10—20 мм). Затем в чашу загружают шихту (гранулы) высотой слоя 200 мм. Из остатка шихты (гранул) отбирают пробу для контрольного определения влажности и потери массы при прокаливании.

Зажигание поверхностного слоя шихты (гранул) производят при помощи горна, работающего на газообразном или жидком топливе.

В период спекания фиксируют: температуру сушки и зажигания верхнего слоя шихты (гранул), разрежение под колосниковой решеткой и температуру отходящих газов. За продолжительность спекания принимают время от начала зажигания шихты (гранул) до момента, когда температура отходящих газов достигнет наибольшей величины. По окончании опыта определяют: массу спекшегося аглопорита, вертикальную скорость спекания, удельную производительность установки, а также насыпную плотность и прочность полученного заполнителя.

Вертикальную скорость процесса C_v определяют по формуле, мм/мин

$$C_v = h/t, \quad (5.2)$$

где h — высота слоя, мм; t — продолжительность процесса, мин.

Удельную производительность агломерационной установки Q , м³/(м²·ч) определяют по формуле

$$Q = 0,06 C_v K, \quad (5.3)$$

где K — выход аглопорита, вычисляемый по формуле

$$K = (P_a \gamma_{ш}) / (P_{ш} \gamma_a), \quad (5.4)$$

где P_a — масса спекшегося образца, г; $\gamma_{ш}$ — насыпная плотность шихты (гранул), г/л; $P_{ш}$ — масса шихты (гранул), загруженной в спекательную чашу, г; γ_a — насыпная плотность щебня или гравия, г/л.

При получении аглопоритового гравия определяют также массу хорошо обожженных, но не спекшихся между собой гранул. Выход аглопоритового гравия, A , %, подсчитывают по формуле

$$A = (P_r/P_a) 100, \quad (5.5)$$

где P_r — масса полученного аглопоритового гравия, г; P_a — общая масса годного продукта, г.

Насыпную плотность полученных щебня и гравия, а также их прочность определяют по ГОСТ 9758—77 «Заполнители пористые неорганические для бетона. Методы испытаний».

В результате опытных спеканий устанавливают следующие параметры процесса получения аглопоритовых щебня и гравия: температуру и продолжительность сушки сырьевых гранул; температуру и продолжительность зажигания верхнего слоя шихты, разрежение под колосниковой решеткой в период зажигания и спекания шихты; оптимальное содержание топлива и добавок, а также высоту слоя шихты. Оптимальные значения технологических параметров определяют путем проведения нескольких серий опытных спеканий. В каждой серии определяют один из указанных выше параметров, а остальные поддерживают на постоянном уровне. При этом исходные значения исследуемых параметров и диапазон их изменения принимают по табл. 5.4. По результатам каждой серии опытов строят графики зависимости основных показателей процесса и качества готового продукта от исследуемого в данной серии параметра. Оптимальное значение исследуемого параметра соответствует наиболее высоким показателям вертикальной скорости спекания, удельной производительности, выхода аглопоритового гравия (в случае испытания золы для его производства), а также насыпной плотности и прочности готового продукта. Если по результатам спекания (обжига) не установлено оптимальное значение исследуемого параметра (отсутствует максимум на кривых), проводят дополнительные опыты, изме-

Таблица 5.4. Основные технологические параметры получения аглопоритовых щебня и гравия из глинистых пород, отходов углеобогащения и зол ТЭС

Исследуемый параметр	глинистых пород		отходов углеобогащения		золы ТЭС	
	рекомендуемые значения	диапазон	рекомендуемые значения	диапазон	рекомендуемые значения	диапазон
	рекомендуемые значения	диапазон	рекомендуемые значения	диапазон	рекомендуемые значения	диапазон
Состав шихты, % по массе:						
топливо	10	±2	7 12	Легкоплавких ±2 Средней плавкости ±2 Тугоплавких	7 10	±2 ±2
добавки: [*] глинистая порода волаkrat	10	±5	15 10 10	±2 ±5 ±5	12 10 10	±2 ±3 ±3
Параметры сушки гранул: температура, °С	—	—	—	—	По температура- устойчивости гранул	—25
—	—	—	—	—	5 500	±2 ±200
продолжительность сушки, мин разрежение под колосниковой решеткой, Па	1000	±50	1000	±50	1100	±50
Параметры зажигания шихты (гранул): температура, °С	1000	±2	4	±2	7	±3
продолжительность, мин	1000	±200	1000	±200	750	±250
разрежение под колосниковой решеткой, Па	2000	±500	2000	±500	2000	±500
Разрежение под колосниковой решеткой в первый спекания и обжига, Па	200	±30	200	±30	250	±50
Высота слоя, мм	—	—	—	—	—	—

* В случае введения сульфитно-дрожжевой бражки и отходов целлюлозно-бумажной промышленности их количество принимают в соответствии с данными, приведенными в разд. 5.4

няя исследуемый параметр в направлении, повышающем показатели процесса.

Сырье считается пригодным для производства аглопоритового щебня (гравия), если в результате лабораторных испытаний получены показатели, приведенные в табл. 5.5.

Таблица 5.5. Показатели, характеризующие пригодность сырья для производства аглопоритового щебня (гравия)

Показатель	Щебень	Гравий
Вертикальная скорость спекания (обжига), мм/мин, не менее	5	10
Удельная производительность, м ³ /м ² ·ч, не менее	0,23	0,5
Выход аглопоритового гравия, %, не менее	—	60
Насыпная плотность, кг/м ³ , не более:		
щебня (гравия)	800	900
песка	1100	—
Прочность, МПа, не менее	0,3	1

Для уточнения состава шихты, режимов ее окомкования и термической обработки, а также оценки свойств заполнителя проводят испытания сырья в опытно-промышленных или промышленных условиях по специальной программе, учитывающей данные, полученные в лабораторных условиях, а также особенности технологической схемы предприятия, на котором осуществляют эти работы.

Составы легких бетонов из промышленной партии заполнителя подбирают по одному из расчетно-экспериментальных способов. Результаты лабораторных и промышленных испытаний служат основанием для выдачи задания на проектирование промышленного объекта.

5.5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОПОРИТОВЫХ ЩЕБНЯ, ГРАВИЯ И ПЕСКА

Принципиальная схема производства пористых заполнителей методом агломерации сводится к следующему.

При использовании глинистых пород последние смешивают с измененным топливом и добавками и увлажняют. При применении золы ТЭС и отходов углеобогащения в качестве технологического топлива используют содержащийся в них органический углерод.

Полученную смесь окомковывают (гранулируют). Затем шихту, состоящую из отдельных зерен (гранул), непрерывно подают на верхнюю рабочую ветвь ленточной агломерационной машины. На первом участке ленты зажигают топливо в верхнем слое шихты, после чего зона горения продвигается в толщу шихты за счет просасыва-

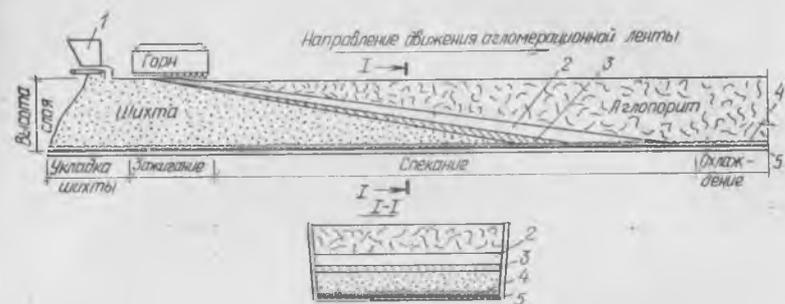


Рис. 5.5. Схема процесса спекания шихты на агломерационной машине

1 — укладчик шихты; 2 — зона спекания; 3 — зона подогрева; 4 — подстилающий слой; 5 — колосниковая решетка

ния через нее воздуха. В конце рабочей ветви машины получают готовый продукт.

Сущность процесса агломерации заключается в том, что топливо в спекаемой шихте горит в тонком горизонтальном слое. В результате этого воздух, поступающий в зону горения, нагревается верхними слоями спекающегося продукта и интенсифицирует процессы горения топлива шихты. Горячие же газы, выходящие из зоны горения, подсушивают и нагревают следующий за ним узкий слой шихты. После выгорания топлива зона горения перемещается в нижележащий слой шихты.

В период спекания на агломерационной машине можно выделить по высоте слоя шихты четыре характерных зоны: готового продукта, горения топлива, сушки и подогрева шихты и, наконец, сырой шихты (рис. 5.5). По мере продвижения зоны горения сверху вниз увеличивается зона готового продукта и уменьшается зона сырой шихты. На последней стадии процесса спекания слой состоит из двух зон — готового продукта и зоны горения топлива.

В течение всего процесса спекания температура отходящих газов не превышает 50°C и лишь в конце процесса, когда зона горения приближается к колосникам агломерационной машины, температура газов повышается в зависимости от сырья, метода его подготовки и других факторов до 150—350°C.

Отмеченные особенности процесса агломерации обеспечивают высокую степень эффективного использования технологического топлива, содержащегося в шихте, большую скорость процесса термической обработки сырья и, как следствие, высокую производительность и экономическую эффективность этого процесса.

Получаемый материал может рассматриваться как совокупность элементарных объемов затвердевшего расплава и кристаллической

фазы переменного состава, связанных между собой перемычками из того же материала. Количество расплава и его состав зависят от химического и минерального состава исходного сырья и температурного уровня процесса. При этом образовавшиеся отдельные элементы объема спекшегося бруса, хотя и отличаются (или могут отличаться) друг от друга количеством и составом расплава, но рассмотренные изолированно представляют собой хорошо сформированный пористый продукт. Высокий температурный уровень процесса обеспечивает образование достаточного количества расплава, необходимого для формирования устойчивой структуры отдельных элементов спекшегося слоя. Наиболее же слабыми и относительно плохо связанными между собой являются перемычки (мостики), соединяющие структурные элементы слоя между собой.

В период дробления бруса он разрушается по перемычкам (ослабленным сечениям), в результате чего выделяются хорошо спекшиеся поризованные структурные элементы слоя. Таким образом, дробление в производстве аглопорита является по существу избирательным и обеспечивает значительное повышение его однородности.

Отмеченные особенности образования материала при спекании сырья на агломерационных решетках были положены в основу при разработке технологии производства аглопоритовых щебня и гравия из глинистого сырья и топливосодержащих отходов промышленности.

Для получения гравия на агломерационной машине необходимо обеспечить интенсивное структурообразование за счет горения топлива в самих гранулах и свести до минимума контактное спекание гранул между собой. Это может быть достигнуто за счет уменьшения площади контактирующих поверхностей и сокращения количества тепла, поступающего в межзерновое пространство. Уменьшить площадь контактов спекаемых зерен можно путем использования гранул округлой формы монофракционного состава. В этом случае при использовании метода агломерации, в котором основным источником тепла является горение содержащегося в самой шихте топлива, повышение газопроницаемости шихты приводит к увеличению количества просасываемого воздуха, снижению температуры в межзерновом пространстве и созданию в нем окислительной среды. Метод агломерации дает таким образом возможность в зависимости от свойств топливосодержащих отходов и параметров их переработки получить аглопоритовые щебень или гравий.

Основные физико-химические процессы образования пористой структуры аглопоритовых гравия и щебня

При получении аглопоритовых гравия или щебня образование пористой структуры материала связано с целым рядом процессов,

протекающих как в период приготовления сырьевых гранул (зерен), так и их термической обработки. К основным факторам, обеспечивающим образование пористой структуры при спекании алюмосиликатного сырья на агломерационных машинах, относят:

пористость, образующуюся в период приготовления сырьевых гранул (зерен). При подготовке шихты к спеканию измельченные исходные составляющие смешивают, увлажняют и окомковывают для придания всей смеси комковатой рыхлой структуры. При этом формирование пор в отдельных микрообъемах аглопорита начинается в момент получения сырьевых гранул или зерен шихты из исходных материалов.

В зависимости от формы, размера частиц и зернового состава исходного сырья и его влагоемкости первоначальная пористость сырьевых гранул изменяется в широких пределах. Кроме того, существенное влияние на формирование пористости аглопорита оказывает межзерновая пустотность всего слоя спекшейся шихты;

пористость, образующуюся в период термической обработки шихты. Выгорание топлива и органических примесей, содержащихся в алюмосиликатной (глинистой) шихте обычно в количестве 4—8% по массе, в процессе агломерации является одним из существенных факторов, который влияет на образование пористости аглопорита. При использовании же зол ТЭС и отходов углеобогащения количество топлива в шихте может достигать 20%. Поэтому влияние топлива на формирование структуры аглопорита в этом случае еще больше возрастает.

Просос воздуха и газов сквозь шихту. В процессе спекания поры в аглопорите образуются также за счет просасывания воздуха и газов сквозь слой размягченной шихты. Холодный и подогретый воздух, соприкасаясь с расплавом, образующимся в период спекания, резко его охлаждает. Поэтому в структуре полученного аглопорита сохраняются сквозные трубчатые поры округлого сечения. Большая часть таких пор проходит через всю толщу спекшегося материала.

Вспучивание отдельных зерен (гранул) шихты. Интенсификация процессов испучивания зерен (гранул) шихты на агломерационных машинах связана с образованием в зоне спекания резко выраженной нестабильной газовой среды и быстрым подъемом температуры и этой зоне, кратковременностью пребывания материала в зоне максимальных температур, спекания в присутствии жидкой фазы как отдельных элементов (зерен), так и всего слоя шихты.

Основные факторы образования пористой структуры аглопорита (гравия и щебня): удаление свободной и физически связанной воды; выгорание топлива и органических примесей, содержащихся в исходном сырье или специально вводимых в сырьевую смесь; просос воздуха и газов сквозь слой размягченной шихты; вспучивание от-

дельных зерен (гранул) шихты; спекание частиц в присутствии жидкой фазы в отдельном элементе шихты (зерне, грануле); контактное спекание зерен (гранул) в слое шихты.

В зависимости от свойств исходного сырья и режимов его переработки основной объем пор в материале будет образовываться за счет одного или нескольких факторов. В общем случае большая часть пор в аглопорите формируется в результате удаления из сырьевых гранул воды и органических веществ и спекания в присутствии жидкой фазы как в отдельном элементе (зерне, грануле), так и в слое шихты.

Технология производства аглопоритовых щебня и гравия состоит из следующих основных переделов: подготовки сырьевых материалов, топлива и добавок (в случае их использования); дозирования и смешивания компонентов шихты; грануляции шихты; термической обработки шихты (гранул) на агломерационной машине; дробления и отсева готового продукта.

Конкретные технологические схемы производства аглопоритовых щебня и гравия зависят от вида применяемого сырья, топлива и добавок.

Подготовка сырьевых материалов

При производстве аглопорита из глинистого сырья нормальная работа аглопоритовых цехов обеспечивается организацией глинохранилищ или глинозапасников.

В качестве технологического топлива в этом случае используют уголь АШ и АРШ. Уголь, содержащий куски крупнее 5 мм, следует дробить. Дробление целесообразно организовать в вертикальных молотковых дробилках, изготавливаемых по индивидуальным заказам Минским опытно-механическим заводом Минстройматериалов БССР. При использовании в качестве топлива сланцеватых отходов угледобычи, углеобогащения или сухого сапропеля дробление также возможно вышеуказанными дробилками.

Подготовка выгорающих добавок сводится к отсеvu крупных фракций (древесные опилки, лигнин, торф, пеньковая костра) или дроблению (сухой сапропель).

Флюсующие добавки вводят в состав шихты в ограниченном количестве, и их доставку поэтому целесообразно организовать в подготовленном виде.

Подготовка отощающих добавок заключается в отсеve крупных частиц кварцевого песка и зол ТЭС или дробления возврата и шлаков ТЭС. В целях увеличения выхода аглопоритового щебня и песка целесообразно производить отсев крупной фракции возврата с последующим ее использованием в качестве утепляющих или дренирующих засыпок.

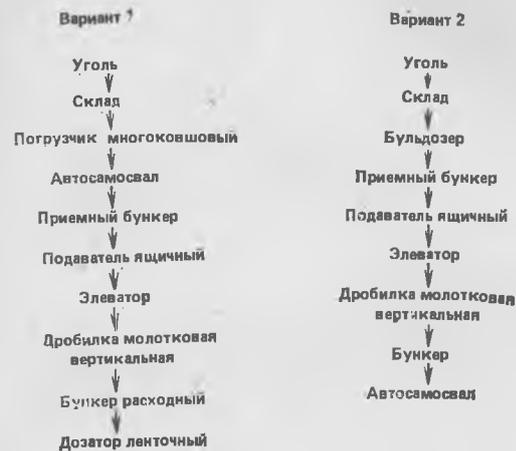


Рис. 5.6. Технологические схемы подготовки топлива к спеканию

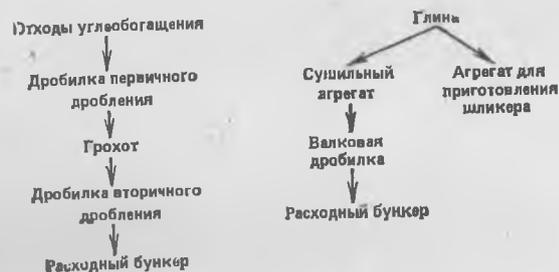


Рис. 5.7. Технологические схемы приготовления отходов углеобогащения и глинистой добавки

Рекомендуемые технологические схемы подготовки топлива приведены на рис. 5.6.

Вариант 1 предусматривает устройство отделения подготовки топлива непосредственно в цехе, причем общий объем приемного и расходных бункеров должен соответствовать суточной запасу угля.

Вариант 2 предусматривает устройство отделения подготовки угля вне основного здания.

Приведенные варианты предназначены для дробления угля класса «штыб», засоренного классом «семечко» или «орех». При использовании угля рядового или засоренного более крупными классами требуется либо предварительный отсев на ситах с размером ячейки 50 мм, либо предварительное дробление в щековых дробилках.

Применение угля сорта «штыб», соответствующего требованиям

нормативных документов на уголь (крупность частиц менее 6 мм), позволяет избежать дробления и, следовательно, упростить технологическую схему производства.

При производстве аглопоритового щебня из отходов углеобогащения отдельные партии отходов усредняют на складе и подают на дробление. Максимальный размер зерен отходов после дробления составляет 2,5 мм.

Когда в шихту вводят добавки, их предельная крупность не должна превышать для глинистой породы — 3 мм и для возврата — 10 мм.

Глинистую породу вводят в шихту в виде сухого компонента или в виде глиняного шликера. В последнем случае в отделении приготовления шихты предусматривают установку агрегата для приготовления глиняного шликера.

Технологическая схема приготовления отходов углеобогащения и глинистой добавки приведена ниже (рис. 5.7).

При производстве аглопоритового гравия могут быть использованы сухая зола уноса, водозольная суспензия, а также зола из отвалов ТЭС. Сухую золу из силосного склада ТЭС подают пневмотранспортом или автоцементовозами в приемный склад предприятия.

Для повышения однородности золы, поступающей на переработку, предусматривают ее барботаж в отдельных силосах приемного склада предприятия с последующей перекачкой усредненной золы в расходный бункер, под которым устанавливается весовой автоматический дозатор.

В случае использования водозольной суспензии последнюю отбирают из золопроводов ТЭС и направляют в радиальный сгуститель предприятия. Затем сгущенная зольная суспензия поступает в расходные цепные мешалки, куда подают предварительно подготовленный глиняный шликер в количестве 5—10% по массе сухой золы. Приготовленную в цепной мешалке глинозольную суспензию направляют на обезвоживание в дисковые вакуум-фильтры.

При использовании золы из отвала ТЭС она поступает на предприятие в автосамосвалах или при помощи ленточных конвейеров. Затем при помощи погрузчика или грейферного крана золу подают в расходный бункер, оборудованный ленточным питателем.

Если на ТЭС не предусмотрено раздельное удаление золы и шлака, то из золошлаковой смеси перед подачей на предприятие отсеивают шлак (рис. 5.8).

При производстве аглопоритовых щебня и гравия из всех рассмотренных видов сырья в шихту вводят возврат, представляющий собой плохо обожженные зерна спекаемого материала (рис. 5.9).

Весьма целесообразной представляется схема ввода в шихту возврата без его предварительного охлаждения и дробления. Воз-

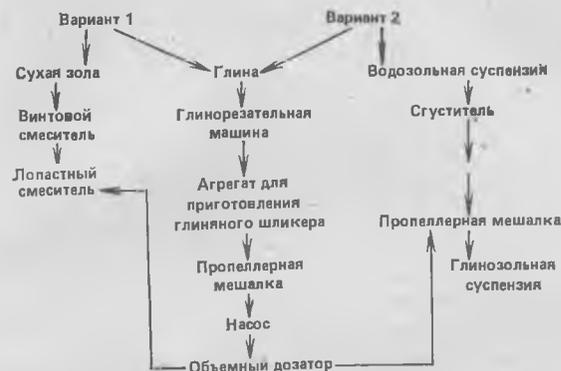


Рис. 5.8. Технологические схемы подготовки золы и глинистой добавки

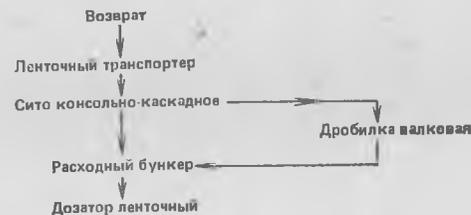


Рис. 5.9. Технологическая схема подготовки возврата

врат с температурой 350—450°C может несколько подсушить шихту и обеспечить ее нагрев до 30—70°C. В этом случае компоновка оборудования должна быть осуществлена таким образом, чтобы ленточный транспортер с сырьем проходил под разгрузочной частью агломерационной машины. Дозирование горячего возврата должно производиться тарельчатым питателем, а дробление — глиноперерабатывающим оборудованием.

Выбор варианта подготовки и введения в шихту возврата определяется влажностью исходного сырья, его пластичностью, процентным выходом возврата при спекании шихты и производительностью агломерационной машины.

Дозирование и смешивание составляющих шихты, грануляция и укладка шихты

Дозирование осуществляют установлением необходимых расходов составляющих, выдаваемых на сборный транспортер питателями

из соответствующих бункеров. Общую производительность по шихте устанавливают в зависимости от потребления шихты агломерационной машиной.

Равномерную подачу глинистого сырья на действующие транспортные установки осуществляют ящичным пластинчатым подавателем.

При использовании отходов углеобогащения и золы ТЭС подготовленные материалы и добавки дозируют весовым методом, а возврат — по объему. При дозировании шихты рекомендуется руководствоваться следующими положениями: состав шихты следует менять лишь в случае изменения свойств исходного сырья или добавок: необходимо поддерживать стабильную подачу основных составляющих шихты путем обеспечения постоянной степени заполнения бункеров составляющими шихты; пуск объемных и весовых дозаторов осуществляют только после пуска сборного ленточного конвейера или другого приемного устройства.

Заданный состав шихты обеспечивают системой автоматического регулирования (САР). В этом случае после определения массы основного сырья сигнал массы обрабатывается прибором соотношения, который дает команду на увеличение или уменьшение массы составляющих шихты.

Ниже приводится расчет дозировки составляющих шихты в соответствии с заданным составом (на примере использования глинистого сырья).

Требуется обеспечить следующий состав шихты, % по массе: глинистого сырья — 88, угля — 8, опилок — 4, возврата — 20 (сверх 100%). Абсолютная влажность составляющих шихты, % по массе: глинистого сырья — 20, угля — 10, опилок — 30, возврата — 5.

Устанавливаем, что ящичный подаватель за 10 с выдает 60 кг глинистого сырья. Необходимо узнать массу материала, которые должны выдавать за 10 с питатели угля, опилок, возврата, чтобы обеспечить заданный состав шихты.

Массу абсолютно сухой глины g_1 , кг, выдаваемой ящичным подавателем, определяем, подставляя соответствующие значения в формулу

$$W_a = [(g_0 - g_1) 100] / g_1, \quad (5.6)$$

где W_a — абсолютная влажность глины, %; g_0 — масса влажной глины, кг.

Масса абсолютно сухой глины, выдаваемой ящичным подавателем в течение 10 с, составляет 50 кг.

Общую массу составляющих шихты a , приведенную к 100%, определяем по формуле

$$a = (B \cdot 100) / x, \quad (5.7)$$

где B — содержание абсолютно сухой глины в шихте, кг (она составляет 50 кг); x — содержание, %, составной части шихты, в данном случае глины — 88%

$$a = \frac{50 \cdot 100}{88} = 56,8 \text{ кг}$$

Необходимое количество сухого угля в шихте, кг, определяем по формуле

$$C = (a x_1) / 100. \quad (5.8)$$

Если $a = 56,8$; $x_1 = 8\%$, то $C = (56,8 \cdot 8) / 100 = 4,54$ кг.

Количество угля с влажностью 10%, которое должен выдавать питатель за 10 с, определяют по формуле (5.6). Оно составляет 4,99 кг.

Необходимое количество опилок d в шихте определяем по формуле

$$d = (a x_2) / 100. \quad (5.9)$$

Если $a = 56,8$ кг; $x_2 = 4\%$, то $d = (56,8 \cdot 4) / 100 = 2,27$ кг.

Количество опилок с влажностью 30%, которое должен выдавать питатель за 10 с, определяют по формуле (5.6). Оно составляет 2,95 кг.

Необходимое количество возврата в шихте l определяют по формуле

$$l = (a x_3) / 100. \quad (5.10)$$

Если $a = 56,8$ кг, $x_3 = 20\%$, то $l = (56,8 \cdot 20) / 100 = 11,36$ кг.

Количество возврата с влажностью 5%, которое должен выдавать питатель за 10 с, определяют по формуле (5.6). Оно составляет 11,93 кг.

Смешивание составляющих шихты. Смешивание и увлажнение составляющих шихты при использовании всех указанных видов сырья производят в двухвальных глиномешалках. При использовании золы ТЭС время пребывания материала в глиномешалке увеличивают за счет изменения угла наклона лопаток. При использовании глинистого сырья для предотвращения образования крупных комьев шихты смешивание составляющих целесообразнее производить в барабанных шихтосмесителях. Для обеспечения однородности шихты необходимо соблюдать следующие положения: заполнение глиномешалки должно быть таким, чтобы шихта закрывала вал слоем 3—4 см: лопасти, находящиеся в верхнем положении, не должны закрываться шихтой; коэффициент заполнения барабанного шихтосмесителя должен находиться в пределах 0,1—0,15; скорость вращения рыхлительного вала шихтосмесителя должна составлять 200—500 об/мин (в зависимости от качества сырья); число оборотов барабана смесителя в мин — 6—10; угол наклона лопастей глиномешал-

ки и рыхлительного вала смесителя устанавливают опытным путем из расчета достижения максимальной однородности шихты по распределению в ней составляющих шихты и влаги при требуемой производительности; зазор между лопастями и корпусом глиномешалки или барабанного шихтосмесителя не должен превышать 4 мм. При увеличении зазора выше указанного лопасти должны быть наварены или заменены новыми.

Увлажнение шихты производят в глиномешалке или барабанном шихтосмесителе. Вода в смесительный агрегат должна подаваться в распыленном состоянии непрерывно. Содержание влаги в шихте устанавливают для каждого вида сырья из расчета создания оптимальных условий его окомкования. Влажность шихты из глинистого сырья различной пластичности колеблется в пределах 14—22%, из отходов углеобогащения — 10—13%, из зол ТЭС — 20—35%.

Изменение влажности шихты приводит к изменению ее зернового состава и насыпной плотности. Оптимальная влажность шихты, как правило, на 2—3% ниже влажности, соответствующей ее наименьшей насыпной плотности.

Грануляция шихты. Грануляцию шихты осуществляют для повышения газопроницаемости спекаемого слоя. В технологии агломерации под газопроницаемостью шихты понимают количество воздуха (газа), просасываемого через единицу площади шихты в единицу времени (при определенной высоте слоя шихты и разрежении под колосниковой решеткой). Газопроницаемость имеет размерность $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

Помимо газопроницаемости слоя шихты (гранул) в целом существенное влияние на скорость процесса оказывает, как было указано, газопроницаемость отдельного элемента слоя — зерна, гранулы, особенно при использовании топливосодержащих отходов промышленности.

Отходы углеобогащения, как было указано, представляют собой плотную камневидную породу, содержащую в своем составе тонкодисперсное равномерно распределенное топливо. Чтобы подвести кислород к таким частицам топлива, необходимо разрушить природную структуру породы, обнажить частицы угля, а затем приготовить рыхлые пористые зерна (гранулы).

При производстве аглопоритового гравия из золы ТЭС создание высокой газопроницаемости самих сырьевых гранул еще более важно, так как размер отдельного элемента слоя — гранулы — в этом случае в 2—5 раз больше, чем у зерен шихты, используемой при производстве аглопоритового щебня, а диффузионное сопротивление золы оболочки по мере продвижения фронта горения внутрь гранулы существенно увеличивается.

Изложенные выше данные о влиянии газопроницаемости слоя

шихты и слагающих ее зерен (гранул) на процесс агломерации определяют важное значение передела грануляции шихты на весь ход процесса и качество получаемого аглопорита.

Основными факторами, влияющими на процесс грануляции сырьевой смеси и характеристики зерен (гранул) шихты, являются удельная поверхность составляющих смеси, ее капиллярная влагоемкость и коллоидно-химические свойства.

При этом агрегирование увлажненных мелкозернистых и дисперсных минеральных порошков происходит за счет молекулярных сил, возникающих на поверхности раздела твердой и жидкой фаз. Сцепление отдельных частиц происходит за счет взаимодействия их с водой, которая обладает силовым молекулярным полем. Слой воды, заключенный между двумя частицами, как бы увеличивает радиус действия молекулярных сил соседних твердых частичек и обеспечивает их взаимное сближение.

В гранулирующем устройстве помимо сил молекулярного и капиллярного взаимодействия частицы комкуемого (гранулируемого) материала уплотняются под действием реакции опоры, приложенной к зерну (грануле) в точке его соприкосновения с рабочей поверхностью гранулятора.

Технологическая схема отделения грануляции зависит от структурно-физических свойств исходного сырья. В случае использования глинистых пород грануляцию шихты осуществляют, как правило, в барабанном грануляторе. При производстве аглопорита из отходов углеобогащения в качестве гранулирующих устройств могут использоваться как барабанные, так и тарельчатые грануляторы. При использовании зол ТЭС окомкование шихты производят на тарельчатом грануляторе (рис. 5.10).

Для поддержания стабильного процесса грануляции целесообразно руководствоваться следующими рекомендациями: поддерживать постоянную влажность шихты в период окомкования, для чего в отдельных случаях обеспечить возможность ее доувлажнения в гранулирующем устройстве; коэффициент заполнения барабанного гранулятора поддерживать на уровне 0,1, а тарельчатого — 0,15; число оборотов барабанного гранулятора в 1 мин должно быть не более 12, угол его наклона к горизонту — 3—4 град; число оборотов тарельчатого гранулятора в 1 мин поддерживать в пределах от 6 до 12, угол наклона тарели — 47—57 град; во избежание попадания в шихту крупных уплотненных комьев необходимо обеспечить очистку внутренней поверхности барабана или тарели путем установки специальных скребков или резиновой футеровки.

Укладка шихты (гранул). Шихту в виде мелких и крупных гранул укладывают ровным слоем на колосники агломерационной машины и затем направляют под зажигательный горн.

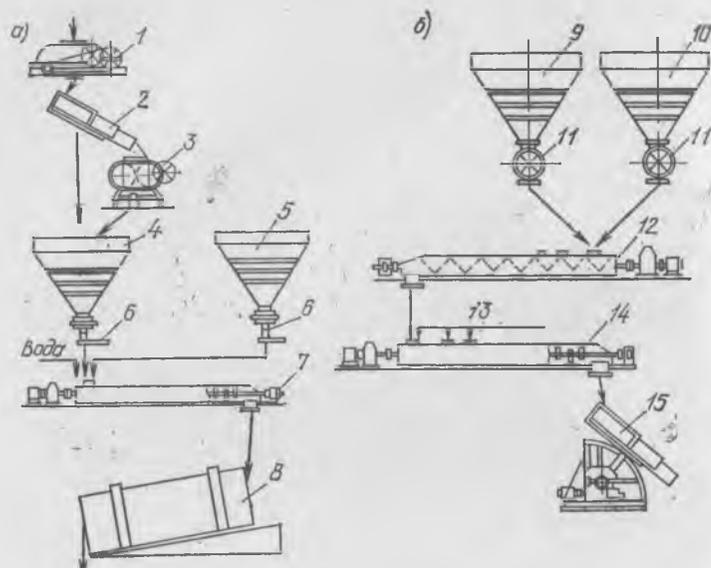


Рис. 5.10. Технологические схемы приготовления шихты из отходов углеобогащения и гранул из золы-уноса ТЭС

а — из отходов углеобогащения: 1 — дробилка первичного дробления; 2 — грохот; 3 — дробилка вторичного дробления; 4 — расходный бункер сырья; 5 — расходный бункер добавок; 6 — весовой дозатор; 7 — смеситель; 8 — барабанный гранулятор; б — из золы ТЭС: 9 — расходный бункер золы; 10 — расходный бункер добавок; 11 — весовой дозатор; 12 — винтовой конвейер; 13 — вода для увлажнения добавок; 14 — смеситель; 15 — тарельчатый гранулятор

Укладку шихты из глинистых пород и отходов углеобогащения производят ленточным или барабанным питателем; сырьевых зольных гранул — роликовым укладчиком. При этом перед укладкой сырьевых зольных гранул на агломерационную машину подают донную и бортовую постель, состоящую из аглопоритового гравия крупностью 10—20 мм. При укладке шихты на агломерационную машину рекомендуется: обеспечить защиту бортов палеты от прямого воздействия высоких температур, развивающихся в горне, путем увеличения высоты слоя шихты непосредственно у бортов; создать направленную сегрегацию зерен шихты, с тем чтобы в центральной части палеты концентрировалась крупная фракция шихты, а мелкая фракция преимущественно располагалась у бортов палеты, что приводит к увеличению газопроницаемости основного объема шихты. Кроме того, для увеличения газопроницаемости слоя шихты из глинистых пород и отходов углеобогащения рекомендуется после укладки шихты (перед горном) установка вращающихся дисков, неподвижных струн или прокалывающих устройств, обеспечивающих обра-

зование в слое шихты вертикальных каналов, а также регулирование высоты слоя шихты при помощи рабочего органа питателя. Высота слоя шихты в зависимости от ее газопроницаемости и физико-химических свойств исходного сырья изменяется от 150 до 300 мм.

В случае использования глинистой породы и отходов углеобогащения для снижения подсоса воздуха целесообразно производить подпрессовку слоя шихты у бортов палет. Подпрессовку шихты шириной 100—150 мм производят вращающимся роликом или неподвижной лыжей.

Термическая обработка шихты

Зажигание шихты (гранул). Зажигание осуществляют путем сжигания различных видов топлива в зажигательных горнах, установленных в начале агломерационной машины. В производстве аглопорита для зажигания шихты используют горн с прямоточным, противоточным, боковым и верхним расположением форсунок. В качестве топлива используют природный газ или жидкое топливо. При производстве аглопорита из глинистых пород и отходов углеобогащения уложенный слой шихты сразу поступает в зону зажигания, в которой поддерживается температура 1050—1150°C.

При использовании зол ТЭС применяют горны, в которых внутренний объем разделен на три зоны — сушки, подогрева и зажигания поверхности слоя гранул. Температура в зоне сушки поддерживается на уровне 300—500°C, подогрева — 600—800°C, зажигания — 1000—1200°C. Необходимость постепенного нагрева зольных гранул до температуры зажигания объясняется тем, что их оптимальная влажность находится в пределах 20—30% и при быстром нагреве за счет интенсивного парообразования они разрушаются.

Режим зажигания слоя шихты зависит от химико-минералогического состава сырья, количества топлива в шихте, а также от ее газопроницаемости. Поддержание заданного режима зажигания обеспечивают за счет регулирования температуры и состава просасываемых горновых газов, а также продолжительности пребывания слоя шихты в зоне высоких температур.

Количество тепла, которое воспринимает 1 м² поверхности шихты за все время воздействия горновых газов на слой в процессе зажигания, принято называть «интенсивностью зажигания». Интенсивность зажигания I определяют по формулам, кДж/м²:

$$I = (\eta Q_p^H V \tau) / S, \quad (5.11)$$

где Q_p^H — низшая теплота сгорания, кДж/м³; V — объем сжигаемого топлива, м³/мин; τ — продолжительность зажигания, мин; η — КПД горна (0,6—0,75); S — поверхность зажигания шихты, м²,
или

$$I = c_p t \rho v, \quad (5.12)$$

где c_p — средняя объемная теплоемкость горновых газов, кДж/(м³·К); t — температура горновых газов, °С; ρ — удельный объем горновых газов, просасываемых сквозь слой шихты, т. е. удельная газопроницаемость шихты, м³/м²·с;

или для агломерационной машины, кДж/м²,

$$\dot{I} = \eta Q_p^H V/Bv, \quad (5.13)$$

где B — ширина рабочей части палеты агломерационной машины, м; v — скорость движения палет агломерационной машины, м/мин.

Для качественного зажигания поверхности шихты необходимо обеспечить: удельную интенсивность зажигания 59—71 МДж/м²·мин; интенсивность зажигания для шихты фракции менее 5 мм — 105—125 МДж/м²; для шихты фракции 5—10 мм — 230—272 МДж/м²; для шихты фракции 10—15 мм — 293—356 МДж/м².

Излишне высокая температура зажигания или чрезмерно длительное пребывание шихты под горном вызывает оплавление поверхностного слоя. В результате уменьшается количество просасываемого воздуха и замедляется процесс спекания. Низкая температура и недостаточная продолжительность зажигания приводят к образованию на поверхности слоя и у бортов палет большого количества недожога, вследствие чего наблюдается значительное пылеобразование в разгрузочной части машины и уменьшается выход готовой продукции.

Продолжительность зажигания для полидисперсной шихты из глинистых пород и отходов углеобогащения 1,5—2 мин, для монодисперсного слоя сырцовых зольных гранул 3—5 мин. Температура зажигания должна автоматически поддерживаться на заданном уровне. При этом допустимые отклонения не должны превышать ±30°. Контроль количества топлива и воздуха, идущих на зажигание, разрежения и температуры в отдельных секциях горна производятся при помощи соответствующих измерительных приборов.

Спекание шихты (гранул). Термическая обработка шихты (гранул) является основным этапом технологии производства аглопорита. От скорости и температурного уровня процесса спекания зависят как производительность агломерационной машины, так и количество образующегося аглопорита.

Скорость процесса спекания, в первую очередь, определяется скоростью горения топлива в отдельном дифференциальном слое шихты, а температурный уровень — количеством топлива, содержащегося в шихте (гранулах).

Как уже указывалось, термическая обработка шихты на агломерационной машине в отдельном дифференциальном слое начинается с сушки и подогрева зерен (гранул) горячими газами, отходящими из вышерасположенной зоны горения. Горение же топлива, содер-

жащегося в зернах (гранулах), начинается в момент, когда температура их поверхности достигнет температуры воспламенения топлива. Дальнейший нагрев зерна (гранулы) происходит за счет теплоотдачи от просасываемого через слой горячего газа, так и за счет тепла, выделяющегося при горении топлива, находящегося в зерне (грануле). Затем по мере выгорания топлива в рассматриваемом дифференциальном слое происходит охлаждение образовавшегося пористого продукта.

Результаты изучения механизма горения топлива в шихте (гранулах) показали, что скорость процесса спекания, с одной стороны, зависит от количества кислорода, поступающего в зону горения, то есть от газопроницаемости отдельных элементов, слагающих слой, и всего слоя в целом, а с другой стороны, — от температурного уровня процесса и характеристик плавкости минеральной части спекаемого сырья. Так, на первой стадии процесса (в течение первых минут) происходит быстрое выгорание углерода. При этом интенсивность процесса, то есть степень выгорания углерода в единицу времени, увеличивается с повышением температуры. Дальнейший ход процесса зависит от температуры теплоносителя и характеристик плавкости минеральной части спекаемого сырья. При низких температурах (менее 1000°С) интенсивность горения топлива снижается из-за появления диффузионного сопротивления, вызванного образованием и увеличением толщины зольной оболочки по мере перемещения фронта горения внутрь гранулы (зерна). Повышение температуры теплоносителя (обычно выше 1100°С) приводит на второй стадии термообработки к резкому снижению интенсивности горения углерода, а затем и к полному его прекращению.

Отмеченные выше явления связаны с появлением и ростом количества расплава, в результате чего затрудняется, а затем пол-

Таблица 5.6. Рекомендуемые параметры производства аглопоритовых гравия и щебня

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

ностью прекращается доступ кислорода внутрь зерна (гранулы). Рекомендуемые параметры производства аглопоритовых гравия и щебня приведены в табл. 5.6.

Кроме традиционного способа агломерации в настоящее время на ряде заводов по производству аглопорита из глинистого сырья находит применение способ с пульсирующим или прерывным прососом воздуха через слой спекаемого материала. Преимущество указанного способа заключается в лучшей термоподготовке агломерационной машины, в возможности использования низкокалорийных видов твердого топлива и благоприятных условиях формирования аглопоритового бруса в восстановительной среде. Последнее способствует увеличению выхода годной продукции и повышению прочности аглопоритового щебня. При этом снижается расход электроэнергии на агломерационный процесс.

В производственных условиях шихту спекают на специальных агломерационных машинах непрерывного действия. В Советском Союзе разработаны конструкции и освоен выпуск двух типов машин — прямолинейной агломерационной машины непрерывного действия для получения аглопоритового щебня (рис. 5.11) и прямолинейной обжиговой агломерационной машины непрерывного действия для получения аглопоритового гравия (рис. 5.12).

Прямолинейная агломерационная машина (см. рис. 5.11) представляет собой непрерывный конвейер, состоящий из набора подвижных спекательных тележек (палет), установленных на жесткой металлической раме, являющейся остоном машины.

Верхняя часть конвейера является рабочей, на ней происходит процесс спекания, нижняя — холостой, по ней возвращаются после разгрузки спекательные тележки к головной части машины. Под верхней частью конвейера установлены вакуум-камеры, соединенные коллектором с воздуходувными устройствами, обеспечивающими просос воздуха сквозь слой уложенной шихты. В головной части машины производится укладка шихты, затем тележки поступают под зажигательный горн, где происходит воспламенение топлива в верхнем слое шихты. Далее по мере движения тележек протекает процесс спекания и частичное охлаждение образовавшегося аглопоритового бруса. На разгрузочном конце машины смонтировано раскалявающее устройство. Для возврата пустых спекательных тележек к головной части машины холостая ветвь имеет некоторый уклон, по которому тележки движутся под действием силы массы. Подъем тележек на верхнюю рабочую ветвь осуществляется звездочками привода, зубья которых захватывают тележки и подают их наверх.

Обжиговые агломерационные машины (см. рис. 5.12), используемые для производства аглопоритового гравия, имеют аналогичную конструкцию. Однако из-за особенностей технологического процесса,



Рис. 5.11. Агломерационная машина SM-961

1 — привод; 2 — осто́в машины; 3 — площадка для обслуживания машины; 4 — шахтоукладчик; 5 — зажига́тельный горн; 6 — тележка; 7 — вакуум-камеры; 8 — секция; 9 — разгрузочная станция; 10 — раскаляющее устройство

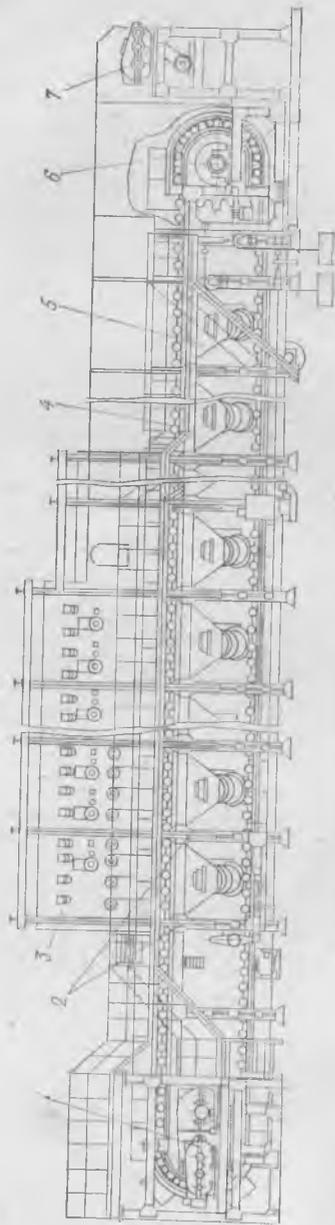


Рис. 5.12. Агломерационная машина обжиговая СМС-117

1 — привод; 2 — секции; 3 — горн; 4 — тележка; 5 — вакуум-камера; 6 — разгрузочная станция; 7 — раскалывающее устройство

связанных с необходимостью предварительной сушки и подогрева гранул, а также создания более высоких температур в период зажигания и обжига, в конструкцию отдельных узлов внесены изменения. Спекательные тележки изготовлены из жаропрочной стали, удлинен горн, рабочая площадь машины разделена на пять зон: сушки, подогрева, зажигания, спекания и охлаждения. На обжиговых агломерационных машинах может производиться и аглопоритовый щебень.

Охлаждение аглопорита

После окончания термической обработки шихты или гранул на колосниках агломерационной машины образуется продукт, который в первом случае представляет собой прочный пористый брус, а во втором — хорошо обожженные и слабо спекшиеся между собой гранулы.

Так как образовавшийся конгломерат необходимо разрушить, у разгрузочного конца агломерационной машины устанавливают раскалывающее устройство, представляющее собой вал с редко насаженными билами. Раскалывание бруса или разрушение конгломерата контактно спекшихся гранул необходимо для отделения плохо спекшихся гранул шихты, ускорения процесса охлаждения аглопорита, а также удобства последующего транспортирования готового продукта.

Полученный материал направляют на охлаждение до температуры 80—120 °С. Охлаждение материала производится с целью повышения прочностных характеристик аглопоритового щебня (гравия); обеспечения нормальной работы агрегатов и машин, выполняющих последующие технологические операции (транспортировка, дробление, сортировка и складирование); обеспечения безопасных условий труда и противопожарной безопасности.

Охлаждение аглопорита может производиться как на агломерационной машине, так и на специально установленном оборудовании: ленточном, барабанном или чашевом холодильниках.

Ленточный холодильник представляет собой металлический транспортер с перфорированным дном, через которое снизу вверх интенсивно продувается воздух.

Чашевый холодильник имеет кольцевой бункер, образованный двумя жалюзийными цилиндрическими стенками. Бункер вращается вокруг центральной опоры. Центральная часть охладителя образует воздушную камеру, через которую дымососом отсасывают воздух, проходящий через кольцевой слой аглопорита.

Барабанный холодильник представляет собой цилиндрическую трубу, установленную на катках под углом 2—3° к горизонту. Внутренняя поверхность барабана имеет пороги, замедляющие прохождение аглопорита по длине барабана. Для ускорения процесса ох-

лаждения аглопорита через барабан просасывают воздух. Расход воздуха на охлаждение 1 м³ аглопорита составляет от 1000 до 4000 м³. В отдельных случаях осуществляется орошение аглопорита распыленной водой в количестве до 60 л на 1 м³ аглопорита.

Дробление и рассев аглопорита

В зависимости от требований, предъявляемых к зерновому составу аглопорита, в технологической схеме предусматриваются две или три ступени дробления. Первичное дробление обеспечивает получение кусков размером 100—200 мм. На второй ступени дробления получают материал с предельной крупностью 20—40 мм. При включении в технологическую схему третьей ступени дробления предельная крупность получаемого материала составляет 5—20 мм.

Дробят аглопорит на серийно выпускаемых машинах: конусных, валково-зубчатых, валковых, щековых и других дробилках и сортируют на вибрационных, барабанных и других рассевающих устройствах.

Дробленный аглопоритовый щебень, а также аглопоритовый гравий в зависимости от вида изготавливаемых на их основе конструкций и изделий рассевают на фракции 5—10, 10—20, 20—40 (щебень, гравий) и 1,2—5 мм и до 1,2 мм (песок). Фракции заполнителя хранят в условиях, предохраняющих их от загрязнения и увлажнения.

5.6. КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОПОРИТОВЫХ ЩЕБНЯ И ГРАВИЯ

Контроль производства включает в себя контроль поступающих материалов, контроль технологического процесса и контроль качества готового продукта. Контроль подразделяется на лабораторный и цеховой.

Лабораторный контроль производства охватывает операции, выполнение которых требует специального лабораторного оборудования и осуществляется заводской лабораторией.

Цеховой контроль осуществляется обслуживающим персоналом цехов непосредственно на отдельных переделах производства и включает контроль за работой основного технологического оборудования, а также проверку основных технологических параметров (табл. 5.7, 5.8).

Таблица 5.7. Схема лабораторного контроля технологического процесса производства

Характеристика	Место отбора пробы	Частота отбора пробы	Метод проверки
Исходного сырья: химический состав	Склад сырья или радиальный ступитель (для водозольной суспензии)	Один раз в год (или при изменении сырья)	ГОСТ 2642.0—81—2642.4—81 (с изм.) ГОСТ 10538.0—72—10538.8—72
дисперсность	То же	Один раз в месяц	Глинистое сырье — седиментационный метод; зола — на приборе ПСХ-4, отходы обогащения углей — сыгровой анализ ГОСТ 21216.1—81 ГОСТ 2057—82
пластичность плавкость	Склад сырья Склад сырья или радиальный ступитель (для водозольной суспензии)	То же	Вискозный метод Зола и отходы углеобогащения — ускоренный способ путем сжигания пробы в токе кислорода
влажность содержание остатков топлива	То же	Один раз в смену То же	ГОСТ 2099—82 ГОСТ 11014—81 ГОСТ 6382—80 ГОСТ 147—74 (с изм.) ГОСТ 11022—75 (с изм.)
Добавок: топливо; гранулостаб	Склад добавок	Один раз для каждой партии То же	ГОСТ 2642.1—81 Седиментационный метод ГОСТ 21216.1—81 ГОСТ 2057—82
рабочая влажность выход летучих теплота сгорания зольность угля глинистая порода: химический состав	Склад добавок	То же	
дисперсность пластичность плавкость	Склад добавок	То же	

Таблица 5.8. Схема цехового контроля технологического процесса производства

Механизмы и агрегаты	Проверяемые параметры	Частота проверки	Метод проверки
Дозаторы всех типов	Правильность работы весоизмерителей, правильность установки шибров или других дозирующих органов	Один раз в сутки	Измерение количества сырья, отдозированного в единицу времени
Шихтосмесители	Зазор и правильность установки лопастей смесителя Влажность шихты	Один раз в неделю	Визуально и замер
Грануляторы всех типов	Правильность установки лопастей или ножей, а также угол наклона и частота вращения гранулятора Зерновой состав сырьевых гранул Насыпная плотность шихты (гранул)	Один раз в смену Один раз в неделю Один раз в смену То же	Весовой метод Визуально, при помощи угломера, секундомера Ситовой анализ Взвешивание определенного объема шихты
Агломерационная машина	Прочностные характеристики сырьевых гранул Высота спекаемого слоя шихты (гранул) Температура в защитительном горне по зонам: сушки подогрева зажигания Температура под палегами в зонах обжига (спекания) и охлаждения	Два раза в смену Непрерывная запись с визуальным контролем через каждый час Непрерывная запись с визуальным контролем два-три раза в смену	Замер (масштабная линейка) Щит КИП (термомара ПП и погендиометр) Щит КИП (термомара ХА и погендиометр)

Продолжение табл. 5.8

Механизмы и агрегаты	Проверяемые параметры	Частота проверки	Метод проверки
Конвейер дробильно-сортировочного отделения	Температура входящих газов в вакуум-камерах Разрежение в вакуум-камерах Скорость движения агломерационной машины Производительность машины по готовому продукту	Один раз в смену Два-три раза в смену Один раз в смену То же	Щит КИП (термомара ХА и погендиометр) Щит КИП (тахомер или U-образные манометры) Секундомер Замер (объемный метод)
Бункер готовой продукции (фракции 5—10 и 10—20 мм)	Насыпная плотность аглопоритового щебня и гравия Зерновой состав аглопоритового щебня и гравия Прочность аглопоритового щебня и гравия Потеря массы при прокаливании аглопоритового щебня или гравия Морозостойкость аглопоритового щебня или гравия Стойкость заполнителя против силикатного и железистого распада	Один раз в смену Один раз в смену Один раз в сутки Один раз в месяц То же	Весовой метод по ГОСТ 9758—77 Ситовой метод по ГОСТ 9758—77 Слаживание в цилиндре по ГОСТ 9758—77 Прокаливание по ГОСТ 9758—77 ГОСТ 9758—77 ГОСТ 9758—77

Таблица 5.9. Оборудование для производства аглопоритового щебня и гравия с агломерационными машинами СМ-961, СМС-117 и СМС-214

Оборудование	Характеристика оборудования с агломерационной машиной		
	СМ-961	СМС-117	СМС-214
Шихтосмеситель барабанный (для линии производства аглопоритового щебня):			
диаметр барабана, мм	—	—	1800
длина барабана, мм	—	—	4000
частота вращения, мин ⁻¹ (об/мин)	—	—	6—14
производительность, м ³ /ч	15—20	—	56
мощность привода, кВт	34	—	50
масса, т	4,4	—	17
Гранулятор барабанный (для линии производства аглопоритового щебня)**		СМ-960	
диаметр барабана, мм	1600	1600	2500
длина барабана, мм	4000	4000	5000
частота вращения, мин ⁻¹ (об/мин)	4—8	4—8	7—16
угол наклона, град	4	4	3
производительность, м ³ /ч	20	20	56
мощность привода, кВт	15	15	50
масса, т	10	10	25
Агломерационная машина:			
рабочая площадь, м ²	60	60	150
ширина, м	1,5	1,5	2,5
длина, м	40	40	60
максимальная высота слоя шихты (гранул), мм	250	250	300
скорость движения тележек, м/мин	0,415—1,25	0,8—1,5	1—4,5
производительность, м ³ /ч*	14	14—22	35—56
мощность привода, кВт	6	6,3	24
масса (без футеровки горна), т	150,6	298	660
Укладчик роликовый:		СМС-118	
ширина укладки, мм	—	1500	2500
частота вращения роликов, мин ⁻¹ (об/мин)	—	45	90
диаметр роликов, мм	—	106	140
мощность привода, кВт	—	1,5	7
масса, т	—	4	4
Укладчик донной и бортовой постели:			
материал постели	Аглопоритовый	гравий	фракции 10—20 мм
высота слоя донной постели, мм	—	50	50—100
толщина слоя бортовой постели, мм	—	50	70
масса, т	—	0,7	1
Чашевый холодильный:			
диаметр тарели, м	—	—	10
частота вращения корпуса, мин ⁻¹ (об/мин)	—	—	0,088—0,6
производительность, м ³ /ч	—	—	56
мощность привода, кВт	—	—	14
масса, т	—	—	105

* Производительность агломерационной машины определяется расчетом.

** Характеристику гранулятора чашевого см. табл. 11. 34.

Оборудование	Характеристика оборудования с агломерационной машиной		
	СМ-961	СМС-117	СМС-214
Коржеломатель:			
частота вращения ротора, мин ⁻¹ (об/мин)	24	24	—
радиус бил, мм	350	— 350	—
производительность, м ³ /ч	До 20	До 25	До 75
мощность привода, кВт	10	10	14
масса, т	5	5,3	8

Примечания: 1. Машина СМС-117 выпускается Куйбышевским заводом «Строммашина». 2. По агломашине СМС-214 разработана техническая документация СПКО Оргтехстром МПСМ БССР.

5.7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОПОРИТОВЫХ ЩЕБНЯ И ГРАВИЯ

Комплект оборудования для производства аглопоритовых щебня и гравия выпускает Куйбышевский завод «Строммашина» (табл. 5.9). Возможно также применение обжиговых машин, выпускаемых для производства металлургического агломерата и железорудных окатышей (табл. 5.10).

Таблица 5.10. Технологическая характеристика металлургических агломерационных и обжиговых машин, на которых возможно производство аглопоритовых щебня и гравия

Машина	Марка	Рабочая площадь спекания, м ²	Длина рабочей площади, м	Ширина рабочей площади, м
Агломерационная	К-3-50	50	25	2
	АКМ-1-120	120	60	2
	АКМ-1-160	160	64	2,5
Обжиговая	ОКМ-1-18	18	12	1,5
	ОК-108	108	54	2

Продолжение табл. 5.10

Машина	Марка	Максимальная высота слоя шихты, мм	Скорость движения тележек, м/мин	Мощность электродвигателя, кВт	
				привода	питателя
Агломерационная	К-3-50	300	1,1—4,36	11	2,8
	АКМ-1-120	300	1,1—4,36	11	2,8
	АКМ-1-160	350	1,5—4,5	13	3,1
Обжиговая	ОКМ-1-18	250	0,1—0,5	10	3,6
	ОК-108	370	0,5—3	27	8,6

5.8. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ МАШИН

Часовая производительность агломерационных машин для производств аглопоритового щебня и аглопоритового гравия, особенно при использовании в качестве сырья углеотходов или золы ТЭС, в значительной мере зависит от вертикальной скорости спекания (обжига) сырья или вертикальной скорости горения углерода топлива (при высоком содержании в отходах несгоревшего топлива). Производительность агломерационных машин зависит также от применяемого оборудования для охлаждения продукта: холодильника или часть агломерационной машины.

Агломерационные машины являются оборудованием длительного цикла изготовления, заказываемым для конкретного вида сырья (отходов) на основании индивидуально выполняемых в каждом случае расчета производительности машины и теплотехнического расчета.

Производительность агломерационной машины для производства аглопоритовых щебня и гравия P определяется по формуле, т/ч,

$$P = 0,06 \cdot C_B \cdot L_a \cdot B_a \cdot \gamma_c \cdot K_{II} \cdot K_B, \quad (5.14)$$

где C_B — вертикальная скорость, спекания (обжига), мм/мин, принимаемая по результатам исследований; L_a — активная длина агломашин, м, равная общей длине машины L_0 за вычетом длины зон сушки L_c (принимается по результатам исследований, обычно $L_c = 0,05-0,1L$) и охлаждения L_o (при наличии холодильника L_o принимается равным $0,9L$; при отсутствии холодильника и производстве аглопоритового гравия L_o обычно принимается равным $0,4L$ и уточняется расчетом); B_a — активная ширина агломашин, м; при необходимости в бортовой постели равна конструктивной ширине машины за вычетом двух толщин бортовой постели (обычно 2×50 мм); γ_c — насыпная плотность сырьевых гранул, т/м³, принимается по результатам исследований, обычно $1-1,1$; K_{II} — коэффициент выхода аглопорита или аглопоритового гравия из шихты, зависящий от содержания несгоревшего топлива и влажности шихты (определяется при составлении материального баланса обычно $K_{II} = 0,75-0,9$); K_B — коэффициент, учитывающий возврат части продукта в шихту; при отсутствии подачи возврата в шихту $K_B = 1$.

Пример определения производительности агломашин СМС-117 при производстве аглопоритового гравия по следующим исходным данным:

$$C_B = 11 \text{ мм/мин}; \quad L_a = L - L_c - L_o = 40 - 0,1 \cdot 40 - 0,4 \cdot 40 = 20 \text{ м};$$

$$B_a = 1,5 \text{ м}; \quad \gamma_c = 1,05 \text{ т/м}^3; \quad K_{II} = 0,8; \quad K_B = 1;$$

$$P = 0,06 \cdot 11 \cdot 20 \cdot 1,05 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1 = 16,7 \text{ т/ч.}$$

При насыпной плотности аглопоритового гравия $0,8 \text{ т/м}^3$ производительность составит $16,7 : 0,8 = 21 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Требуемая скорость агломашин v определяется по формуле, м/мин,

$$v = (C_B L_a) / (h \cdot 100), \quad (5.15)$$

где h — высота слоя сырьевых гранул; обычно $h = 0,2-0,3 \text{ м}$, зависит от конструкции машины; для СМС-117 $h = 0,25 \text{ м}$.

$$v = \frac{11 \cdot 20}{0,25 \cdot 100} = 0,9 \text{ м/мин.}$$

Время термообработки τ определяется по формуле

$$\tau = h / C_B, \quad (5.16)$$

Длина зоны охлаждения может быть проверена по следующей формуле, используемой для агломерационных машин металлургического производства и несколько видоизмененной применительно к производству аглопоритового гравия,

$$L_o = K_0 [(v h \cdot 0,9) / W \cdot 60], \quad (5.17)$$

где K_0 — коэффициент, зависящий от крупности гранул, при $d_{cp} = 15 \text{ мм}$, $K_0 = 6$; W — скорость воздушного потока (скорость фильтрации) в зоне охлаждения, м/с.

В зависимости от скорости агломашин v м/мин, рекомендуется принимать следующие значения скорости фильтрации W , м/с, в зоне охлаждения:

при $v = 0,8$	$w = 0,7$
$v = 0,9 - 1$	$w = 0,8$
$v = 1,1$	$w = 0,9$
$v = 1,2$	$w = 1$

Для вышеприведенного примера

$$L_o = 6 \cdot \frac{0,9 \cdot 250 \cdot 0,9}{0,8 \cdot 60} = 16,2 \text{ м},$$

что примерно соответствует принятой в расчете производительности агломашин и обеспечивает охлаждение аглопоритового гравия до требуемой температуры.

5.9. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ МАШИНЫ

Теплотехнический расчет агломерационной машины отличается от расчета других тепловых агрегатов. Это объясняется тем, что тепловой процесс на агломерационной машине протекает за счет попеременного просасывания газа сквозь движущийся слой материала, уложенного на колосники машины.

Детальный теплотехнический расчет такого процесса обычно ведется с использованием специального математического аппарата, которым определяется зависимость относительных температур материала и газа от безразмерных чисел высоты слоя и времени. Графики этих зависимостей приведены в специальной литературе. В результате расчета определяется время прогрева материала в слое по отдельным зонам агломашин и температура газов, уходящих из слоя, а также спекшегося материала.

В специализированных организациях имеются программы для выполнения детального теплотехнического расчета с помощью ЭВМ.

Теплотехнический расчет агломашин для инженерных целей, в котором определяется оптимальное распределение зон термообработ-

ки, расход топлива, воздуха и рециркуляционных газов по зонам, а также количество и температура уходящих газов, может проводиться по более упрощенной методике (на примере золы ТЭС), приведенной ниже.

Исходные данные

Характеристика золы
(зола от сжигания Кузнецкого угля)

Содержание углерода, % 10;
Плавкость, °C: $t_A = 1050$, $t_B = 1150$, $t_C = 1200$.

Состав шихты, % по массе:

Зола — 90, глина — 10

Характеристика сырьевых гранул:

Средний диаметр, мм 15
Влажность, % 16
Насыпная плотность, кг/м³ 1000

Характеристика агломерационной машины:

Ширина B , м 1,5
Общая длина L , м 40
Скорость движения v , м/мин 0,8—1,5
Длина одной вакуум-камеры, м 2
Высота слоя сырьевых гранул h , м 0,25
 » постели h_n , м 0,05
Ширина слоев боковой постели, м 0,1

Топливо для внешнего обогрева — мазут малосернистый

$Q_H^P = 39000$ кДж/кг.

Температуры тепловой обработки по зонам агломерационной машины:

Сушки 400
Подогрева 800
Зажигания 1150
Спекания (обжига) 1100—500

Вертикальная скорость спекания $C_B = 14,5$ мм/мин (суммарно по зонам подогрева, зажигания и спекания).

Характеристика готовой продукции:

Насыпная плотность, кг/м³ 770
Остаточное содержание углерода, % 1,5
Температура материала на выходе (после зоны охлаждения), °C 100

Материальный баланс и производительность:

Коэффициент выхода продукции (аглопоритового гравия и песка): $K_p = 770 : 1000 = 0,77$

Производительность. Производительность агломерационной машины определяется по формуле (5.14)

$$P = 0,06 \cdot 14,5 \cdot 18 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,77 \cdot 1 = 16,8 \text{ т/ч};$$

$$L_a = L - (L_c + L_o) = L - (0,1L + 0,45L) = 40 - 0,55 \cdot 40 = 18 \text{ м};$$

Таблица 5.11. Материальный баланс

Компоненты шихты (сырьевых гранул)	Поступает на агломашину			Выгорает в процессе тепловой обработки, кг	Выходит с агломерационной машины	
	% по сухой массе	на 1 т шихты, кг	% от шихты		кг	%
Зола	90	756	75,6	66	690	90
В том числе углерод	(9)	(76)	(7,6)	(66)	(10)	(1,5)
Глина	10	84	8,4	4	80	10
Вода	—	160	16	160	—	—
Итого	100	1000	100	230	770	100

$$B_a = B - 2 \cdot 0,05 = 1,5 - 0,1 = 1,4 \text{ м.}$$

Скорость агломерационной машины, v , по формуле (5.15) м/мин:

$$v = \frac{14,5 \cdot 18}{250 \cdot 1000} = 1,04.$$

Общее время τ термообработки в зонах подогрева, зажигания и обжига, по формуле (5.16) мин

$$\tau = 250 / 14,5 = 17,3.$$

Тепловые балансы зон сушки, подогрева и зажигания.

По результатам тепловых балансов (табл. 5.12) определяют количество теплоносителя по зонам, их длину и скорость фильтрации.

Тепловые балансы по зонам внешнего обогрева слоя составляют на расчетную величину слоя, которую принимают, например, равной трем диаметрам гранул: $h_{cл} = 3 \cdot d_{cp} = 3 \cdot 15 \approx 50$ мм.

В соответствии с материальным балансом (см. табл. 5.11) в 1 т шихты содержится 840 кг материала и 160 кг воды.

Расход шихты в час по расчетному слою составит: материала

$$\frac{16,8}{0,77} \cdot \frac{0,05}{0,25} \cdot \frac{840}{1000} = 3,66 \text{ т, или } 3660 \text{ кг,}$$

в том числе углерода

$$\frac{16,8}{0,77} \cdot \frac{0,05}{0,25} \cdot \frac{76}{1000} = 0,33 \text{ т, или } 330 \text{ кг;}$$

воды

$$\frac{16,8}{0,77} \cdot \frac{0,05}{0,25} \cdot \frac{160}{1000} = 0,70 \text{ т, или } 700 \text{ кг.}$$

Из уравнений теплового баланса определяют объем теплоносителя по зоне сушки:

Таблица 5.12. Тепловые балансы, кДж/ч

Статый баланса	Зона		
	сушки	подогрева	зажигания
Приход тепла			
С теплоносителем	$V_{тс} 400 \cdot 0,35 \cdot 4,18$	$V_{тп} 800 \cdot 0,36 \cdot 4,18$	$V_{тз} 1150 \cdot 0,37 \cdot 4,18$
$Q_1 = V_{тс} t_{тс} c_{тс}$			
С материалом	$3660 \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 4,18$	$3660 \cdot 180 \cdot 0,2 \cdot 4,18$	$3660 \cdot 400 \cdot 0,21 \cdot 4,18$
$Q_2 = I_{м} t_{м} c_{м}$			
С водой	$700 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 4,18$	$700 \cdot 0,25 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 4,18$	—
$Q_3 = I_{в} t_{в} c_{в}$			
От сгорания углерода	—	—	$330 \cdot 0,10 \cdot 21560$
$Q_4 = I_{у} K_{у}$			
Итого			
Расход тепла	$V_{тс} 585 + 120000$	$V_{тп} 1210 + 605000$	$V_{тз} 1780 + 1985000$
На нагрев материала			
$Q_5 = I_{м} t_{м} c_{м}$			
На нагрев воды	$3660 \cdot 180 \cdot 0,2 \cdot 4,18$	$3660 \cdot 400 \cdot 0,21 \cdot 4,18$	$3660 \cdot 1100 \cdot 0,23 \cdot 4,18$
$Q_6 = I_{в} t_{в} c_{в}$			
На нагрев и испарение воды	$700 \cdot 0,25 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 4,18$	$700 \cdot 0,25 \cdot 625 \cdot 4,18$	—
$Q_7 = I_{в} r$			
С уходящими газами	$V_{тс} 90 \cdot 0,31 \cdot 4,18$	$V_{тп} 400 \cdot 0,35 \cdot 4,18$	$V_{тз} 900 \cdot 0,365 \cdot 4,18$
$Q_8 = V_{тс} t_{тс} c_{тс}$			
Итого	$V_{тс} 117 + 1980000$	$V_{тп} 585 + 1765000$	$V_{тз} 1570 + 3340000$

Примечание. Здесь и далее объем газов приведен к нормальным условиям (0°C и давление 101325 Па).

$$V_{тс} \cdot 585 + 120\ 000 = V_{тс} \cdot 117 + 1\ 980\ 000; \quad V_{тс} = 3960 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L_c = 0,1 \rightarrow L = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ м}; \quad F_c = 4 \cdot 1,5 = 6 \text{ м}^2.$$

Скорость фильтрации в зоне сушки:

$$W = \frac{3960}{3600 \cdot 6} = 0,184 \text{ м/с}.$$

То же по зоне подогрева:

$$V_{тп} \cdot 1210 + 605\ 000 = V_{тп} \cdot 585 + 1\ 765\ 000; \quad V_{тп} = 1700 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Под зону подогрева принимаем 1 вакуум-камеру:

$$L_{п} = 2 \text{ м}; \quad F_{п} = 3 \text{ м}^2; \quad W_{п} = \frac{1700}{3600 \cdot 3} = 0,16 \text{ м/с}.$$

По зоне зажигания:

$$V_{тз} \cdot 1780 + 1\ 985\ 000 = V_{тз} \cdot 1370 + 3\ 840\ 000; \quad V_{тз} = 4500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Зону зажигания принимают равной 2 вакуум-камерам:

$$F_3 = 6 \text{ м}^2; \quad W_3 = \frac{4500}{3600 \cdot 6} = 0,21 \text{ м/с}.$$

При составлении тепловых балансов приняты следующие условия: испарение воды начинается при температуре 60°C (температура точки росы);

в зоне сушки испаряется 75 % воды, содержащейся в расчетном слое;

в зоне зажигания сгорает 10 % углерода, содержащегося в слое. Температуры прогрева материала в слое и уходящих из слоя газов приняты по аналогии с детальными расчетами процесса.

Принято, что горение (окисление) углерода проходит по реакции $4C + 3O_2 = 2CO_2 + 2CO$. По этой реакции для окисления 1 кг углерода требуется 2 кг кислорода и выделяется 21560 кДж тепла.

Скорость фильтрации теплоносителя при слоевом горении углерода (в зоне обжига) определяют по формуле, м/с,

$$W_0 = (C_{в} C G_{O_2}) / [6000 (g O_2 - g O_2'')], \quad (5.18)$$

где $C_{в}$ — вертикальная скорость спекания, мм/мин; C — содержание углерода в шихте, кг/м³; G_{O_2} — расход кислорода на горение углерода, кг/кг; $g O_2'$ — концентрация кислорода в теплоносителе, поступающего в зону обжига (слоевого горения), кг/м³; $g O_2''$ — то же, удаляющегося из зоны, кг/м³.

Так как теплоноситель, подаваемый в большую часть зоны обжига, состоит из смеси продуктов сгорания и рециркуляционных газов, принимаем концентрацию кислорода в нем 19 %, а концентрацию кислорода в удаляющемся из зоны теплоносителя — 7 %.

Тогда $g O_2' = (32/22,4) 19 = 0,27$; $g O_2'' = (32/22,4)7 = 0,1$;

$$W_0 = (14,5 \cdot 66 \cdot 2) / [60\,000 (0,27 - 0,1)] = 0,184 \text{ м/с.}$$

Время слоевого горения углерода в зоне обжига:

$$\tau_0 = \tau - \frac{L_{II} + L_{III}}{v} = 17,3 - \left(\frac{2 + 4}{1,04} \right) = 17,3 - 5,9 = 11,4 \text{ мин.}$$

Длина зоны обжига: $L_0 = \tau_0 v$.

$L_0 = 11,4 \cdot 1,04 = 12 \text{ м}$, что соответствует 6 вакуум-камерам.

На основании тепловых балансов по расчетному слою и расчетов по горению углерода в табл. 5.13 представлено распределение зон термообработки по агломашине, где учтено постепенное снижение температуры теплоносителя, подаваемого в зону обжига.

Таблица 5.13. Расчет высоты слоя и горения углерода

Зона	Количество вакуум-камер	Температура подаваемого теплоносителя, °С	Скорость фильтрации, м/с	Количество теплоносителя, м³/ч
Сушки	2	400	0,18	3960
Подогрева	1	800	0,16	1700
Зажигания	2	1150	0,21	4500
Обжига I	4	1100—500	0,18	7780
Обжига II	1	250	0,18	1945
Обжига III	1	20	0,18	1945

Расходы топлива, воздуха и рециркуляционных газов

Топливо — мазут малосернистый с теплотой сгорания $Q_c = 39000 \text{ кДж/кг}$. Распыливание мазута в горн агломерационной машины осуществляют воздухом.

Расчет горения мазута приведен в гл. 2. Расчетом определяют количество и энтальпию продуктов сгорания. Результаты расчета горения мазута, выполненного для условий данного примера, приведены в табл. 5.14.

В качестве рециркуляционных газов, подаваемых в горн с целью снижения расхода мазута, приняты газы, отсасываемые из коллектора агломашинны с температурой 250 °С.

Общий расход мазута по зонам термообработки составляет 555,4 кг/ч. Удельный расход на 1 т продукции $555,4/16,8 = 33 \text{ кг}$, на 1 м³ продукции $555,4/20,8 = 25,4 \text{ кг}$.

Общее количество используемых рециркуляционных газов — 13609 м³/ч, а их общая энтальпия — $13609 \cdot 334 = 4,5 \text{ ГДж}$, что эквивалентно экономии мазута 128 кг/ч.

Общий расход воздуха для горения мазута составляет 6562 м³/ч.

Общий тепловой баланс зон термообработки агломашинны

Приход тепла

Физическое тепло шихты и постели;

Таблица 5.14. Определение расхода мазута, воздуха и рециркуляционных газов

Показатель	Зоны					
	сушки	подогрева	зажигания	обжига I	обжига II	обжига III
Температура теплоносителя, °С		800	1150	1100—500 ср. 800	250	20
Расход теплоносителя, м³/ч	400	1700	4500	7780	1945	1945
Удельная энтальпия теплоносителя, кДж/м³	2800 а + 334 в = 3165	2800 а + 334 в = 1210	2800 а + 334 в = 1750	2800 а + 334 в = 1210		
Балансовое уравнение на 1 м³ теплоносителя, где 2800 — энтальпия продуктов сгорания мазута, а 334 — рециркуляционных газов при 250°С, кДж/м³	10,386	35,895	57,2565	35,2750		
Содержание в теплоносителе, %/м³/ч:	90,3564	65,1105	42,1935	65,5060		
продуктов сгорания	389	505	2565	2720		
рециркуляционных газов	12,6·0,9 = 34,8	12,6·0,9 = 62,5	12,6·0,9 = 226,1	12,6·0,9 = 240,0	100/1945	
Расход мазута*, кг/ч	34,8·11,8 = 412	620	2700	2830		
Расход воздуха**, м³/ч						1945

* 12,6 м³ — количество продуктов сгорания 1 кг мазута при $\alpha = 1,15$; 0,9 — коэффициент, учитывающий изломок и другие потери.

** 11,8 м³ — количество воздуха для горения 1 кг мазута при $\alpha = 1,15$.

$$G_M = 16\,800/0,77 + 16\,800/0,77 \cdot 0,2 = 26\,160 \text{ кг/ч};$$

$$Q_1 = 26\,160 \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 4,18 = 435 \text{ МДж/ч.}$$

Физическое тепло воды в шихте:

$$G_B = \frac{16\,800}{0,77} \cdot 0,16 = 3500 \text{ кг/ч};$$

$$Q_2 = 3500 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 4,18 = 293 \text{ МДж/ч.}$$

Тепло от сжигания мазута:

$$G_T = 555,4 \text{ кг/ч};$$

$$Q_3 = 555,4 \cdot 39\,000 = 21\,700 \text{ МДж/ч.}$$

Тепло от сгорания углерода:

$$G_Y = \frac{16\,800}{0,77} \cdot 0,066 = 1440 \text{ кг/ч};$$

$$Q_4 = 1440 \cdot 21\,560 = 31\,200 \text{ МДж/ч.}$$

Общий приход тепла:

$$Q_{\text{п}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 53\,628 \text{ МДж/ч.}$$

Расход тепла.

Тепло материала и постели на выходе из зон термообработки:

$$Q_5 = Q_M t_M c_M;$$

$$Q_M = Q_M - (Q_B + Q_D) = 26\,160 - (3500 + 1440) = 21\,220 \text{ кг/ч.}$$

Средняя температура материала после термообработки (после 11-й вакуум-камеры) 800 °С:

$$Q_5 = 21\,220 \cdot 800 \cdot 0,23 \cdot 4,18 = 16\,500 \text{ МДж/ч.}$$

Тепло на нагрев и испарение воды:

$$Q_6 = G_6 r;$$

$$Q_6 = 3500 \cdot 2680 = 9300 \text{ МДж/ч.}$$

Тепло с уходящими газами:

$$Q_7 = V_2 t_2 t_T;$$

$$V_T = V_T + 22,4/18 \cdot 3500 + 22,4/32 \cdot 1440 \cdot 2 (1,33 - 1);$$

$$V_T = 21\,830;$$

$$Q_7 = 21\,830 + 4350 + 660 = 26\,840.$$

С учетом содержания в газах 50 % подсосываемого воздуха:

$$V_{\text{гв}} = 26\,840 \cdot 1,5 = 40\,260 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_7 = 40\,260 \cdot 0,34 \cdot 4,18 \cdot t_T = 58; \quad t_T \text{ МДж/ч.}$$

Теплопотери в окружающую среду и с недожогом топлива около 30 % от Q_D

$$Q_8 = 0,3 Q_D.$$

Общий расход тепла:

$$Q_D = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = \\ = (16\,500 + 9300 + 58 t_T) 1,3 = 33\,600 + 75 t_T.$$

Из уравнения теплового баланса $Q_{\text{п}} = Q_D$ определяют температуру уходящих газов

$$t_T = (53\,628 - 33\,600)/75 = 265 \text{ °С.}$$

В табл. 5.15 приведен общий тепловой баланс.

Таблица 5.15. Общий тепловой баланс

Приход тепла			Расход тепла		
Показатель	МДж/ч	%	Показатель	МДж/ч	%
Тепло шихты	435	0,8	С материалом	16500	31
Тепло воды	293	0,6	Нагрев и испарение воды	9300	17
Тепло от сжигания мазута	21700	40,5	С уходящими газами	15400	29
Тепло от сгорания углерода	31200	58,1	Теплопотери	12400	23
Итого:	53628	100		53600	100

ГЛАВА 6. ПРОИЗВОДСТВО ПОРИСТЫХ ЩЕБНЯ И ПЕСКА (ШЛАКОВОЙ ПЕМЗЫ) ИЗ РАСПЛАВА ШЛАКА

Шлаковую пемзу получают поризацией расплава шлаков металлургического и химического производства с последующим дроблением и классификацией. По данным Уральского института черных металлов (УИЧМ), среднеотраслевая стоимость основных фондов для производства 1 м³ шлаковой пемзы составляет 4,72 руб., себестоимость 1 м³ — 1,99 руб., а оптовая цена — 2,59 руб. Выработка на одного работающего — 5 тыс. м³ в год.

6.1. СВОЙСТВА РАСПЛАВА ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

Конечные свойства шлаковой пемзы зависят от свойств расплава (химического состава и структуры, вязкости и поверхностного натяжения, кристаллизационной способности, газовой фазы, устойчивости от распада).

Химический состав и структура определяются составом руды, флюсов, видов применяемого топлива и выплавляемого чугуна. Главные составляющие — CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , сумма которых часто достигает 95—98%. В расплаве содержатся также MnO , FeO и SO_3 , влияющие на его свойства, а также многочисленные микропримеси от тысячных до десятых долей процента. Последние оказывают влияние на кинетику кристаллизации расплава и на свойства шлаковой пемзы. В зависимости от соотношения в расплаве четырех основных оксидов их условно классифицируют на три группы: основные, кислые и нейтральные.

Если модуль основности больше 1, шлаки относят к основным. К кислым относят шлаки, у которых модуль основности меньше 1, а к нейтральным — у которых модуль равен 1.

Наибольшее признание получила концепция об электролитической природе шлаковых расплавов [3]—[4].

По формулировке О. А. Есина, жидкий шлак — это микрогетерогенный расплав, состоящий из катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} и других анионов кислорода и серы (O^{2-} , S^{2-}), а также комплексных анионов различной сложности. Подобные микрогетерогенные группы при быстром охлаждении могут быть зафиксированы в шлаковом стекле (гран-шлаке), а при медленном охлаждении являются теми элементами, из которых образуются кристаллические фазы затвердевшего шлака.

Вязкость

Вязкость — одна из существенных характеристик расплава, определяющих способность его к вспучиванию. Вискозиметрическая характеристика расплава в зависимости от температуры складывается как бы из двух участков: в области высоких температур шлаковые расплавы подчиняются законам истинных (ньютоновских) жидкостей, а в области температур, лежащих ниже температуры начала кристаллизации, эта зависимость принимает аномальный характер. Между вязкостью шлаковых расплавов и структурой шлаков при их кристаллизации установлена определенная зависимость. Вязкость расплава растет с усложнением структуры присутствующих в нем кремнекислородных радикалов, а следовательно, и с усложнением структуры кристаллизующихся из этого расплава фаз. Значительное снижение вязкости расплава вызывает содержащаяся в нем газовая фаза. Вязкость шлаковых расплавов в области рабочих температур производства шлаковой пемзы обычно находится в интервале 2—20 Па·с.

Поверхностное натяжение в значительной мере определяет структуру шлаковой пемзы. Значение поверхностного натяжения составляет более 0,4 Н/м [8].

Кристаллизационные свойства

Физико-механические свойства шлаков с одним и тем же химическим составом определяются характером их кристаллизации [9].

Изменяя кристаллизационную способность и скорость кристаллизации шлаковых расплавов различными технологическими приемами, можно добиться желаемой кристаллической структуры материала и влиять на процесс поризации шлакового расплава [6].

Газовая фаза

В ходе доменного процесса шлаковый расплав находится в контакте с газовой средой. Количество газов, поглощенных расплавом, называют газонасыщенностью. Газонасыщенность доменных шлаков колеблется в интервале 1100—1600 $\text{см}^3/100$ г шлака и является вполне достаточным, для того чтобы произвести работу по вспучиванию шлакового расплава. В шлаковом расплаве обычно обнаруживают азот (0,3—0,8%), водород, окись углерода (10—30%), воду (2,1—6,2 мг/г).

Силикатный распад доменных шлаков

Силикатный распад является наиболее опасным видом распада из-за полиморфного превращения двухкальциевого силиката [1].

Рациональным путем получения устойчивых шлаков является доменная стабилизация, то есть получение шлаков с устойчивой структурой в процессе самой доменной плавки за счет замены части извести магнезитом.

Другим способом является внедоменная стабилизация (минералогическая и кристаллохимическая), связанная с необходимостью строить специальные установки для этой цели.

6.2. ПРОИЗВОДСТВО ШЛАКОВОЙ ПЕМЗЫ

Поризация шлаковых расплавов

Свойства шлаковой пемзы зависят от способности расплавов вспучиваться [5]. Газовая фаза, вызывающая поризацию расплава, многокомпонентна по составу. Она создается из собственных газов

расплава и продуктов взаимодействия серы с водяными парами, кислородом воздуха и оксидом железа. Крупные поры и каверны могут образовываться непосредственно водой (вернее, ее парами), подаваемой в расплав.

Гетерогенизация является обязательным условием возникновения зародышей пузырьков собственной газовой фазы. Она начинается внедрением в него большого количества мелких паровых пузырьков при обработке расплава водой. Газовые пузырьки, выделяясь из расплава у поверхности раздела фаз пар—жидкость, диффундируют к пузырькам водяного пара и сливаются с ними. Одновременно пары воды, вступая в теплообмен с расплавом, интенсивно охлаждают его, вызывая кристаллизацию. В результате во всем объеме шлака создаются поверхности раздела кристалл—расплав, освобождающие основную массу собственной газовой фазы. И, наконец, пузырьки пара, осуществляя энергичный барботаж расплава, подвергают гидролизу сульфиды, образуя новую газовую фазу, которая кроме всего способствует выделению газов, растворенных в расплаве.

Условия возникновения и характер роста газовых пузырьков, а также газодерживающая способность расплава в значительной мере определяются его физическими свойствами, главным образом, показателями вязкости и поверхностного натяжения.

Интенсивное возникновение газовой фазы, начинающееся в момент обработки расплава водой, должно сопровождаться такой скоростью нарастания вязкости, которая могла бы ограничить рост пузырьков до полного застывания расплава в пористую глыбу.

Способы производства

Промышленное производство шлаковой пемзы осуществляют (табл. 6.1) четырьмя способами: брызгально-траншейным, гидроэкранным, бассейновым и вододутьевым.

Таблица 6.1. Способы производства пемзы

Способ производства	Изготовитель	Производительность, тыс. м ³
Брызгально-траншейный	Металлургический завод «Азов-сталь» (г. Жданов)	1240
Гидроэкранный	Череповецкий металлургический завод	150
	Криворожский металлургический завод	160
	Новолипецкий металлургический комбинат	270
Бассейновый	Челябинский металлургический завод	320
Вододутьевой	Нижне-Тагильский металлургический завод	50
	Трест «Магнитострой» (г. Магнитогорск)	40

Брызгально-траншейный способ является наиболее простым. Расплав по мере слива в траншею пронизывается водяными струями из эвольвентных сопел, установленных группами по 5 штук с таким расчетом, чтобы вертикальная ось ковша совпадала с осью среднего сопла каждой группы. По окончании слива полученный слой вспученного шлака выдерживается 1,5 ч, обильно поливается водой, а затем сливается следующий слой расплава. Эти операции чередуются до заполнения траншеи. Поризованная масса в траншее разрабатывается экскаватором и подвергается дроблению и расसेву на стандартные фракции. Технологическая схема шлакопемзовой установки «завода «Азовсталь», работающая по этому способу, представлена на рис. 6.1 [12].

Получаемая этим способом шлаковая пемза характеризуется низким качеством: неоднородна по структуре, размер пор колеблется в интервале 0,1—8 мм, насыпная плотность—700—900 кг/м³, прочность при сдавливании в цилиндре—2—3,5 МПа. Поэтому брызгально-траншейный способ нельзя считать перспективным для производства шлаковой пемзы.

Гидроэкранный способ [6]. Заключается в многократном воздействии на шлаковый расплав струй воды в открытых желобах, оборудованных экранами, в результате которого регулируются процессы выделения газов в шлаке, скорость кристаллизации и изменение вязкости расплава. По этому способу шлаковый расплав через приемную воронку сливают из ковша в верхний желоб. Под воздействием воды и воздуха, которые подают на этот же желоб по специальным насадкам, расплав разгоняется, диспергируется и выбрасывается на экран, на котором происходит интенсивное смешивание расплава с водой. По экрану поризующийся расплав стекает на второй лоток, где повторяется тот же процесс.

Гидроэкранный прибор может иметь две или три ступени обработки. В результате газовые пузырьки большого диаметра разрушаются, а вязкость расплава достигает значений, при которых фиксируются пузырьки газа диаметром до 1 мм.

Поризованная масса шлака еще в пиропластическом состоянии с экрана последней ступени передается на промежуточный склад, где завершаются процессы охлаждения и кристаллизации. Остывшую массу дробят и рассеивают на стандартные фракции.

Полученная шлаковая пемза имеет однородную мелкопористую структуру с размером пор до 1 мм; ее насыпная плотность—600—700 кг/м³, прочность при сдавливании в цилиндре 0,8—1,5 МПа (рис. 6.2).

При бассейновом способе одновременно обрабатываются большие объемы расплава, при этом в бассейне протекает весь процесс производства шлаковой пемзы: вспучивание, кристаллизация и формирование поризованной структуры. Эта особенность способа—в

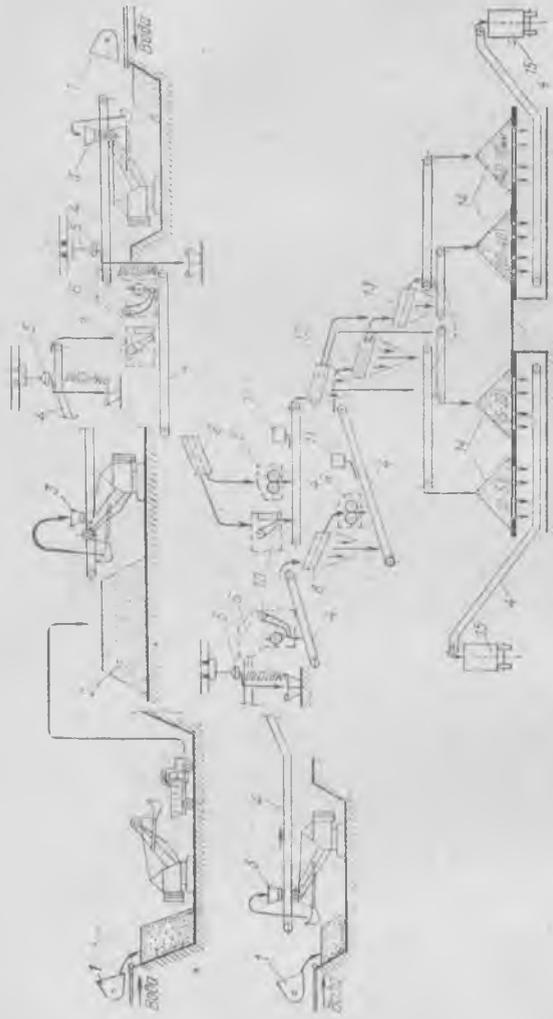


Рис. 6.1. Технологическая схема шлакопемзовой установки завода «Азовсталь»

1 — шлаколивный ковш; 2 — промежуточный склад; 3 — бункер-позвешиватель; 4 — транспортер; 5 — электромагнит; 6 — дробилка С-643; 7 — дробилка СМ-16Д; 8 — грохот ГИЛ-42; 9 — дробилка ДДЗ-2М; 10 — дробилка СМ-11; 11 — автоматические весы; 12 — грохот ГИЛ-52; 13 — контрольный грохот; 14 — штабеля готовой продукции (цифры в скобках — фракция, мм); 15 — железные вагоны

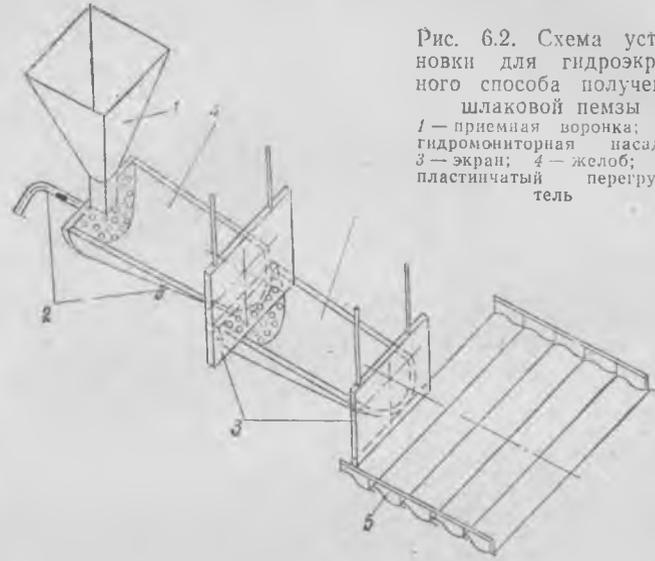


Рис. 6.2. Схема установки для гидроэкранный способа получения шлаковой пемзы
1 — приемная воронка; 2 — гидромониторная насадка; 3 — экран; 4 — желоб; 5 — пластинчатый перегружатель

сочетании с возможностью широкого регулирования процесса вспучивания, изменением технологических параметров — позволяет бассейну перерабатывать в шлаковую пемзу практически любые доменные шлаковые расплавы.

Опрокидной бассейн (рис. 6.3) [15] представляет собой металлическую чашу с перфорированным днищем, через которое подают воду. Опрокидывание бассейна производится с помощью специальной гидравлической системы. Технология производства: из шлакового ковша вместимостью 16,5 м³ расплав в течение 2 мин сливают в чашу бассейна на фонтанирующие струйки воды. Процесс вспучивания длится 1,5—2 мин, после чего вспученный «пирог» выдерживают в бассейне 8—10 мин. Затем бассейн опрокидывают, вспученный шлак выбрасывают в приемок и сразу транспортируют на промежуточный склад для полного охлаждения. После этого вспученную массу дробят и рассеивают на стандартные фракции.

Вододутьевой способ основан на поризации расплава в специальной конструкции струйных аппаратов [10]. Аппарат состоит из четырех частей: приемной камеры, рабочего сопла, направляющего лотка и камеры смешения (рис. 6.4). Шлаковый расплав с помощью подводящего желоба подают на направляющий лоток, стекая с которого расплав пересекает струю сжатого воздуха с распыленной в ней водой. При этом сжатый воздух разбивает расплав на гранулы и

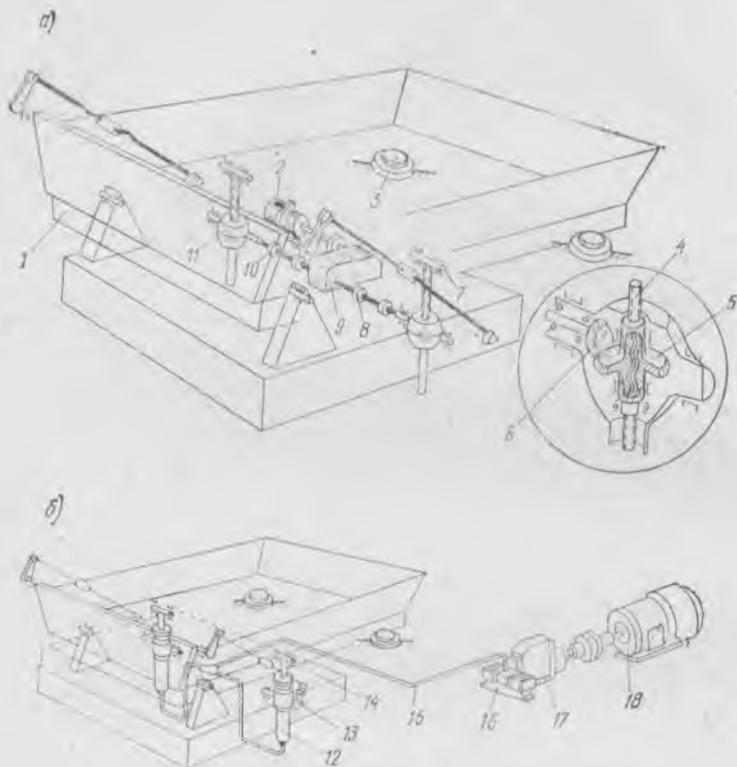


Рис. 6.3. Опрокидной бассейн

a — кинематическая схема механического привода; *б* — кинематическая схема гидравлического привода; 1 — неподвижный шарнир; 2 — электродвигатель; 3 — неподвижная опора; 4 — подъемная штанга; 5 — коническое колесо с внутренней винтовой нарезкой для штанги; 6 — приводная коническая шестерня; 7 — подвижный шарнир; 8 — зубчатая муфта; 9 — редуктор; 10 — муфта предельного момента; 11 — винтовой домкрат; 12 — гидродомкрат; 13 — ось поворота гидродомкрата; 14 — подвижная опора; 15 — маслопровод; 16 — золотники; 17 — радиально-поршневой насос; 18 — электродвигатель

увлекает в камеру смешения; там еще жидкие гранулы расплава интенсивно перемешиваются с воздушной смесью, вспучиваются и выбрасываются на экран и уже оттуда — на приемные устройства, где агрегируются в крупные глыбы. Водоструйные аппараты требуют сравнительно большого расхода поризаторов: на 1 т расплава необходимо около 3 м³ воды, 20—40 м³ сжатого воздуха и до 120 кг пара.

Три последние способа — гидроэкранный, бассейнный и вододутьевой имеют примерно одинаковые технико-экономические показатели и качество шлаковой пемзы.

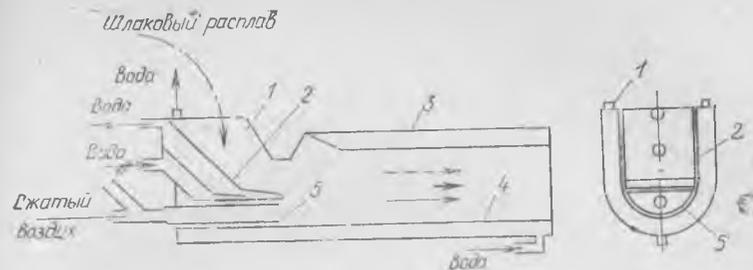


Рис. 6.4. Схема вододутьевого аппарата с составной приемной камерой

1 — стенка приемной камеры; 2 — направляющий лоток; 3 — водяная рубашка; 4 — камера смешения; 5 — рабочее сегментное сопло

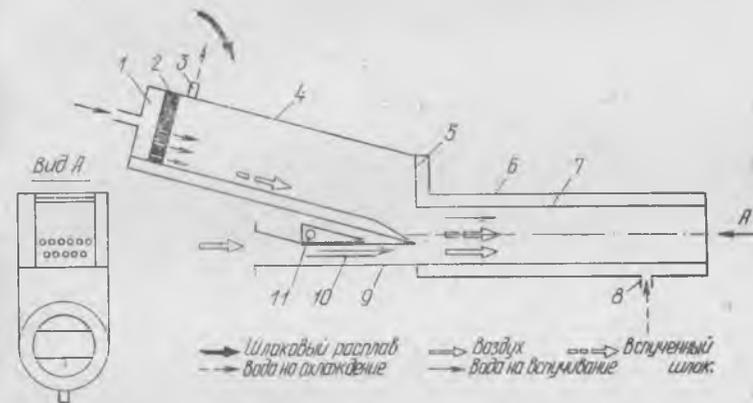


Рис. 6.5. Схема водовоздушного гранулятора шлакового расплава
1 — верхняя водоподающая коробка; 2 — сопловая доска; 3 — водоотводный патрубок; 4 — гидрожелоб; 5 — лобовая доска; 6 — водяная рубашка; 7 — камера смешения; 8 — водоподающая коробка; 9 — сегментное сопло; 10 — перегородка; 11 — водоподающий патрубок

К числу перспективных способов следует отнести производство грависеидобной шлаковой пемзы. Для вспучивания и диспергирования расплава используют водовоздушный гранулятор, усовершенствованный струйный вододутьевой аппарат, в котором контакт с водой и вспучивание расплава начинается еще в приемном желобе (рис. 6.5) [10].

Технология получения грависеидобной шлаковой пемзы: диспергированные частицы расплава из воздушного гранулятора направляются на экран, где вспученная пиропластическая масса расплава соединяется в крупные куски, а затем еще в подвижном состоянии обрабатывается в барабанном холодильнике. Во вращающемся барабане с продольными лопастями происходит дополнительное

6.3. СВОЙСТВА ШЛАКОВОЙ ПЕМЗЫ

Основными свойствами, определяющими качество шлаковой пемзы, являются насыпная плотность, прочность и теплопроводность. Они формируются сложным комплексом факторов, в числе которых важнейшими являются характер пористо-капиллярной структуры, степень ее закристаллизованности и манералогический состав.

Насыпная плотность шлаковой пемзы зависит главным образом от характера пористо-капиллярной структуры и межзерновой пустотности, определяемой формой и размером зерен шлаковой пемзы. По ГОСТ 9760—86 шлаковая пемза в зависимости от насыпной плотности подразделяется на марки: 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 и 1000.

Прочность. Известно, что в общем случае при прочих равных условиях чем меньше размер пор, тем выше прочность пористого материала. В зависимости от прочности, определяемой сдавливанием в цилиндре по ГОСТ 9758—77 она подразделяется на марки П25, П35, П50, П75, П100, П125, П150, П200, П250, П300, П350.

В табл. 6.2 приведены показатели средневзвешенного значения диаметра пор и приведенного коэффициента вариации распределения пор наиболее характерных проб шлаковой пемзы [1].

Таблица 6.2. Размеры пор и характеристики их распределения в шлаковой пемзе

Индекс пробы	Содержание пор, %, диаметр, мм					
	0,3	0,3—0,5	0,5—1	1—2	2—3	3
а	35,5	22,4	31	10	0,6	—
б	39,8	25,5	18,5	12,1	1,1	—
в	8,2	13,3	35,1	31	10,2	2,2
г	25,7	15,5	30,3	23,3	4,3	0,9

Продолжение табл. 6.2

Индекс пробы	d_{cp}	CV	Насыпная плотность, кг/м ³	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа по ГОСТ 9758—77	Пористость, %
а	0,63	4,09	757	1,71	73
б	0,61	3,81	755	1,72	74
в	1,19	1,55	745	0,84	75
г	0,74	4,16	758	0,89	73

Шлаковая пемза, имеющая низкие прочностные показатели (см. табл. 6.2, пробы в, г), характеризуется высоким (более 20%) содержанием крупных пор (1—2 мм) и даже каверы со средним диаметром более 3 мм.

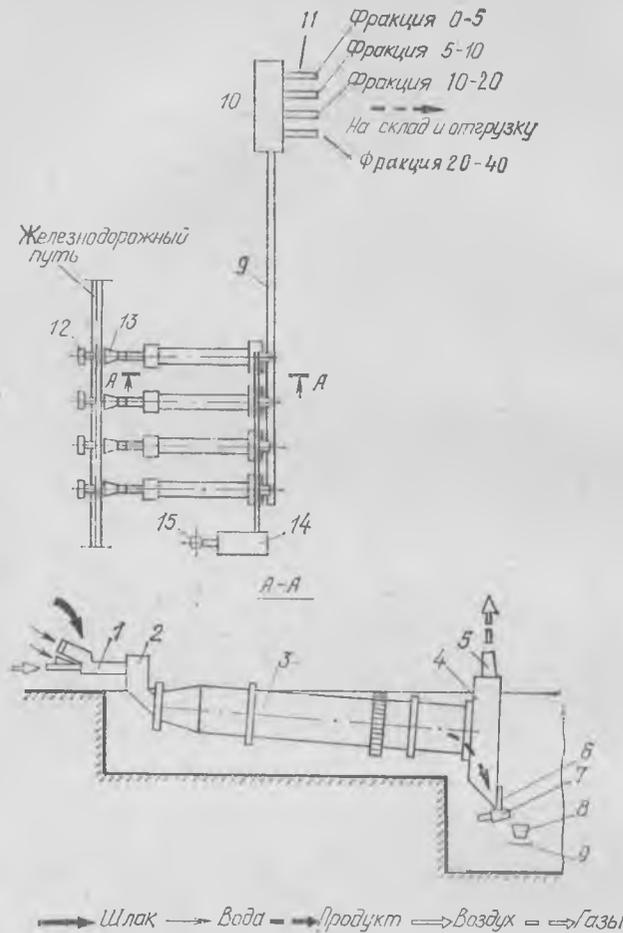


Рис. 6.6. Технологическая схема установки без промежуточного склада для производства гравиеподобной шлаковой пемзы

1 — водовоздушный гранулятор; 2 — приемная камера; 3 — барабанный холодильник; 4 — разгрузочная камера; 5 — парогазовоздухопровод; 6 — затвор «мигалка»; 7 — вибропитатель; 8 — короб; 9 — конвейер нефракционированного продукта; 10 — грохот; 11 — конвейер фракционированного продукта; 12 — коркопробиватель; 13 — приемная ванна; 14 — газоочистка; 15 — труба вытяжная

вспучивание, разрушение глыб на отдельные зерна и их окатывание, в результате чего они получают гравиеподобную форму.

Выход фракции 0—5 мм примерно 30%, фракции 5—20 мм не менее 50% и фракции 20—40 мм около 20% (рис. 6.6) [11].

В пробах с большими показателями прочности (пробы а, б) количество самых мелких пор (0,3 мм) достигает 35—40% при наличии 10—12% пор диаметром 1,2—2,0 мм и совершенно незначительном присутствии пор диаметром 2,0—3,0 мм (0,5—1,1%).

Установлено, что стеклофаза понижает прочность, но улучшает теплофизические свойства шлаковой пемзы. Не менее трудная проблема — совместить требование о получении шлаковой пемзы с возможно меньшей насыпной плотностью при повышенной прочности. Не случайно поэтому все заводы выпускают шлаковую пемзу только в интервале марок 600—800 (табл. 6.3).

Таблица 6.3. Фактические показатели насыпной плотности и прочности шлаковой пемзы на действующих установках*

Шлакопемзовые установки	Фракции, мм	Марка по насыпной плотности	Марка по прочности
Металлургический з-д «Азовсталь»	До 5	1000	—
	5—20	900	П 250
	20—40	800	—
Металлургический з-д «Криворожсталь»	До 5	1000	—
	5—10	700	П 100
	10—20	600	П 125
Череповецкий металлургический з-д	До 5	1000	—
	5—10	700	П 100
	10—20	600	П 125
Челябинский металлургический з-д	До 5	900	—
	5—20	800	П 125
	20—40	700	П 100
Нижне-Тагильский металлургический комбинат	До 5	1000	—
	5—10	800	—
	10—20	800	П 75
Новолипецкий металлургический комбинат	До 5	800	—
	5—20	600	П 75
	20—40	500	П 50
Трест Магнитострой	До 5	1000	—
	5—10	700	П 125
	10—20	600	П 100

* По данным УралНИИЧМ.

Теплопроводность. В Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ) Главлипецкстроя проведены исследования по определению величины теплопроводности шлаковой пемзы в куске, по результатам которых предложен расчетно-экспериментальный метод оценки этого показателя. Он основан на том, что шлаковую пемзу условно можно представить как трехкомпонентную систему, включающую кристаллическую фазу, стеклофазу и поры.

Содержание компонентов шлаковой пемзы с достаточной точностью определяют с помощью петрографического метода. Значения коэффициентов теплопроводности кристаллической и стеклообразной фаз шлаковой пемзы, установленные экспериментально, составляют соответственно: 1,19 Вт/(м·К) и 0,65 Вт/(м·К).

Для ориентировочной оценки $\lambda_{эфф}$ шлаковой пемзы можно поль-

зоваться номограммой (рис. 6.7). Номограмма составлена с условием, что средний диаметр пор шлаковой пемзы не превышает 2 мм. Номограмма позволяет с точностью до 10% определять значения $\lambda_{эфф}$ шлаковой пемзы в куске.

Минеральный состав. Главные минералы шлаковой пемзы — это силикаты и алюмосиликаты кальция и магния: мелилит — твердый раствор гелинита $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ и окерманита $2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$; псевдоволластонит $\alpha CaO \cdot SiO_2$; ранкинит $3CaO \cdot 2SiO_2$; мервинит $3CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$; форстерит $2MgO \cdot SiO_2$; ольдгамит CaS и двухкальциевый силикат $\beta 2CaO \cdot SiO_2$.

Реже встречаются анортит $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$; диопсид $CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$; алабандин MnS и ряд других минералов. В шлаковой пемзе всегда присутствует стекло в количестве 20—60%.

Конечный минеральный состав определяет устойчивость шлаковой пемзы к распаду, а характер кристаллизации оказывает влияние на прочность межпорового материала.

Качество шлаковой пемзы. Потенциальные показатели качества шлаковой пемзы в 2—3 раза выше, чем у шлаковой пемзы, выпускаемой промышленностью. Вот почему повышение качества шлаковой пемзы является одним из основных вопросов ее производства, он связан с тремя проблемами: оптимизацией свойств шлакового расплава; совершенствованием организационной структуры и экономических факторов получения шлаковой пемзы. Без ущерба для доменного процесса возможно оптимизировать свойства шлакового расплава для дальнейшей переработки. Имеются такие области химического состава и газовой фазы расплава, показатели вязкости и поверхностного натяжения, которые отвечают и требованиям доменного процесса и близки к требованиям технологии шлакопереработки. Дополнительным мероприятием по улучшению свойств расплава шлака является внедоменная обработка, например, гетерогенизация порошковыми добавками. Вторым, наиболее важным направлением в системе мероприятий по улучшению качества шлаковых материалов, является совершенствование технологии. Необходимо внедрить автоматизацию

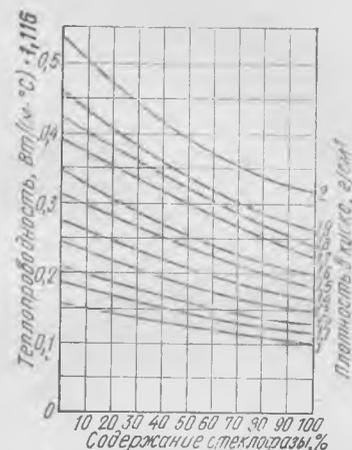


Рис. 6.7. Влияние стеклофазы и плотности на теплопроводность шлаковой пемзы в куске

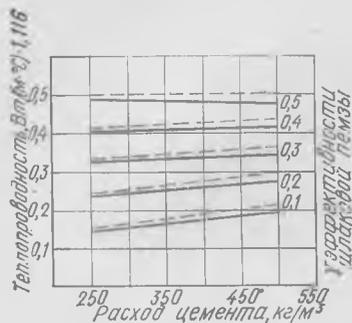


Рис. 6.10. Номограмма определения теплопроводности шлакопемзобетона в сухом состоянии

Позволяет с точностью до 10% оценивать теплопроводность шлакопемзобетона.

Конструкционный шлакопемзобетон

В производственных условиях получены шлакопемзобетоны классов В10—В30 со средней плотностью 1700—1950 кг/м³. В уплотненном шлакопемзобетоне около 70% объема занимает шлаковая пемза, поэтому средняя плотность бетона в первую очередь определяется плотностью зерна шлаковой пемзы. С другой стороны, самой плотной составляющей шлакопемзобетона является цементный камень, а расход цемента для получения заданной прочности бетона определяется прочностью зерна шлаковой пемзы.

Получение конструкционного бетона с оптимальными свойствами по прочности и средней плотности зависит прежде всего от оптимального соотношения прочности и плотности шлаковой пемзы.

Прочность на растяжение. Установлено (НИИЖБ), что для пропаренного шлакопемзобетона класса В15 прочность на растяжение составляет 1,6—2,3 МПа, для бетона нормального твердения класса В15 — 1,8—3,1 МПа, для бетона нормального твердения класса В30 — 2,3—4 МПа.

Деформативные свойства. Модуль упругости конструкционного шлакопемзобетона на 10—30% выше, чем модуль упругости соответствующего керамзитобетона и аглопоритобетона. Величина коэффициента пластичности шлакопемзобетона также выше, чем у керамзитобетона. Ползучесть и усадка шлакопемзобетона аналогичны соответствующим свойствам легких бетонов на других пористых заполнителях.

Морозостойкость шлакопемзобетона выше морозостойкости со-

классов В3,5—В7,5 (зона I, рис. 6.8) разработана номограмма зависимости теплопроводности от содержания стеклофазы и доли мелкой фракции (рис. 6.9). Номограмма позволяет теоретически обосновать и практически рекомендовать условия для получения шлакопемзобетона необходимых теплотехнических свойств. На номограмме лучевые линии соответствуют определенному значению $M/(M+K)$, изолинии — определенному содержанию стеклофазы.

Номограмма на рис. 6.10 позволяет с точностью до 10% оце-

нивающего по прочности тяжелого бетона: конструкционно-теплоизоляционный бетон при испытании на морозостойкость выдерживает не менее 50 циклов, а конструкционный — не менее 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Защитные свойства шлакопемзобетона по отношению к арматуре. Шлакопемзобетон плотной структуры обеспечивает защитные свойства по отношению к арматуре при условии содержания общей серы и шлаковой пемзы не более 4% (в пересчете на SO_3), в том числе сульфатной водорастворимой до 1% (в пересчете на SO_3).

Мелкозернистый шлакопемзобетон обладает настолько специфическими свойствами, что его можно выделить в особый вид конструкционных легких бетонов. Он состоит из шлакового песка (фракции до 5 мм), портландцемента и шлаковой тонкомолотой добавки заданной granulометрии, которая создает своеобразную микроструктуру бетона, значительно повышающую его прочностные характеристики (табл. 6.4). По показателям долговечности, прочностным и деформативным характеристикам мелкозернистый бетон на шлакопемзобетонном песке удовлетворяет требованиям, предъявляемым к конструкционным легким бетонам. Величина сцепления арматуры с мелкозернистым шлакопемзобетоном составляет 40—80 МПа для арматуры периодического профиля и 2,5—7 МПа — для гладкой арматуры.

Таблица 6.4. Составы мелкозернистого шлакопемзобетона

Класс бетона	Средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³	Расход материалов на 1 м³ уплотненной бетонной смеси				Жесткость смеси, с
		цемент, 500, кг	молотая добавка из шлаковой пемзы, кг	шлакопемзобетонный песок, м³	вода, л	
В12,5	1850	250	230	1,26	237	20—25
В15	1870	280	255	1,205	211	15—20
В22,5	1950	380	350	1,15	223	5—8
В30	1980	450	410	1,03	230	5—8
В40	2000	520	480	0,87	240	5—8

Теплопроводность мелкозернистого шлакобетона классов В10—В25 колеблется в интервале 0,38—0,53 Вт/(м·°С).

Абсолютные значения усадочных деформаций пропаренного бетона в возрасте 160 дн в зависимости от прочности составляют 0,3—0,4 мм/м. Мелкозернистый шлакопемзобетон обладает высокой стойкостью против воздействия атмосферных явлений, воды и температуры. Он выдерживает более 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания, причем прочность образцов при сжатии после испытания на морозостойкость выше первоначальной. Водонепроницаемость мелкозернистого бетона достигает марки В—12. Мелко-

зернистый шлакопемзобетон обладает свойствами жаростойкого бетона, выдерживает температуру нагревания до 800°C при остаточной прочности 55—82%, что удовлетворяет требованиям СН 156-79, предъявляемым к легким жаростойким бетонам на портландцементе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. Е. Александров, Г. М. Васильев. Шлаковая пемза — эффективный строительный материал. — Воронеж: Центрально-Черноземное книжное изд-во, 1974. — 88 с.
2. В. С. Григорьев. Гидроэкранный способ производства шлаковой пемзы. Технология строительной керамики и искусственных пористых заполнителей: Сб. трудов/ВНИИстром, № 5 (63). — М., 1976. — С. 98—105.
3. О. А. Есин, П. В. Гельд. Физическая химия пиromеталлургических процессов, ч. II. — М.: Metallургиядат, 1954. — С. 468.
4. О. А. Есин. О природе жидких шлаков сб. Metallургические шлаки и применение их в строительстве. — М.: Стройиздат, 1962. — С. 51—72.
5. Л. Ф. Зятькова, Ю. М. Климов. Применение методов математической статистики для исследования вспучиваемости шлаковых расплавов: Сб. Химические и металлургические шлаки/УРАЛНИИСТРОМпроект. — Челябинск, 1968. — С. 114.
6. Ю. Р. Кручинин, Л. Д. Розовский. О связи процессов кристаллизации и вспучивания доменных шлаков: Сб. Химические и металлургические шлаки / УРАЛНИИСТРОМпроект. — Челябинск, 1968. — С. 107—113.
7. Легкие бетоны. Проектирование и технология: Пер. с англ. В. З. Мешкова / Под ред. В. Н. Ярмаковского. — М.: Стройиздат, 1981. — 238 с.
8. С. И. Попель. Поверхностное натяжение шлаков: Сб. Metallургические шлаки и применение их в строительстве. — М.: Стройиздат, 1962. — С. 97—125.
9. Ю. П. Пшеничников. Выявление тонкой структуры кристаллов. М.: Metallургия, 1974. — С. 528.
10. Л. Д. Розовский. Зернистая шлаковая пемза — эффективный заполнитель легких бетонов: Сб. Переработка шлаков в строительные материалы и изделия / УРАЛНИИСТРОМпроект. — Челябинск, 1974. — С. 30—42.
11. Л. Д. Розовский. Гравиеподобная шлаковая пемза и легкие высокопрочные бетоны на их основе. Технология строительной керамики и искусственных пористых заполнителей: Сб. трудов/ВНИИстром № 35 (63), М., 1976. С. 106—118.
12. А. Г. Романенко. Metallургические шлаки. — М., Metallургия, 1977. — С. 189.
13. Г. А. Соколов, И. И. Гултырь. Рациональный состав конечных доменных шлаков на основе исследования системы: Сб. Шлаковый режим доменных печей. — М.: Metallургия, 1967, с. 7—15.
14. Н. Я. Спивак, В. С. Грызов. Шлакопемзобетон в индустриальном строительстве. — Воронеж: Центрально-Черноземное книжное изд-во, 1979. — С. 114.
15. М. П. Элинзон. Производство искусственных пористых заполнителей. — М.: Стройиздат, 1974. — 208 с.

ГЛАВА 7. ПРОИЗВОДСТВО ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ СТЕКЛОВАТНЫХ ПОРОД

7.1. ТРЕБОВАНИЯ К СЫРЬЮ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТОВОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Для производства заполнителя основным видом сырья являются перлиты и частично гидратированные обсидианы. Содержание в них летучих компонентов колеблется от 1,5 до 10%. Перлиты по своему генезису, текстуре и технологическим свойствам условно де-

Таблица 7.1. Требования к сырье для производства вспученного перлита

Показатели	Допустимый предел колебаний					Метод определения	
	Класс А	Класс В	Группы качества				
	I	II	III	I	II	III	
Содержание оксидов, % по массе:							Химический анализ — по ГОСТ 5382—73
SiO ₂				65—75			
Al ₂ O ₃				12—16			
FeO+Fe ₂ O ₃				Не более			
CaO				Не более 3,0			
K ₂ O+Na ₂ O				3,0—10,0			
Потери массы при прокаливании, %				1,5—10,0			Прокалывание навески при 1000°C до постоянной массы Двухстадийная термобработка в электролабораторных печах при оптимальной температуре и продолжительности Петрографический анализ и по ГОСТ 25226—42
Температура вспучивания, °С				Не выше 1200			
Содержание кристаллических примесей (в том числе обсидиана, перлита и глинистых, % по массе, не более	5	7	10	5	10	20	

Показатели	Допустимые пределы колебаний						Метод определения
	Класс А			Класс Б			
	Группы качества						
	I	II	III	I	II	III	
Плотность вспученного перлитового щебня ρ размером зерна 5—20 мм Насыпная плотность, кг/м ³ вспученного перлитового песка с размером зерен до 5 мм, полученного в лабораторных условиях	До 350	350—400	400—500	До 400	400—800	800—1100	Испытания щебня в соответствии с ГОСТ 9758—86 вспученного в лабораторной электропечи
	До 90	90—120	120—150	До 120	120—300	300—500	
б) в производственных условиях	До 75	До 150	До 350	До 100	До 300	До 500	Испытание песка в соответствии с ГОСТ 9758—86 вспученного в лабораторной вибропечи или аналогичной установке В промышленных условиях при оптимальном режиме термобработки
Характерные месторождения	Арагацкое, Джраберское, Параванское (Грузия), Парагуйское (Камчатская обл.)	Мухор-Талинское, Буйльское, Холмское (Бурятская АССР), Колганское (Хабаровский край), Береговое (УССР)	Мухор-Талинское, Мухор-Яртыкское, Холмское (Бурятская АССР), Колганское (Хабаровский край), Береговое (УССР)	Чулуевское, Неждановское (Приморский край), Ташкентское (Таджикская ССР), Правохетинское (Магаданская обл.)			

лит на два класса: А — пористые, преимущественно первичные, образовавшиеся в период застывания вулканической лавы и Б — массивные, вторичные, образовавшиеся в постмагматический период путем вторичной гидратации с частичным изменением застывшей стекломассы (в основном слабомонтмориллонитизированные и окристаллизованные). Последние, содержание летучих в которых обычно колеблется от 2 до 7%, наиболее пригодны для производства вспученного перлита как заполнителя бетона, получаемого путем термической обработки в печах вертикальных, вращающихся и с кипящим слоем.

Требования к породам приведены в табл. 7.1 (ГОСТ 25226—82). Класс А в основном пригоден для получения заполнителя теплоизоляционного и конструктивно-теплоизоляционного бетона, а класс Б — для конструктивно-теплоизоляционного и конструкционного бетона.

К гидратированным обсидианам относятся слабогидратированные массивные стекла с содержанием связанной воды от 0,3 до 1%. Подобные породы характерны для Гюмуш-Джраберского массива, Алуевского и Начинского месторождений. На основе обсидиан-перлитовых и обсидиановых пород обжигом во вращающейся печи на Камчатке получают песок и щебень с насыпной плотностью от 100 до 400 кг/м³. Водопоглощение щебня за 1 ч должно составлять не более 80% по массе.

7.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА

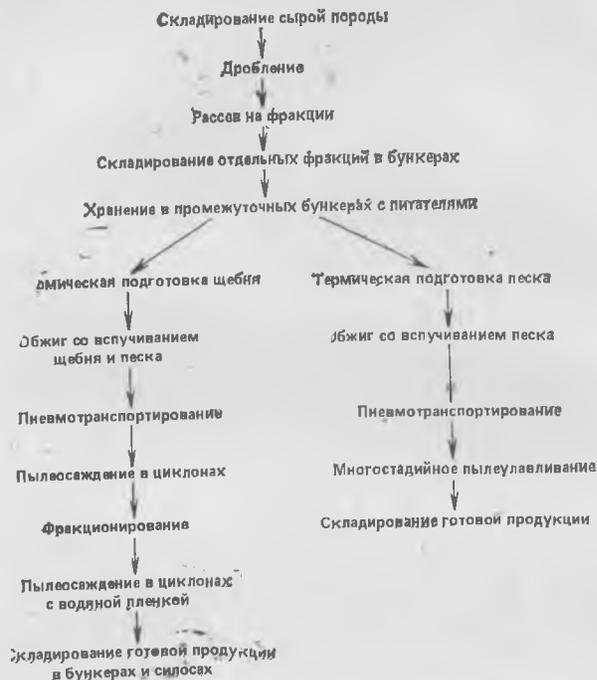
Предприятия по производству вспученного перлита различаются технологической схемой и применяемым оборудованием в зависимости от степени подготовленности породы, поступающей на производство (дробленной и фракционированной или кусковой), от свойств сырьевого материала, номенклатуры и назначения заполнителя (см. с. 152).

7.3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПЕРЛИТА

Термическую обработку производят пофракционно. При одновременном производстве щебня и песка необходимо предусмотреть для каждой фракции отдельную линию тепловых агрегатов.

Для получения прочного с низким водопоглощением заполнителя термическую обработку перлитов класса Б производят по двухстадийной схеме; для получения особо легкого песка из перлитов класса А допускается обжиг по одностадийной схеме. Термоподготовка перлита обеспечивает уменьшение растрескивания сырья при обжиге, улучшение вспучиваемости и структуры вспученного перлита, а также повышение прочности и понижение водопоглощения го-

Принципиальная технологическая схема производства вспученного перлитового щебня и песка



тового продукта. Оптимальное содержание связанной воды в перлитовом сырце после термической подготовки находится в пределах 1—3% по массе. Для термической подготовки пригодны вращающиеся печи, печи с кипящим слоем и другие. Температура термической подготовки определяется как свойствами сырца, так и заданной характеристикой вспученного перлита: для большинства перлитов класса Б она колеблется в пределах 300—600°C, температура газов в зоне загрузки сырца должна быть порядка 200°C, скорость дальнейшего нагрева материала 15—20°C/мин.

В печах термической подготовки может быть использовано жидкое и газообразное топливо, отходящие газы обжиговой печи, а также воздух, нагретый этими газами в теплообменном устройстве.

Из печи термической подготовки нагретый материал самотеком или с помощью специальных приспособлений подается в обжиговую печь. Обжиг термической подготовки материала производят в печах различных конструкций — вращающихся, вертикальных, с кипящим слоем, в том числе с твердым теплоносителем.

Выбор конструкции печи определяется размером обжигаемых

зерен, заданными свойствами готового продукта и запланированной производительностью. Мелкий перлитовый песок обжигают в печах указанных конструкций, для обжига щебня и крупного песка применяют преимущественно вращающиеся печи, но могут быть успешно использованы также печи кипящего слоя, включая печи с твердым теплоносителем.

Работа вертикальных печей основана на том, что свободно падающие с определенной высоты зерна материала вследствие значительного изменения скорости газов задерживаются в нижней конусной части печи, где, витая в струе газа, вспучиваются, подхватываются газовым потоком и выносятся им из печи. В вертикальных печах обжигают дробленую породу крупностью до 2 мм, чаще менее 1,2 мм. В этих печах порода вначале процесса обжига подвергается тепловому удару, продолжительность обжига составляет от долей секунды до нескольких секунд. Этим обуславливается трещиноватость зерен вспученного песка, высокая открытая пористость и водопоглощение (достигающее 500% по массе), а также низкая прочность.

В результате растрескивания сырца при обжиге конечный размер большей части зерен не превышает 2 мм. Для одновременного обжига щебня и песка или только щебня применяют прямоточные вращающиеся печи, размеры, скорость вращения и угол наклона которых зависят от заданных продолжительности обжига и производительности агрегата.

Крупные фракции перлитовой породы (щебень и крупный песок) обжигают в подвижном слое на футеровке печи, мелкие — вспучиваются в неподвижном состоянии.

Кратковременность обжига (20—60 с) обеспечивается высокой скоростью вращения барабана (8—18 об/мин) и созданием направленного газового факела с помощью установки двух форсунок.

Работа печей кипящего слоя основана на использовании псевдообжиганного слоя. В этих печах целесообразно получать вспученный перлит с зернами размером до 10 мм, преимущественно песок крупностью до 5 мм.

Для термической обработки перлита в основном пригодны двухкамерные печи, в первой камере происходит предварительный нагрев, во второй — обжиг. При этом обеспечивается перепад температур, необходимый для обоих этапов термической обработки. Продолжительность обжига можно изменять в пределах 5—15 мин.

Печи кипящего слоя с твердым теплоносителем отличаются тем, что обжиг происходит в среде псевдоожиганного твердого дисперсного материала (например, кварцевого песка), нейтрального по отношению к поризуемой измельченной породе, а также направленностью кипящего слоя. Направленное движение твердого теплоносителя и обжигаемого материала и их псевдоожигание обеспечива-

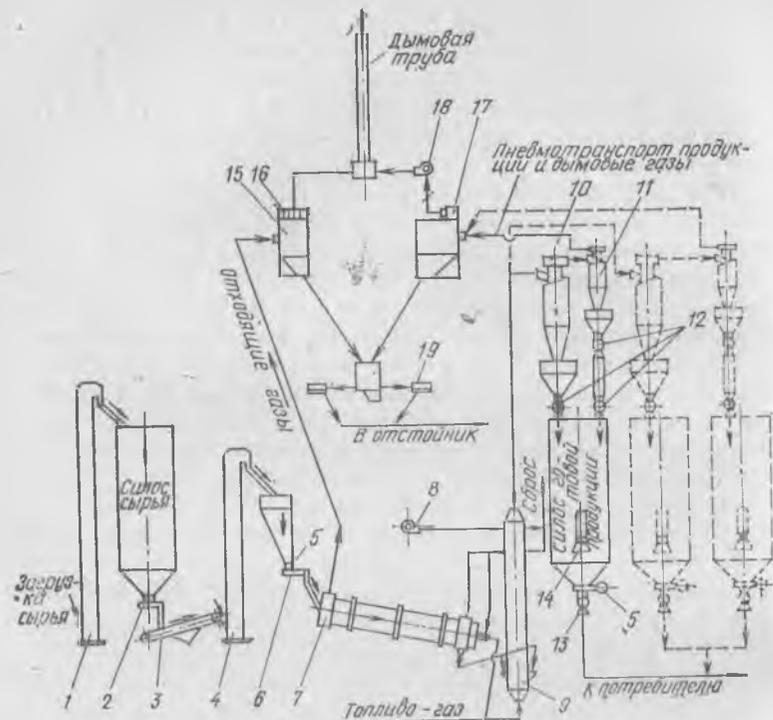


Рис. 7.1. Схема технологического процесса производства перлитового песка обжигом в вертикальной печи (пунктиром показано решение с тремя силосами готовой продукции)

1 — элеватор ленточный ЛГ-400; 2 — питатель тарельчатый \varnothing 1300 мм; 3 — конвейер ленточный передвижной ТК-13; 4 — элеватор ленточный ЛГ-160; 5 — затвор шиберный реечный; 6 — питатель дисковый ДЛ-6А; 7 — печь термодготовки СМТ-178; 8 — вентилятор дутьевой ВВД-8; 9 — печь вспучивания вертикальная (шахтная) СМТ-177; 10 — циклон ЦН-15 \varnothing 1400 мм; 11 — циклон ЦН-15 \varnothing 900 мм; 12 — затвор-питатель СМТ-180; 13 — питатель ячеистый 300×300 мм; 14 — затвор челюстной 400×400 мм; 15 — пылеуловитель мокрый ПВМ № 5С; 16 — вентилятор центробежный ЦП7-40 № 5; 17 — пылеуловитель мокрый ПВМ-10С; 18 — вентилятор ВВД № 11; 19 — дымосос Дн-15

ются подаваемой через решетку особой конструкции газозвушной смесью, сжигаемой в слое. В подобных печах можно обжигать перлитовый сырец с размером зерен до 15 мм и также получать вспученный щебень из пород класса А.

Технологические линии производства вспученного перлита мощностью 25, 50 и 100 тыс. м³ в год с использованием фракционированной породы и газообразного топлива («Южгипростром») показаны на рис. 7.1, 7.2 и 7.3.

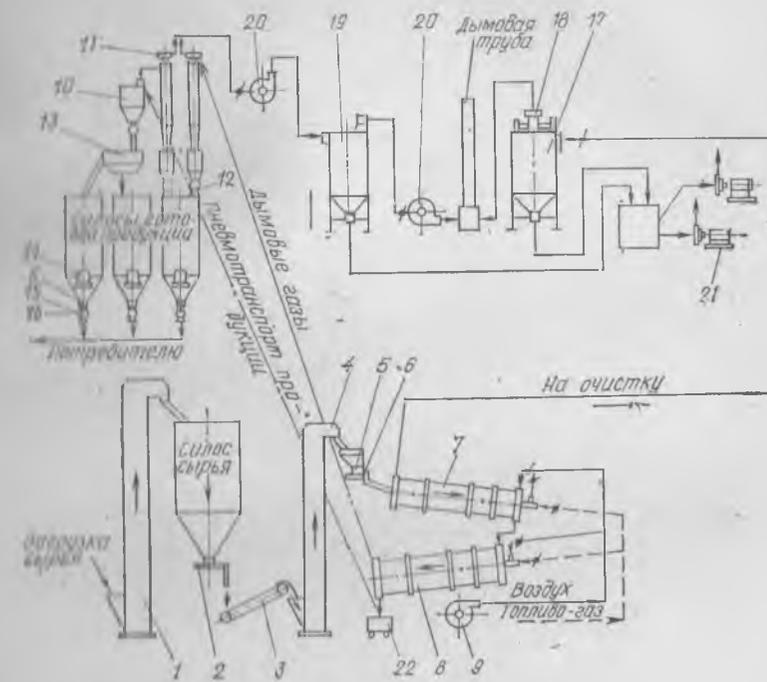


Рис. 7.2. Схема технологического процесса производства перлитовых щебня и песка обжигом во вращающейся печи

1 — элеватор ленточный ЛГ-400; 2 — питатель тарельчатый \varnothing 1300 мм; 3 — конвейер ленточный передвижной ТК-13; 4 — элеватор ленточный ЛГ-160; 5 — затвор реечный шиберный; 6 — питатель дисковый ДЛ-6А; 7 — печь термодготовки СМТ-178; 8 — вентилятор дутьевой ВВД-8; 9 — печь вспучивания вертикальная вращающаяся СМТ-179; 10 — дутьевой вентилятор ВВД-8; 11 — осадитель; 12 — циклон ЦН-15 \varnothing 1000 мм; 13 — затвор-питатель СМТ-180; 14 — затвор челюстной 400×400 мм; 15 — питатель дисковый ДЛ-8А (производство щебня); 16 — питатель ячеистый 300×300 мм (производство песка); 17 — пылеуловитель мокрый ПВМ-10С; 18 — вентилятор центробежный ЦП7-40 № 5; 19 — пылеуловитель мокрый ПВМ-10С; 20 — дымосос центробежный ЦП-1М; 21 — дымосос центробежный ЦП-1М; 22 — конвейер

Характеристики применяемых печей для термической обработки перлитового песка и щебня приведены в табл. 7.2.

Вспученный перлит малогигроскопичен, бностоек, без запаха. В зависимости от размера зерен его разделяют на щебень и песок (рядовой, средний и крупный); их свойства в зависимости от области применения должны соответствовать показателям ГОСТ 10832—83. Некоторые свойства вспученного Арагацкого перлита, обожженного в печах различной конструкции, приведены в табл. 7.3.

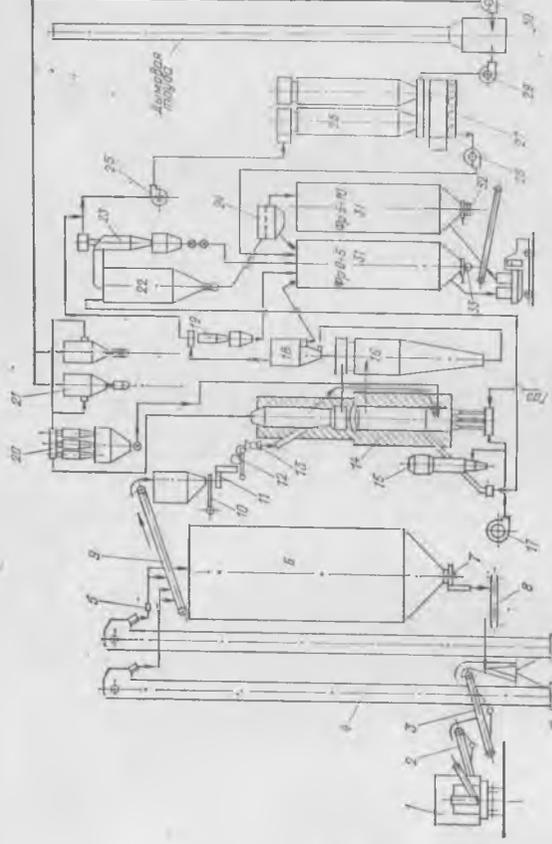


Рис. 7.3. Схема технологического процесса производства перлитовых щебня и песка обжигом в печи кипящего слоя

1 — разгрузочная машина МВС-4; 2 — конвейер ленточный передвижной С-918; 3 — конвейер ленточный передвижной С-1102; 4 — элеватор ленточный ЛГ-400; 5 — привод-гольмат к шибру винтовой ТПВ-1А; 6 — силос сырья вместимостью 320 м³; 7 — питатель гарельчатый Ø 1300 мм; 8 — конвейер ленточный В-500; 9 — конвейер ленточный В-500; 10 — затвор шиберный реешный; 11 — питатель гарельчатый Ø 1300 мм; 12 — весоизмеритель ленточный ВД-1055М; 13 — затвор-питатель СМТ-180; 14 — двухзонаная печь термодготовки и обжига в кипящем слое Ø 1500 мм; 15 — холодильник кипящего слоя Ø 1000 мм; 16 — футерованный циклон Ø 1600 мм; 17 — воздушная ТВ-80-1.2; 18 — шелевой аппарат 850×650×700 мм; 19 — циклон одиночный ЦН-15 Ø 200 мм; 20 — циклон НИИОГАЗ ЦН-15 (група из 6 циклонов Ø 500 мм); 21 — пылеуловитель гидродинамики чешский ГДП-07-1Г; 22 — осадительная камера Ø 2500 мм; 23 — циклон одиночный ЦН-15 Ø 800 мм, с бункером и улиткой; 24 — сито-бурат СМ-237М; 25 — вентилятор ЦП110-28 № 2.5; 26 — фильтр рукавный СМЦ-101-П; 27 — конвейер винтовой Ø 200 мм; 28 — вентилятор ВВД 8; 29 — вентилятор ВДН-10; 30 — вентилятор ЦП7-40 № 8; 31 — силос готовой продукции вместимостью 60 м³; 32 — питатель дисковый подвесной ДД-3А; 33 — питатель ячеяковый 300×300 мм

Таблица 7.2. Технические характеристики типовых агрегатов для крупносерийной обработки перлитовых пород (по проекту)

Технические показатели	Южгипростром		ВНИИПИ-газопроект		Южгипростром
	Вращающаяся печь для термодготовки СМТ-178	Вращающаяся печь для обжига СМТ-179	Вращающаяся печь для обжига СМТ-179	Вращающаяся печь для обжига	
Проводимость, кг/ч	1500	1300	1300	1700	1600
Размер фракций перлита-сырца, мм	1,2—10	1,25—10	1,25—10	1,2—10	До 1,25 и 1,2—2,5
Насыщенная плотность вспузыряемых, кг/м ³	—	150—300	150—300	150—500	150—142
Расход перлитового щебня	—	250—600	250—600	250—600	50—200
Расход топлива:					
мазута, кг/ч	30	140	140	250	150—142
природного газа, м ³ /ч	35	150	150	—	135—160
Удельный расход тепла, ккал/кг	340	1250	1250	—	990—1250
Расход воздуха на горение, м ³ /ч	—	2300—2200	2300—2200	3350	6000
Давление топлива перед, МПа	0,25	16	16	—	До 400
горелочной форсунки	0,25	0,3	0,3	0,25	0,02—0,03
Давление воздуха перед, МПа	12,5	35	35	—	—
горелочной форсунки	10	15	15	—	35—40
Температура термообработки, °С	300—600*	1100—1200*	1100—1200*	1150—1200*	0,013 атм
→ отходящих газов, °С	1,6; 2,0; 3,15	960	960	950	900—1150*
Частота вращения барабана печи, об/мин	—	12—18	12—18	8—12	400
Угол наклона, градус	2	7	7	6	—
Длина печи, мм	8000	8000	8000	10000	—
Внутренний диаметр печи, мм	1200	1200	1200	2000	—
Внутренний диаметр, мм	948	768	768	1540	584

* Диапазон температур зависит от вида обрабатываемой перлитовой породы.

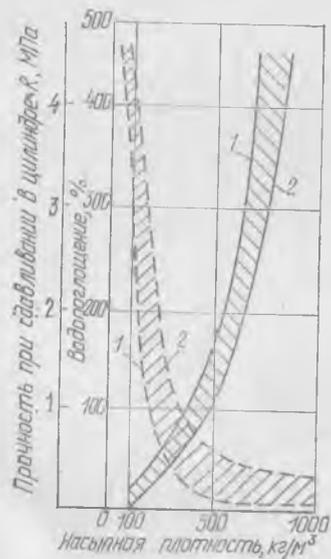
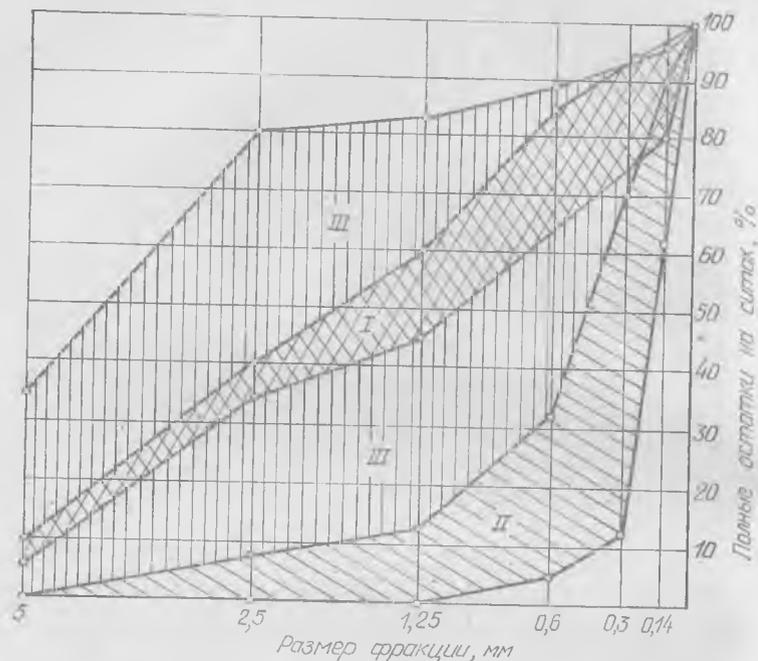


Рис. 7.4. Зерновой состав перлитового песка, получаемого при обжиге в печах вертикальной, вращающейся и кипящего слоя
 I — рекомендуемый ЦНИИЭПжипла и НИИЖБом; II — получаемый в вертикальной печи; III — то же, в печах вращающихся и кипящего слоя

Рис. 7.5. Зависимость прочности R и водопоглощения W перлитового щебня от его насыпной плотности
 перлит вспученный, полученный из породы: 1 — массивной; 2 — пористой

Таблица 7.3. Некоторые свойства вспученных перлитовых песка и щебня, обожженных в печах различной конструкции (на примере перлитовой породы Арагацкого месторождения)

Свойства материалов	Тип печи			
	Вертикальная	Вращающаяся	С кипящим слоем	
			двухкамерная	с твердым теплоносителем
Насыпная плотность, кг/м^3	50—200	125—600	150—600	100—600
Плотность, г/см^3	0,2—0,6	0,3—1,3	0,4—1,2	0,3—1,3
Прочность, МПа	0,05—0,3	0,1—1,0	0,1—1,0	0,7—1,0
Водопоглощение по массе, %	200—500	20—250	60—250	15—200
Открытая пористость, %	70—90	15—80	20—80	10—80
Зерновой состав, %:				
10—20 мм	—	0—60	0—10	0—50
5—20 >	2—10	0—50	0—30	2—40
2,5—5 >	5—30	20—60	20—50	5—70
менше 2,5 >	60—100	10—90	20—70	2—50

Из данных табл. 7.3 видно, что песок, получаемый обжигом в вертикальных печах, характеризуется значительно более низкой прочностью, более высокой открытой пористостью и дисперсностью, чем обжигаемый в печах вращающихся и кипящего слоя.

Большее соответствие оптимальному зерновому составу вспученного песка имеет место при обжиге его в печах вращающихся и кипящего слоя по сравнению с получаемым в вертикальной печи (рис. 7.4).

На рис. 7.5 показана взаимосвязь прочности и водопоглощения перлитового щебня с его насыпной плотностью. Некоторые технико-экономические показатели производства перлитового песка и щебня как заполнителя бетона и для теплоизоляции (данные 1984 г. по СССР) следующие:

Удельный расход:	
сырья, м^3	0,11
условного топлива, кг	30,2
электроэнергии, кВт·ч	15,7
Себестоимость по сравнению с керамзитобетоном, %	77
Рентабельность к себестоимости, %	+31,8
> к фундам, %	+19,0

7.4. КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА

Контроль производства вспученного перлита представлен в двух таблицах (табл. 7.4, 7.5).

Таблица 7.4. Схема лабораторного контроля

Определение свойств материала	Место отбора пробы	Частота отбора пробы	Метод испытания
Влажность сырья	На входе в приемный бункер	Один раз в смену	Высушивание до постоянной массы при температуре 100—110°C
Потери массы при прокаливании сырья	То же	Один раз в неделю	Прокаливание до постоянной массы при температуре 1000°C
Зерновой состав сырья, подготовленного к обжигу	Течка бункера, питающего печь термоподготовки	Один раз в смену	Рассев на ситах по ГОСТ 9758—77
Остаточная влажность сырья после термоподготовки	Течка бункера, питающего печь обжига	То же	Прокаливание до постоянной массы при температуре 1000°C
Зерновой состав вспученного перлита	После циклонов, в складе готовой продукции	Два раза в смену	Рассев на стандартном наборе сит по ГОСТ 9757—78
Насыпная плотность вспученного перлита (смесь щебня и песка по фракциям)	То же	То же, один раз в смену	По ГОСТ 9758—77
Водопоглощение щебня		То же, для каждой отгружаемой партии	То же
Прочность вспученных перлитовых песка и щебня		Один раз в смену	То же, для фракции 1,25—2,5, 5—10 и 10—20 мм
Влажность песка	В складе готовой продукции	Для каждой отгружаемой продукции	По ГОСТ 17177.4—81

Таблица 7.5. Схема цехового контроля

Механизмы и агрегаты	Проверяемые параметры	Частота проверки	Прибор (метод) проверки
Дробилки всех типов	Ширина выходных щелей и состояние рабочих органов	Один раз в неделю. Один раз в смену	Замер Осмотр
Печь для термоподготовки	Производительность	Один раз в смену	Замер мерным сосудом дробленой породы, поступающей в печь в единицу времени
	Температура входящих газов	Не реже чем через каждые два часа	Хромель-алюмелевая термопара с потенциометром или милливольтметром
	Температура отходящих газов	То же	То же
	Расход газообразного или жидкого топлива	При сдаче смены	Счетчик
Печь для обжига	Температура в выгрузочной камере	Не реже чем через каждые два часа	Термопары с самонагревающим электронным потенциометром
	Разрежение в печи и выгрузочной камере	Не реже одного раза в смену	Тягомеры

Продолжение табл. 7.5

Механизмы и агрегаты	Проверяемые параметры	Частота проверки	Прибор (метод) проверки
	Число оборотов (для вращающейся печи) Производительность	Периодически Один раз в смену	Секундомер Автоматический дозатор по массе или мерная емкость в 20—30 л, секундомер
	Давление газа или жидкого топлива в системе Температура жидкого топлива в системе Расход газа или жидкого топлива	Один раз в смену Через каждые два часа При сдаче смены	Дифманометр Технический термометр Счетчик

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахундов А. А., Петрихина Г. А., Полинковская А. И., Пржецлавский В. Л. Обжиг в кипящем слое в производстве строительных материалов. — М.: Стройиздат, 1975.
2. Воробьев Х. С., Пржецлавский В. Л., Иванов Г. С. и др. Технология производства вспученного песка в печи с направленным кипящим слоем // Строительные материалы. — 1977. — № 6.
3. Вспученный перлитовый песок — заполнитель теплоизоляционно-конструкционных и конструкционных легких бетонов / Сергеев Н. И., Логвинов В. А., Карпов А. А., Студеникина Н. А. М., 1982. — Сб. трудов ВНИИСтрома: Вып. 46 (74).
4. Полинковская А. И., Сергеев Н. И., Чернова О. А. Вспученный перлит — заполнитель легких бетонов. — М.: Стройиздат, 1972.
5. Получение крупномодульного вспученного перлитового песка в печах кипящего слоя методом низкотемпературной поризации и экономическая эффективность его применения / Сергеев Н. И., Логвинов В. А., Карпов А. А., Сергеева К. А. — М., 1985. — Сб. трудов ВНИИСтрома: Вып. 55 (83).

ГЛАВА 8. ПРОИЗВОДСТВО ТЕРМОЛИТА

8.1. ТРЕБОВАНИЯ К СЫРЬЮ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОЛИТА

Термолит (гравий или щебень) — это новый вид искусственного пористого заполнителя для легких высокопрочных бетонов с прочностью до 80 МПа. Сырьем для производства термолита служат широко распространенные на территории Советского Союза кремнистые опаловые породы, представленные следующими основными разновидностями: трепелами, диатомитами и опоками.

Кремнистые породы — легкие пористые материалы осадочного и вулканогенно-осадочного происхождения, состоящие в основной массе из опалового кремнезема, обычно в той или иной степени раскристаллизованного.

В различных районах СССР найдено около 850 месторождений трепелов, диатомитов, опок. Разведанные запасы составляют около 1,7 млрд. т сырья, потенциальные же исчисляются десятками миллиардов тонн.

Термолитовый гравий (щебень) получают спеканием без вспу-

чивания сырцовых зерен из кремнистых пород во вращающихся печах при температурах порядка 1100—1250°C. Кремнистая порода приобретает при обжиге высокую прочность, воздухо- и морозостойкость при сохранении низкой кажущейся плотности, обусловленной высокоразвитой природной пористостью сырья.

Исследования кремнистого сырья для производства термолита позволили выделить в каждой разновидности кремнистых пород отдельные группы, различающиеся по микроструктуре и содержанию примесей.

Среди трепелов выделены следующие группы: глинистые, глобулярные и карбонатные. К глинистым трепелам отнесены породы, содержащие не менее 25% глинистого вещества, преимущественно каолинит-монтмориллонитового состава; кремнеземистое вещество породы представлено частицами, имеющими форму глобул, либо органогенными частицами (остатки диатомей, радиолярий, спикул губок и др.). К глобулярным трепелам отнесены наиболее чистые разновидности трепелов, сложенные преимущественно опаловыми глобулами, содержание глинистого вещества в них незначительное. К карбонатным трепелам отнесены породы, содержащие карбонаты кальция в количестве 20—25%; кремнеземистое вещество породы представлено частицами глобулярной, органогенной и чешуйчатой формы.

Диатомиты, представляющие собой однородные по структуре рыхлые породы, по содержанию глинистого вещества делятся на две группы: чистые и глинистые. Чистые диатомиты почти не содержат примеси глинистых минералов, вследствие чего являются непластичными материалами. В отличие от них глинистые диатомиты содержат глинистые минералы монтмориллонита, каолинита, гидрослюда.

Опоки подразделяются на четыре группы: окремнелые, плотные, рыхлые и карбонатные. Опоки окремнелые — с раковистым изломом, темно-серые, характеризуются наибольшей прочностью, большой кажущейся плотностью и наименьшим водопоглощением. Опоки плотные, или нормальные, — с полураковистым изломом, имеют по сравнению с окремнелыми меньшую прочность, кажущуюся плотность, большее водопоглощение, меньше содержат аморфной кремнекислоты и больше глинозема. Опоки рыхлые — породы светло-серого и желтовато-серого цвета, выветрелые с землистым и полураковистым изломом, с незначительной прочностью, развитой пористостью, содержат наибольшее количество глинозема. Опоки карбонатные характеризуются содержанием значительного количества CaO и MgO (до 10%), имеют незначительную кажущуюся плотность и прочность несколько выше, чем у рыхлых опок. В табл. 8.1 приведены физико-механические свойства и минеральный состав, характерные для отдельных разновидностей кремнистых пород. Для про-

Таблица 8.1. Физико-механические свойства и минеральный состав кремнистых пород

Наименование породы	Истинная плотность, г/см ³	Кажущаяся плотность, г/см ³	Общая пористость, %	Пластичность	Размокаемость, %	Огнеупорность, °С	Минеральный состав
Трепелы: глинистые	2,06—2,37	1,34—1,64	34,9—51,9	5,4—33,1	20,7—56,6	1260—1510	Кварцево-глюкониговая порода с примесью глинистого вещества, содержащая активный кремнезем 6—57%
глобулярные	2,1	0,96—1,25	51,9	Не определяется	2,1—40,1	1470—1580	Песчано-алевритовая, опал-кристобалитовая порода, содержащая активный кремнезем 56—87%
карбонатные	2,45	1,68—1,97	31,4	Не определяется	10,3—20,7	1300—1350	Песчано-алевритовая, опал-кристобалитовая порода со значительной примесью кальция, держащая активный кремнезем 7—30%
Диатомиты: чистые	2,15—2,20	0,70—0,97	54,9—67,5	Не определяется	71,8—100	1450—1560	Опал-кристобалитовая порода с примесью левого шпата, мусковита, глауконита, содержащая активный кремнезем 30—50%

Наименование породы	Истинная плотность, г/см ³	Кажущаяся плотность, г/см ³	Общая пористость, %	Пластичность	Размокаемость, %	Огнеупорность, °С	Минеральный состав
Опоки: окремелые	2,28—2,40	1,48—1,72	22,6—48,3	Не определяется	Не размокает	1465—1580	Опал-кристобалитовая порода, содержащая активный кремнезем 30—70%
плотные	2,40—2,43	1,34—1,38	43,0—45,0	Не определяется	Не размокает	1410—1540	Опал-кристобалитовая порода, содержащая активный кремнезем 45—55%
рыхлые	2,35—2,43	1,15—1,27	47,0—51,3	Не определяется	Не размокает	1490—1500	Опал-кристобалитовая порода, содержащая активный кремнезем 30—50% и глинистое вещество — более 30%
карбонатные	2,43	1,28	47,2	Не определяется	Не размокает	1340	Опал-кристобалитовая порода, содержащая карбонат кальция 20—25%

изводства термолита наиболее пригодны кремнистые породы, содержащие примесь глинистого вещества, способствующего образованию легкоплавких эвтектик в процессе спекания. В табл. 8.2 приведены требования к сырью для производства термолита.

Таблица 8.2. Требования к сырью для производства термолита

Показатель	Допустимые пределы колебаний для породы		Метод определения
	рыхлой	плотной	
Содержание оксидов, % по массе: SiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO+MgO Na ₂ O+K ₂ O FeO+Fe ₂ O ₃	50—84 9—20 2,5—7,0 0,5—1,0 1—2		По ГОСТ 2642.1—81 То же » » »
Потери массы при прокаливании	Не менее 1,5%		Прокаливание навески сухого вещества при 1000°С до постоянного веса ГОСТ 21216.3—81
Содержание песчано-алевритовой фракции 1—0,05 мм	Не более 30% по массе	—	ГОСТ 21216.1—81
Пластичность	Не менее 7	—	
Дробимость		Не менее 70% товарного щебня фракции 5—10 и 10—20 мм	
Насыпная плотность термолита, кг/м ³	Не более 1200		ГОСТ 9758—86
Прочность термолита при сдавливании в цилиндре, МПа	Не менее 2,0	Не менее 1,8	То же
Водопоглощение термолита после 1 ч, %	Не более 25	Не более 35	»
Потери массы после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания	Не более 8	Не более 8	»

8.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОЛИТА

В зависимости от макроструктуры кремнистой породы (рыхлой или плотной) технологический процесс производства термолита включает следующие основные переделы: для рыхлой породы — пластический, для плотной — сухой или порошоквый способ подготовки сырья; сушку, обжиг и охлаждение заполнителя; рассев и складирование готового продукта (см. с. 166).

Сырье для изготовления термолитового гравия должно поступать со склада породы. Если карьерная влажность сырья превышает формовочную, то следует предусмотреть его подсушку. По пластическому способу подготовки предусматривается двойная обработка породы на тонких вальцах, что обусловлено необходимостью измельчения плотных опоковидных включений, присутствующих в рыхлом сырье.

Последовательность операций	Наименование оборудования	Техническая характеристика оборудования	Основные параметры по операциям	
			1	4
Усреднение и увлажнение шихты	Вальцы тонкого помола СМ-1096А или СМК-102А	Производительность 25 м ³ /ч	Раздавливание, измельчение и усреднение шихты	Раздавливание и усреднение шихты
Формование гранул	Смеситель лопастной двухвалевых СМК-126	Производительность 35 м ³ /ч	Раздавливание и усреднение шихты	
Складирование и хранение сырьца	Пресс шнековый СМК-315 или дробчатые вальцы СМ-369А	Производительность 20 т/ч	Гомогенизация, увлажнение и грануляция	Вместимость бункера не менее чем на 1,5 смены работы
Дозирование сырьцовых гранул	Бункер запаса	Нестандартное оборудование	Вместимость бункера не менее чем на 1,5 смены работы	
Обжиг	Весовой автоматический дозатор СБ-110	Производительность 5—50 т/ч	Загрузка и дозирование сырьцовых гранул	Обеспечение обжига в интервале температур 1150—1200°С в течение часа
Охлаждение	Вращающаяся печь	Однobarабанная печь (D — 2,5 м; L — 40 м) Двухбарабанная печь (D — 2,5 м; L — 35 м; D — 3,5 м; L — 19 м; D — 2,3 м; L — 22 м)	Охлаждение термолита до температуры не выше 150°С	
Рассев на фракции	Холодильник барабанный или слоевой СМС-1250	Производительность 15 м ³ /ч	Рассев на фракции 10—20, 5—10 и менее 5 мм	
	Травесортировка СМС-66			

8.3. ТРЕБОВАНИЯ К ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ТЕРМОЛИТА

Термолитовые гравий или щебень по крупности зерен разделяют на фракции: менее 5 мм; от 5 до 10 мм; от 10 до 20 мм. В зависимости от насыпной плотности (кг/м³) термолит подразделяют на марки: 600, 700, 800, 900, 1000, 1200. Прочность термолита при сдавливании в цилиндре должна быть не менее значений, приведенных в табл. 8.4.

Таблица 8.4. Прочностные характеристики термолитовых щебня и гравия

Марка гравия и щебня по насыпной плотности	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа			
	для гравия		для щебня	
	высшая категория	первая категория	высшая категория	первая категория
600	3	2	2	1,5
700	4	3	2,4	1,8
800	5	4	3	2,4
900	6	5	3,5	3
1000	7	6	4	3,5
1200	Свыше 7	Свыше 6	Свыше 4	Свыше 3,5

Потери массы термолита после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания не должны превышать:

для бетонов с маркой по морозостойкости Мрз 150 и менее — 10%;

для бетонов с маркой по морозостойкости более Мрз 150—5%. Коэффициент размягчения термолита не должен быть менее 0,7.

Прочность термолитовых гравий и щебня в зависимости от заданной прочности конструкционного легкого бетона не должна быть менее значений, указанных в табл. 8.5. Термолитовые гравий и щебень не должны содержать известковых и других включений, вызывающих потери в массе заполнителя при кипячении более 5%. При определении стойкости против силикатного распада потери массы не должны превышать 8%; железистого распада — 5, водопоглощение для гравия не более 25; для щебня — 35%. Влажность поставляемого термолита не должна превышать 5% по массе. Содержание водорастворимых сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃ в термолите, применяемом для армированных бетонов, не должно превышать 1% по массе.

8.4. КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОЛИТОВЫХ ГРАВИЯ И ЩЕБНЯ

В процессе производства термолитовых гравия и щебня должен осуществляться систематический контроль технологических пара-

Таблица 8.5. Взаимосвязь класса легкого бетона с прочностью термолита

Класс	Прочность термолита при сдавливании в цилиндре, МПа (кгс/см ²)	
	гравий	щебень
B15	2,0 (20)	1,8 (18)
B20	3,0 (30)	2,4 (24)
B22,5	4,0 (40)	3,0 (30)
B27,5	5,0 (50)	3,5 (35)
B30	6,0 (60)	4,0 (40)
B40	Свыше 7,0 (70)	Свыше 4,0 (40)

метров и качества заполнителей. Агрегаты технологической линии должны иметь необходимые контрольные приборы аналогично заводам строительной керамики и керамзита. Схема лабораторного контроля технологического процесса производства термолитовых гравия и щебня приведена в табл. 8.6.

Таблица 8.6. Схема лабораторного контроля производства термолита

Параметры контроля	Место отбора проб для контроля	Периодичность контроля	Методы контроля
1	2	3	4
Влажность сырья	Транспортерная лента при выходе из ящичного подавателя	Один раз в смену	Высушивание до постоянной массы при температуре 110°C по ГОСТ 2642.1—81 или на влагомере
Засоренность сырья крупнозернистыми включениями	То же	При поступлении партии	По ГОСТ 21216.4—81
Количество добавок: твердая	Ящичный подаватель	Один раз в смену	Непосредственным измерением по массе или объему
жидкая	Глиномешалка	То же	Высушивание до постоянной массы при температуре 110°C по ГОСТ 21216.4—81
Формовочная влажность гранул	После ленточного пресса	Два раза в смену	
Влажность сырцовых гранул	После сушильного барабана	Два раза в смену	Рассев на ситах с отверстиями 5, 10, 20 мм по ГОСТ 9758—86
Зерновой состав сырцовых гранул	То же	То же	
Зерновой состав термолитового заполнителя	После холодильника	Два раза в смену	По ГОСТ 9758—86
Насыпная плотность термолитового заполнителя	После холодильника	Два раза в смену	
Водопоглощение термолитового заполнителя	То же	Один раз в смену	То же
Прочность при сдавливании в цилиндре термолитового заполнителя	То же	То же	По ГОСТ 9758—86

Схема цехового контроля технологического процесса производства термолита дана в табл. 8.7.

Таблица 8.7. Схема цехового контроля производства термолита

Механизмы и агрегаты	Наименование контролируемых параметров	Цикличность проверки	Методы контроля
1	2	3	4
Все механизмы и агрегаты	—	При сдаче и приемки смены	Непосредственный осмотр
Питатель ящичный	Высота подъема шибера; постоянное и достаточное заполнение отсека, отсутствие зависания материала и забивания щели	Один раз в смену	Непосредственный осмотр и измерение
Дробилка всех типов и шахтная мельница	Ширина выходных щелей	Один раз в смену	Непосредственный осмотр и измерение
Вальцы всех типов и смеситель	Зазоры между валами	Один раз в неделю	Непосредственный осмотр, измерение с помощью шупа или прокатки свинцовой пластины
Бегуны	Состояние чаши и катков	Один раз в неделю	Непосредственный осмотр
Глиномешалка	Зазор между лопастями и корытом, правильность установки и состояние лопастей	То же	Непосредственный осмотр и измерение
Ленточный вакуумный пресс	Зазор между шнеком и корпусом	—	Непосредственный осмотр и измерение
Сушильный барабан	Величина вакуума	Систематически	
—	Производительность	Один раз в смену	Непосредственным измерением
—	Температура газов на входе и выходе	Постоянно	С помощью мерной емкости и секундомера
—	Разрежение на входе и выходе	Постоянно	Непосредственным измерением с помощью термомпары и потенциометра
—	Расход топлива	Постоянно и в сомнительных случаях	Непосредственным измерением тягонапомером
Грависортировка	Состояние сеток и рам	При сдаче смены	Один раз в смену
Вращающаяся печь	Рабочая производительность: по загрузке сырцовых гранул	Два раза в смену	Непосредственным измерением с помощью мерной емкости и секундомера
—	по выпуску термолита	Один раз в час	С помощью мерной емкости на 50—100 л и секундомера
—	Температура в зоне обжига и в пылесадительной камере	Постоянно	Непосредственным измерением с помощью пирометра и термомпары с потенциометром
—	Разрежение в печи и в пылесадительной камере	То же	Тягонапомер или микроанометр
Горелочное устройство	Давление топлива	—	Непосредственным измерением манометром

Механизмы и агрегаты	Наименование контролируемых параметров	Цикличность проверки	Методы контроля
1	2	3	4
Холодильник	Температура подогрева жидкого топлива	Постоянно	Непосредственным измерением термометром
	Расход дутьевого воздуха	То же	Непосредственным измерением расходомером
	Давление дутьевого воздуха	»	Непосредственным измерением манометром
	Температура готового продукта, выходящего из холодильника	Один раз в смену	При помощи термоизоляционной емкости и термометра

8.5. ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЛИТА

Физико-механические свойства термолита, полученного из кремнистых пород различных месторождений (табл. 8.8) удовлетворяют требованиям ГОСТ 9757—83. Термолит целесообразно использовать в основном для приготовления конструкционных легких бетонов классов В10—В40. Ориентировочные расходы цемента для назначения составов конструкционных бетонов на термолите приведены в табл. 8.9.

Железобетонные предварительно напряженные элементы или их части, в которых располагается напрягаемая арматура, рекомендуется выполнять из бетона классов В12,5 и выше при стержневой арматуре периодического профиля и В25 и выше при прядевой арматуре.

Среднюю плотность термолитобетона в высушенном состоянии в зависимости от насыпной плотности термолита рекомендуется принимать по табл. 8.10.

Нормативные и расчетные характеристики конструкционного бетона на термолите при расчете бетонных и железобетонных конструкций на прочность, а также по образованию и раскрытию трещин принимаются по данным СНиП 2.03.01—84.

8.6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЛИТА

Несмотря на значительные объемы добычи нерудных заполнителей (около 1 млрд. м³), во многих районах страны сохраняется их дефицит для производства конструкционных бетонов, причем

Таблица 8.8. Свойства термолита (фракция 5—10 мм)

Наименование свойства	Из тепела					
	Хольдского месторождения Орловской обл.	Хольдского месторождения Орловской обл.	Пеклинского месторождения Владимирской обл.	Хотьковского месторождения Московской обл.	Атнарского месторождения Мордовской АССР	Алекеевского месторождения Астраханской обл.
Насыпная плотность, кг/м ³	900—950	750	990	720	820	785—840
Плотность, г/см ³	2,33	2,30	2,34	2,47	2,36	2,32
Средняя плотность зерен в цементном тесте, кг/м ³	1,31	1,30	1,32	1,22	1,50	1,48
Объем межзерновых пустот, %	40	35	35	42	39	37
Водопоглощение за 48 ч по массе, %	16	34	12	35	22	17
Прочность в цилиндре, МПа	6,0—8,0	5,0—6,0	10—11	8,0	5,0—5,5	6,4—7,5
Морозостойкость, потеря в массе, % через 15 циклов	1,7	2,4	0	0	0,6	0

* Данные для фракций 10—20 мм.

Таблица 8.9. Ориентировочные расходы цемента для приготовления конструктивных легких бетонов на термолитовом гравии и плотном песке при жесткости бетонной смеси 1—4

Класс бетона	Рекомендуемая марка цемента	Расходы цемента, кг/м ³ , при прочности заполнителя в цилиндре, МПа			
		3	5	6	7
В 10	300	280	270	260	240
В 15	400	330	310	300	280
В 20	400	380	360	340	330
В 22,5	500	—	430	410	400
В 27,5	500	—	400	460	450
В 30	500	—	—	500	490
В 40	600	—	—	—	530

Примечания: 1. Термолит фракций 10—20 мм. 2. Коэффициент изменения расхода цемента в зависимости от марки цемента и жесткости (подвижности) бетонной смеси принимают по табл. 29 СНиП 5.01.23-83.

Таблица 8.10. Средняя плотность конструктивных термолитобетонов в сухом состоянии

Насынная плотность термолита, кг/м ³	Средняя плотность бетона, кг/м ³ , при классе				
	В 10, В 15		В 20, В 25		В 27,5; В 40
	при мелком заполнителе (песке)				
	пористом	кварцевом	пористом	кварцевом	кварцевом
700	1450	1550	1500	1650	1700
800	1500	1600	1550	1700	1800
900	1550	1650	1650	1800	1850
1000	1700	1800	1700	1850	1900

около 6% потребности составляют заполнители для бетонов повышенной прочности.

Изготовление конструкций из высокопрочных легких бетонов, к каким относится термолитобетон, позволяет снизить их массу на 30—40%, а расход арматурной стали и цемента на 10—15%. Однако недостаток каменного сырья заставляет подрядные организации Центральных районов страны, Нечерноземной зоны, Поволжья и других районов применять при возведении ответственных сооружений щебень слабых пород, использовать несортированную песчано-гравийную смесь, что приводит к большому перерасходу цемента. Вместе с тем доставка гранитов и прочих видов щебня в эти районы производится на расстоянии более 700 км, что вызывает значительные капитальные затраты в подвижном составе и требует большей эксплуатационных расходов при перевозке. В прошедшей пятилетке межобластные встречные перевозки щебня и гравия составляли около 40%. В то же время многие районы страны, куда доставля-

ется природный высокопрочный щебень, располагают месторождениями кремнистых пород, на базе которых можно изготовить термолитовые гравий и щебень.

По оценке ВНИИСтрома и НИИЖБа в перспективе потребность в бетонах повышенной прочности значительно возрастет и составит около 10 млн. м³. По данным НИИЖБа, на 1 м³ бетона расходуется 0,85 м³ заполнителя. С учетом этого показателя для восполнения дефицита в бетонах повышенной прочности по районам страны, имеющим месторождения опал-кристаллитовых пород, но использующих привозные заполнители, экономически целесообразно организовать производство гравия и щебня в объеме 8,5 млн. м³.

При оптимальной мощности предприятий по производству термолита 300—400 тыс. м³ в год расчетная себестоимость производства 1 м³ термолитового гравия составляет около 11 руб.

При составлении расчета экономической эффективности в качестве аналога для сравнения выбран природный гранитный щебень. Стоимость гранитного щебня, доставляемого из Карелии и Украины на заводы железобетонных изделий г. Москвы, Московской обл. и других районов страны, составляет 13—14 руб. за 1 м³.

При использовании в конструкциях термолитобетона, имеющего среднюю плотность на 500—600 кг/м³ меньше тяжелого бетона, транспортные расходы, связанные с перевозками изделий, снижаются на 1,5 руб. на 1 м³ бетона.

Общий экономический эффект при организации производства термолита и термолитобетона с учетом экономии материалов (стали, цемента) на изготовление бетонов составляет 2,5—3,0 руб. на 1 м³ бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Производство пористых заполнителей из опал-кристаллитовых пород. — М.: 56 с. — (Сер. 4 ВНИИЭСМ Министерство промышленности строительных материалов СССР. — Вып. 1), 1985.
- Рекомендации по технологии производства искусственного пористого заполнителя из тревельных пород / ВНИИСтром. — М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1973. — 33 с.
- Указания по технологии производства термолита из опок для конструктивных легких бетонов / Министерство промышленности строительных материалов СССР. Государственный научно-исследовательский институт по керамзиту. — Бульварный — 1983. — 22 с.

ГЛАВА 9. ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМЗИТОВОГО ПЕСКА

Искусственный пористый песок получают вспучиванием при обжиге глинистых пород различного зернового состава.

Интенсификацию обжига (требуемые контакт между твердой и газообразной фазами, относительная скорость их перемещения и концентрация твердой фазы в единице объема) обеспечивают при термообработке мелкозернистых фракций в кипящем (псевдожи-

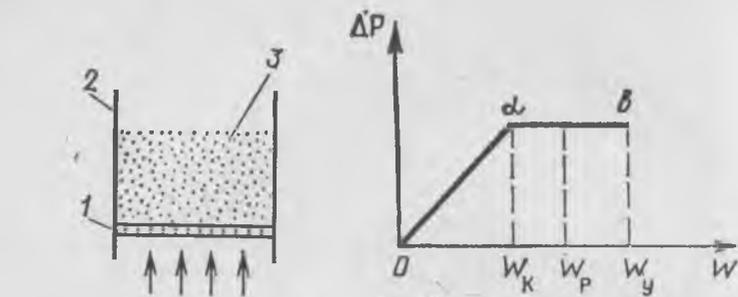


Рис. 9.1. Схема аппарата со слоем зернистого материала
1 — перфорированная решетка; 2 — сосуд; 3 — слой материала

Рис. 9.2. Кривая псевдооживления дисперсного слоя

ΔP — сопротивление слоя, Па; W — линейная скорость фильтрации потока, м/с; W_K^* — критическая скорость, м/с; W_P — рабочая скорость, м/с; W_Y — скорость уноса, м/с

женном) слое. Он характеризуется состоянием, при котором частицы материала перемещаются относительно друг друга за счет энергии газа, пропускаемого через слой, когда величина силы сопротивления материала при фильтрации газа через слой сравнивается с величиной массы слоя (рис. 9.1). При этом наступает гидродинамическое равновесие, в результате чего частицы слоя приобретают возможность взаимного пульсационного перемещения и он становится текучим, приобретая при этом свойства жидкости. При дальнейшем увеличении скорости газа кипящий слой расширяется без нарушения гидродинамического равновесия до момента, когда сила гидродинамического давления станет больше силы тяжести частиц и последние будут выноситься из слоя.

Область существования кипящего слоя находится между скоростью газа в начале псевдооживления (W_K) и скоростью, приводящей к уносу частиц (W_Y) (рис. 9.2).

9.1. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ СЫРЬЯ И ГОТОВОГО ПРОДУКТА

Свойства сырья и методы его испытания должны соответствовать требованиям ГОСТ 25264—82. Технологическими испытаниями устанавливается пригодность сырья для получения керамзитового песка, отвечающего требованиям ГОСТ 9759—83.

Способ подготовки и переработки сырца для лабораторных и полупромышленных испытаний — сухой или пластический (с после-

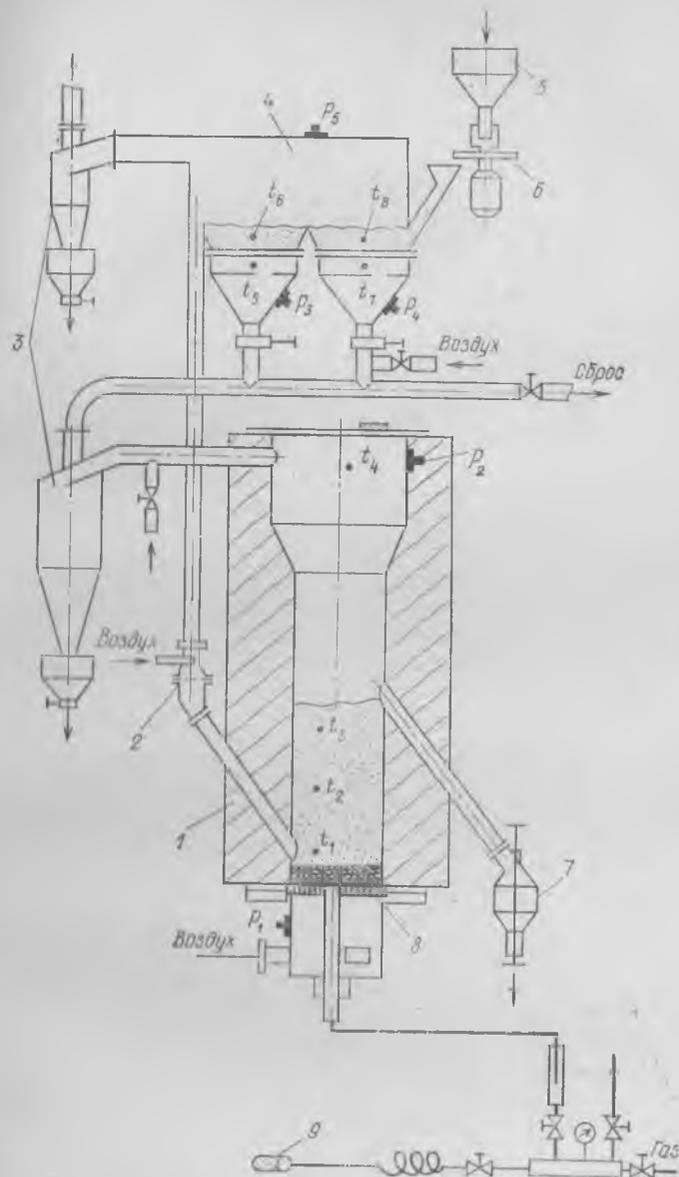


Рис. 9.3. Схема лабораторной установки с печью кипящего слоя
1 — печь обжига; 2 — ячеиный переток; 3 — циклоны; 4 — камера предварительного нагрева; 5 — расходный бункер; 6 — тарельчатый питатель; 7 — выгрузочный клапан; 8 — газогорелочное устройство; 9 — запальник

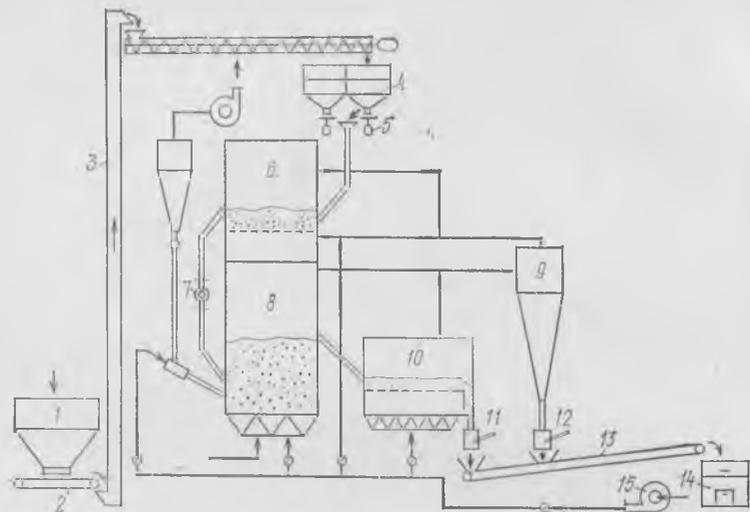


Рис. 9.4. Схема полупромышленной установки с печью кипящего слоя на опытном заводе ВНИИСТРОМа

1 — бункер; 2 — ленточный питатель; 3 — элеватор; 4 — расходные бункера; 5 — тарельчатые питатели; 6 — зона предварительного подогрева печи; 7 — наружный переток со шлюзовым затвором; 8 — зона обжига; 9 — футерованный циклон; 10 — холодильник; 11—12 — выгрузочные клапаны; 13 — транспортер; 14 — емкость для готового продукта; 15 — нагнетатель воздуха

дующим дроблением сформованного и подсушенного материала) выбирают в зависимости от его структурных особенностей — рыхлые, высокопластичные, плотные, камневидные. Обжиг производят в две ступени; температура предварительного нагрева находится в пределах 200—500°C, обжига со вспучиванием — 1000—1200°C. На рис. 9.3 показана лабораторная установка ВНИИСТРОМа им. П. П. Будникова, обеспечивающая возможность выявления оптимальных температурного и гидродинамического режимов как предварительного нагрева, так и обжига. На рис. 9.4 и 9.5 показаны схемы полупромышленной установки и печи кипящего слоя опытного завода ВНИИСТРОМ. Подачу материала (см. рис. 9.4) в расходные бункера печи 4 осуществляют из бункера 1 с помощью ленточного питателя 2 и элеватора 3. Материал подают в зону предварительного нагрева печи 6 тарельчатым питателем 5, откуда через наружный переток со шлюзовым затвором 7 он поступает в зону обжига 8. Обожженный материал самотеком переходит в холодильник 10, потом через выгрузочный клапан 11 на транспортер 13 и далее в емкость готового продукта. Отходящие газы из зоны обжига поступают в футерованный циклон 9, после очистки

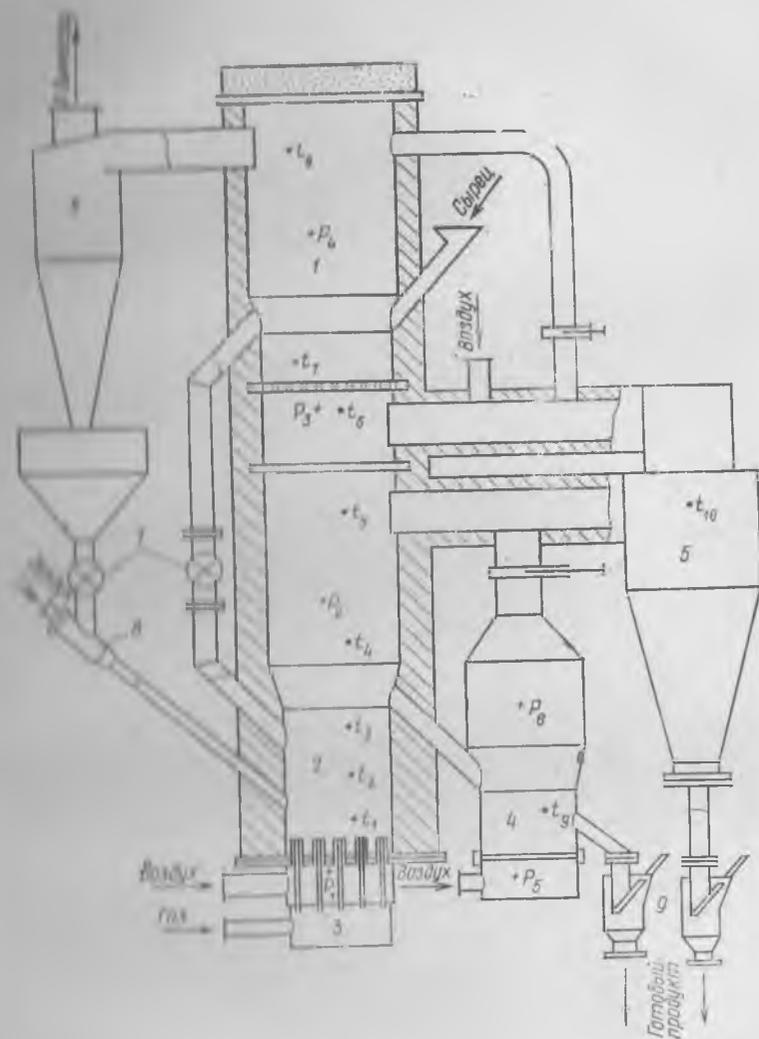


Рис. 9.5. Схема полупромышленной печи с кипящим слоем на опытном заводе ВНИИСТРОМа (место измерения температуры обозначено знаком «+», а отбора давления знаком «-»)

1 — зона термодготовки; 2 — зона обжига; 3 — подовое газогорелочное устройство; 4 — холодильник; 5 — футерованный циклон; 6 — циклон зоны термодготовки; 7 — секторные затворы; 8 — инжекторное устройство; 9 — клапанные затворы

бане с цепной завесой и дробления в молотковой дробилке с последующим просевом через сито, величина отверстий 5 мм.

Пластический метод предусматривает подготовку гранул способом, аналогичным способу, принятому в производстве керамзитового гравия. Полученные гранулы подсушивают до 10—12% остаточной влажности и направляют на дробление и просев через сито с отверстиями в 5 мм.

Термическую обработку производят в двухзонной печи кипящего слоя (см. рис. 9.5). Наиболее ответственным узлом печи является подовое газогорелочное устройство. Для двухзонной печи, производительностью, например, 50 тыс. м³ керамзитового песка в год, оно состоит из 12 квадратных секций и 4 угловых. В каждую квадратную секцию вмонтированы девять коаксиальных сопел, а в угловые — три сопла. Каждое коаксиальное сопло состоит из двух труб, внутренняя из которых снабжена на конце насадкой с центральным калиброванным отверстием для выхода газообраз-

Технологическая схема производства керамзитового песка

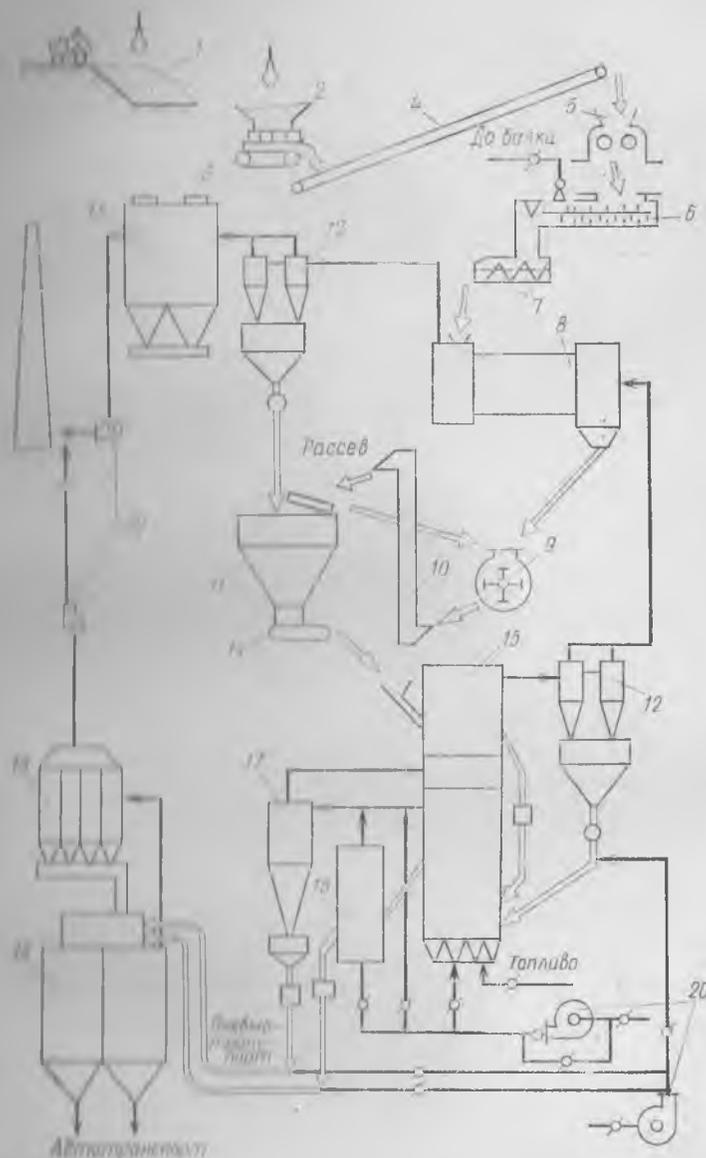
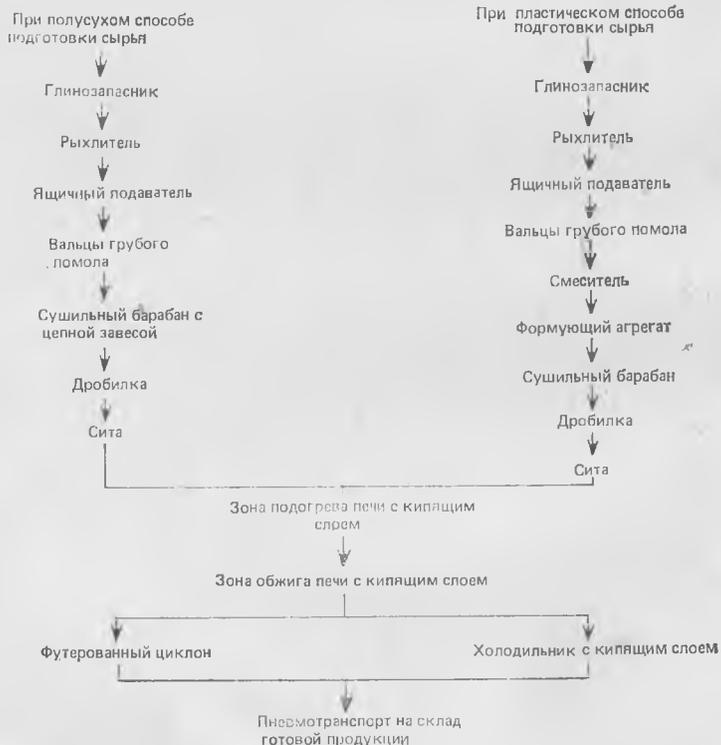


Рис. 9.5 Технологическая схема производства керамзитового песка на Смильлевском экспериментальном заводе

1 — глинозапасник; 2 — рыхлитель; 3 — питатель; 4 — транспортер; 5 — вальцы грубого помола; 6 — молотковая дробилка; 7 — формующий агрегат; 8 — сушильный барабан; 9 — автоматический дозатор; 10 — элеватор; 11 — бункер; 12 — циклоны НИИОГАЗа; 13 — футерованный циклон; 14 — двухзонная печь кипящего слоя СМС-139; 15 — двухзонная печь кипящего слоя СМС-139; 16 — холодильник; 17 — футерованный циклон; 18 — пневмотранспорт; 19 — рукавный фильтр; 20 — вентиляторы

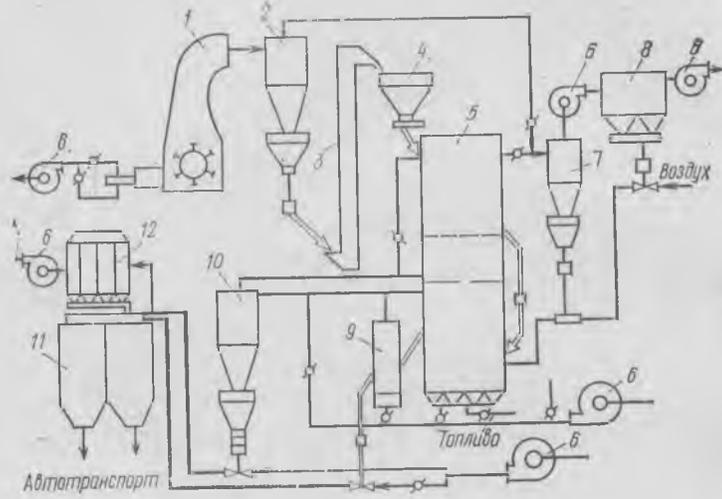


Рис. 9.7. Технологическая схема производства керамзитового песка
 1 — молотковая мельница; 2 — осадительный циклон; 3 — элеватор; 4 — бункер; 5 — печь кипящего слоя СМС-139; 6 — вентиляторы; 7 — батарея циклонов; 8 — электрофильтр; 9 — холодильник; 10 — футерованный циклон; 11 — склад готовой продукции; 12 — рукавный фильтр

ного топлива. Воздух поступает через наружную трубу. Оптимальными размерами указанных отверстий являются для газа 3 мм, для воздуха (расстояние между внутренним диаметром наружной трубы и насадкой) — 4 мм.

При применении высокопластичной глины сырец следует подготавливать пластическим методом.

На рис. 9.6 приведена технологическая схема производства керамзитового песка Смышляевского экспериментального завода производительностью одной технологической линии 50 тыс. м³ песка в год, а на рис. 9.7 — Союзгипрострома такой же мощности. В последней отсутствует передел подготовки сырца, так как проект предусматривает привязку цеха керамзитового песка к заводу керамзитового гравия.

В табл. 9.2 приведены некоторые характеристики агрегатов для термической обработки, применяемых на Смышляевском экспериментальном заводе керамзитового песка.

В табл. 9.3 и 9.4 приведены усредненные режимные параметры работы аппаратов с кипящим слоем на указанном заводе и некоторые показатели свойств глинистого сырца и керамзитового песка.

Установлено, что на расстоянии 400 мм над подиной температура в слое становится стабильной, что обеспечивает достаточное постоянство свойств керамзитового песка. Насыпные плотности

Зона температурного режима	Температура, °С		Расход воздуха (газа), м ³ /ч		Производительность по сырцу, м ³ /ч	
	в зоне термической подготовки	в слое	в зоне термической подготовки	в слое	в зоне термической подготовки	в слое
Зона обжигания	340	920	455	6400	4-5,6	6800
Холодильник	395	980	500	5700	6800	6500
Футерованный циклон	400	930	500	6500	4,2-5,5	6800

Таблица 9.3. Параметры работы печи кипящего слоя на Смышляевском заводе керамзитового песка

Зона температурного режима	Температура, °С		Расход воздуха (газа), м ³ /ч		Производительность по сырцу, м ³ /ч	
	в зоне термической подготовки	в слое	в зоне термической подготовки	в слое	в зоне термической подготовки	в слое
Зона обжигания	340	920	455	6400	4-5,6	6800
Холодильник	395	980	500	5700	6800	6500
Футерованный циклон	400	930	500	6500	4,2-5,5	6800

Таблица 9.4. Свойства глинистого сырца (до и после предварительного нагрева) и керамзитового песка

Наименование пробы	Влажность сырца, %	Насыпная плотность, кг/м³	Зерновой состав				Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа
			Размер отверстий, мм				
		5-10	2,5-5,0	0,63-1,25	0,315-0,63	0,14-0,315	0,14
Сырец после предварительного нагрева	7-11	980-1070 920-1080	0-3 3	14-28 3-14	20-42 18-42	6-37 7-33	0-12 0-12
Керамзитовый песок из: слова циклона	—	450-570 470-580	1-3 1	13-28 0	22-42 28-42	1-6 13-38	0-5 5-9

Таблица 9.5. Лабораторный контроль производства керамзитового песка

Определение	Место отбора пробы	Частота отбора	Метод испытания
Влажность сырца	Транспортная лента при выходе из питателя рыхлителя	Один раз в смену	Высушивание до постоянной массы при температуре 100—110°С То же
гранул То же	После формирующего агрегата сушильного барабана	То же	Рассев на ситах по ГОСТ 9758—77 То же
Зерновой состав сырца	Дробилки	Два раза в смену	Рассев на ситах по ГОСТ 9758—77 То же
Насыпная плотность керамзитового песка	Из точки холодильника Из футерованного циклаона Со склада готовой продукции	Один раз в смену	Рассев на ситах по ГОСТ 9758—77 То же
Гранулометрический состав керамзитового песка	Из точки холодильника Из футерованного циклаона То же	Один раз в смену	Рассев на ситах по ГОСТ 9758—77 То же
Прочность (при сдавливании в цилиндре)	Со склада готовой продукции Со склада готовой продукции	То же	По ГОСТ 9758—77

Таблица 9.6. Контроль сырьевых материалов

Материалы и изделия	Пункты контроля	Частота контроля	Методы контроля
Ядлчатый подметель	Возле пунктов добычи	Один раз в смену	Масштабная линейка
Вальцы всех типов	Заводские пункты	Систематически	Визуально
Дробилки всех типов	Завод, перед вальцами	Один раз в неделю	Замер
Глиномешалки лопастные	Ширеза выхлопная, Ширеза в сборе, вне рабочих органов	Один раз в смену	О-метр
Ленточный пресс	Зазор между лопастями в корытоке, лопастей	Один раз в неделю	Замер
Сушильный барабан	Прочность отверстий перфорированной решетки	Один раз в неделю	Масштабная линейка и визуальный
	Производительность	Один раз в смену	Масштабная линейка, кронциркуль
Печь кипящего слоя зона термодготовки	Температура входящих и отходящих газов	Непрерывно	Замер мерным сосудом сырых гранул, поступающих в барабан в единицу времени
	Давление в разрежении	Непрерывно	Термопара хромель-алюминиевая с потенциометром или милливольтметром
	Количество подаваемого сырца	Раз в смену	Тягонапорометры
зона обжига	Замер температуры	Непрерывно	Замер мерным сосудом сырца, поступающего в печь в единицу времени
	Давление — разрежение	То же	Термопара с самопишущим электронным потенциометром
	Количество подаваемого воздуха по высоте кипящего слоя и в газохолде	Непрерывно	Тягонапорометры
	Количество подаваемого воздуха	То же	Расходомер
	Количество подаваемого воздуха	Непрерывно	Термопара с самопишущим электронным потенциометром
холодильник	Количество подаваемого воздуха	То же	Расходомер
	Давление — разрежение	То же	Термопара с самопишущим электронным потенциометром
	Давление — разрежение	То же	Расходомер

фракций песка, выходящих из циклона и уносимых в циклон, близки между собой. В циклон с отходящими газами выносятся преимущественно пылевидные фракции, однако туда попадает также некоторое количество фракций размером 0,63—1,25 мм. Количество уноса материала в циклон составляет в среднем 30—35%.

Насыпная плотность средних проб керамзитового песка, представляющего собой смесь фракций, выходящих из слоя и циклона, превышает примерно на 10% насыпную массу продукта, выходящего из слива. Около 60% проб керамзитового песка имеет насыпную плотность 500—600 кг/м³.

На Смышляевском заводе расход тепла на термическую обработку составляет 1150 ккал/кг песка, электроэнергии — 35 кВт·ч/м³, глины — 0,7 м³/м³, коэффициент избытка воздуха в печи — 1,1, производительность по готовому продукту — 6,0—6,5 м³/ч, или 145—156 м³/сут.

Средняя фактическая себестоимость 1 м³ керамзитового песка на Смышляевском заводе при работе одной линии составила (1985 г.) 14 руб.

В табл. 9.5 и 9.6 дана последовательность контроля технологического производства керамзитового песка в лабораторных и производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Будников П. П., Полинковская А. И., Петрихина Г. А. и др. Получение керамзитового песка обжигом в кипящем слое и в коротких вращающихся печах // Строительные материалы. — 1961. — № 1.

Обжиг в кипящем слое в производстве строительных материалов / Ахундов А. А., Петрихина Г. А., Полинковская А. И., Пржецлавский В. Л. — М.: Стройиздат, 1975.

ГЛАВА 10. ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

В соответствии с ГОСТ 25192—82 к бетонам на пористых заполнителях относят бетоны, приготовленные на искусственных пористых заполнителях или заполнителях из пористых горных пород, а также на пористых крупных и плотных мелких заполнителях. Такие бетоны в случаях использования цементного вяжущего сокращенно называют легкими. По назначению различают следующие основные виды легких бетонов:

конструкционные — бетоны несущих строительных конструкций

зданий и сооружений, к которым предъявляются требования, характеризующие их механические, а в необходимых случаях и другие свойства, включая стойкость против климатических и других воздействий среды;

конструктивно-теплоизоляционные — бетоны ограждающих строительных конструкций зданий, к которым предъявляются требования, характеризующие их механические и теплоизоляционные свойства, а также стойкость против климатических воздействий внешней среды;

теплоизоляционные — специальные бетоны, предназначенные для тепловой изоляции конструкций, зданий и сооружений.

Помимо теплоизоляционных, различают и другие специальные виды легких бетонов, включающих особую функцию в соответствии с условиями эксплуатации конструкций изделий — жаростойкие, абразивные, химстойкие и другие.

Отличительной особенностью легких бетонов является разнообразие их структуры, характеризующей строением растворной составляющей и степенью заполнения ее пространства между зернами крупного пористого заполнителя. По этому признаку различают бетоны:

плотные (плотной структуры) — у которых все пространство между зернами крупного и мелкого заполнителя заполнено затвердевшим вяжущим, включая поры вовлеченного воздуха, в том числе образующиеся за счет применения добавок (например, воздухововлаживающих), регулирующих пористость бетонной смеси и бетона;

поризованные (поризованной структуры) — не содержащие, как правило, мелкий заполнитель, у которых все пространство между зернами крупного заполнителя заполнено затвердевшим вяжущим, поризованным газообразующим или газообразующим добавками;

крупнопористые (крупнопористой структуры) — не содержащие, как правило, мелкого заполнителя, у которого пространство между зернами крупного заполнителя не заполнено затвердевшим вяжущим, вводимым в бетон в количестве, необходимом для обволакивания и склейки между собой зерен крупного заполнителя и обеспечения контактного монолитизации системы.

К последней группе бетонов близки по свойствам, но не по их назначению, бетоны *неплотной структуры*, получаемые при неполном заполнении бетонной плотной структуры или малом количестве мелкого заполнителя в составе бетона, при котором количество воздуха, не содержащего пор вовлеченного воздуха, недостаточно для заполнения всего пространства между зернами заполнителя.

Характеристикой структуры легких бетонов являются следующие показатели пористости бетона и бетонной смеси, определяемые соответственно по ГОСТ 12730.4—78 и ГОСТ 10181.3—81.

Объем межзерновых пустот (V_n) — характеризует в процентах от объема бетона количество, в основном, сообщающихся открытых пор, оставшихся в уплотненной бетонной смеси и затвердевшем бетоне вследствие неполного уплотнения или недостаточного содержания растворной составляющей (по сравнению с объемом межзерновых пустот в крупном заполнителе).

В бетонах плотной и поризованной структуры объем межзерновых пустот не должен превышать 3%. Обе эти группы относят к бетонам слитной структуры. В бетонах крупнопористой структуры значение V_n не нормируется. Оно обычно находится в пределах 20—30%. В бетонах неплотной структуры значение V_n находится в пределах 5—15%.

Объем вовлеченного воздуха V_v — характеризует в процентах от объема бетона количество замкнутых воздушных пор, содержащихся в уплотненной бетонной смеси и затвердевшем бетоне в результате введения добавок, регулирующих пористость бетонной смеси и бетона.

Допустимый объем вовлеченного воздуха зависит от назначения бетона и требуемых свойств. Для конструктивных бетонов объем вовлеченного воздуха, вводимого в основном в целях повышения долговечности бетона, не должен, как правило, превышать 6—8%. Для конструктивно-теплоизоляционных бетонов объем вовлеченного воздуха, вводимого в основном в целях снижения средней плотности бетона и улучшения удобоукладываемости бетонной смеси, не должен превышать 12% — для бетонов на пористых песках, 15% — для бетонов на плотных песках и 25% — для поризованных беспесчаных бетонов.

Технические требования к легким бетонам установлены ГОСТ 25820—83. Они разделяются на основные, устанавливаемые в стандартах, технических условиях и рабочих чертежах бетонных и железобетонных конструкций во всех случаях, и дополнительные, устанавливаемые в зависимости от назначения и вида бетона.

К основным требованиям относятся: класс по прочности на сжатие (В) и марка по средней плотности (объемной массе) в сухом состоянии (Пл) или (Д). В зависимости от назначения предусматриваются классы по прочности легких бетонов от В 0,35 до В 40, марки по средней плотности — от Пл 300 до Пл2000.

Классы бетона по прочности на сжатие согласно требованиям СТ СЭВ 1406—78 и СНиП 2.03.01—84 отвечают значению гарантированной прочности бетона в МПа с обеспеченностью 0,95. Для перехода от класса бетона к маркам по прочности на сжатие (для конструкций, запроектированных по СНиП II-21-75) следует пользоваться данными табл. 10.1.

К дополнительным требованиям относятся: морозостойкость,

Таблица 10.1. Переход от классов к маркам легкого бетона по прочности на сжатие

Виды бетонов по прочности на сжатие	Средняя прочность легкого бетона при коэффициенте вариации 13,5%, МПа	Ближайшая марка бетона по прочности на сжатие	Класс бетона по прочности на сжатие	Средняя прочность легкого бетона при коэффициенте вариации 13,5%, МПа	Ближайшая марка бетона по прочности на сжатие
В 2,5	3,3	М 35	В 20	26,2	М 250
В 3,5	4,6	М 50	В 22,5	29,5	М 300
В 6	6,5	М 75	В 25	32,7	—
В 7,5	9,8	М 100	В 27,5	35,9	М 350
В 10	13,0	—	В 30	39,2	М 400
В 12,5	16,3	М 150	В 35	45,7	М 450
В 16	19,3	М 200	В 40	52,4	М 500

водопроницаемости, пористости, прочность на осевое растяжение, отпускная влажность, коэффициент теплопроводности, водопоглощение, водонепроницаемость, модуль упругости, усадка и другие.

В зависимости от вида крупного заполнителя по ГОСТ 9757—83 легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях в соответствии с ГОСТ 25820—83 подразделяются на следующие виды: сарангитобетон, шунгизитобетон, бетон на зольном гравии, агломеритобетон, шлакопемзобетон, перлитобетон, вермикулитобетон, ферролитобетон и др. В наименовании легкого бетона может быть дополнительно указан вид мелкого заполнителя и при необходимости — характеристика структуры бетона.

При всех сокращенных наименованиях название крупного заполнителя ставится в начале слова. Характеристики и требования к легким бетонам различного назначения приведены в табл. 10.2.

Наибольшее распространение в строительной индустрии получили конструктивно-теплоизоляционные бетоны (85% от всех изготавливаемых легких бетонов на искусственных пористых заполнителях). Они находят применение для изготовления наружных стеновых панелей и блоков, а также плит перекрытий, в жилищно-коммунальном, промышленном и сельском строительстве.

Объем производства изделий из конструктивных бетонов (пустотных и сплошных плит перекрытий, внутренних стеновых панелей и перегородок, балок, ферм, плит перекрытий, объемных элементов и др.) составляет 12%. Выпуск изделий из теплоизоляционных легких бетонов, используемых для изготовления плит и стеновых конструкций, составляет 3%*. Учитывая малый объем и специфические свойства таких бетонов, они в данной главе не рассматриваются.

* Имеются в виду бетоны на цементном вяжущем, относящиеся к легким бетонам.

Таблица 10.2. Характеристики легких бетонов различного назначения

Назначение	Классы по прочности на сжатие	Средняя плотность, кг/м ³	Структура и ее характеристики	Дополнительные требования	Рекомендуемые виды бетонов
Конструкционные	В 7,5, В 10, В 12,5, В 15, В 20, В 22,5, В 25, В 30, В 35, В 40	1300—2000	Плотная ($V_{п} < 3\%$), ($V_{в} < 6\%$)	Морозостойкость	Аглопоритобетон, керамзитобетон, термолитобетон, шлакопемзабетон
Конструктивно-теплоизоляционные	В 2,5, В 3,5, В 5, В 7,5, В 10	600—1600	Плотная, поризованная ($V_{п} < 3\%$, $V_{в} < 12-25\%$), зависимость от вида и влажности песка*	Кoeffициент теплопроводности, отсухающая влажность, морозостойкость	Керамзитобетон, шлакопемзабетон, перлитобетон
Теплоизоляционные	В 0,35, В 0,75, В 1, В 1,5, В 2	300—600	Крупнопористая, поризованная ($V_{п}$ и $V_{в}$ не нормируются)	Кoeffициент теплопроводности	Вермикулитобетон, перлитобетон, керамзитобетон

* В отдельных случаях (мелкоштучные неармированные изделия, защита арматуры от коррозии) допускаются бетоны неплотной структуры.

10.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЛЕГКИХ БЕТОНОВ И ИХ СВЯЗЬ С СВОЙСТВАМИ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Плотность и прочность

Средняя плотность (объемная масса) в сухом состоянии зависит от плотности зерен крупного (γ_k) и мелкого (γ_m) заполнителя, расхода цемента (Ц), объемной концентрации крупного заполнителя (Ф), объемной концентрации межзерновых пустот и вовлеченного воздуха, водосодержания бетонной смеси (В) и определяется по формуле (10.1)

$$\gamma_b = 1000 \gamma_k \Phi + 1,15 \text{Ц} + \left[\left(1 - \frac{V_m + V_a}{100} - \Phi \right) 1000 - \frac{\text{Ц}}{B} - B \right] \gamma_m. \quad (10.1)$$

При неизменном составе бетона и характеристиках пористости средняя плотность увеличивается пропорционально повышению плотности пористых заполнителей. Поскольку средняя плотность зерен крупного заполнителя при данной насыпной плотности тем больше, чем выше его пустотность, то бетоны на искусственных заполнителях небульварной формы имеют при тех же расходах цемента и марке по насыпной плотности большую на 5—25% среднюю плотность, чем бетоны на заполнителях гравиеподобной формы. Эта разница при данной пустотности заполнителя тем больше, чем меньше расход цемента, ниже насыпная плотность крупного заполнителя и выше его содержание в бетоне. Чтобы при данном количестве крупного пористого заполнителя получить бетон с наименьшей средней плотностью, необходимо использовать составы с наименьшим расходом цемента, наибольшим содержанием крупного и возможно меньшим содержанием мелкого заполнителя. Эффективным способом снижения средней плотности легкого бетона является поризация бетонной смеси воздухововлекающими или порообразующими добавками. При приготовлении бетонов для неармированных мелкоштучных изделий, допускающих использование бетонов неплотной структуры, снижение плотности может быть достигнуто увеличением объема межзерновых пустот.

Плотность при сжатии зависит от прочности и объемной концентрации крупного пористого заполнителя и прочности растворной составляющей. Большое влияние на прочность легкого бетона оказывает объем межзерновых пустот. При 5%-ном объеме межзерновых пустот прочность легкого бетона снижается на 20%, а при 10%-ном объеме межзерновых пустот — на 40—50%, по сравнению с бетоном плотной структуры ($V_{пз} = 3\%$). Поэтому для получения

легкого бетона с наибольшей прочностью при данной средней плотности он должен быть подвергнут предельному уплотнению и иметь плотную структуру.

При данной прочности пористого заполнителя и его объемной концентрации прочность легкого бетона плотной структуры с увеличением прочности растворной составляющей повышается по логарифмическому закону тем интенсивнее, чем выше прочность заполнителя и меньше его содержание в бетоне, пока не достигнет, так называемой, предельной прочности, величина которой может быть приближенно найдена из следующего уравнения

$$R_6^{пп} = 2 R_k \frac{1 - \varphi}{0,5}, \quad (10.2)$$

где R_k — марочная прочность крупного заполнителя; φ — объемная концентрация крупного пористого заполнителя.

Для получения экономичных составов бетона с расходом цемента, не превышающим более чем на 20 % принятый для равнопрочных тяжелых бетонов, предельная прочность легкого бетона на данном пористом заполнителе должна не менее чем на 25 % превышать заданную марку бетона.

Существенное влияние прочности пористого заполнителя приводит к меньшему относительному влиянию на прочность легкого бетона факторов, влияющих на прочность цементного камня в бетоне — В/Ц, активности цемента, длительности твердения, химических добавок — пластификаторов или ускорителей. Помимо этого, на прочность растворной составляющей и соответственно бетона оказывают влияние свойства пористых песков и наличие вовлеченного воздуха.

Пористые пески, особенно малой плотности и прочности (например, вспученный перлитовый песок), могут снижать прочность растворной составляющей (и бетона). Снижение прочности может происходить также за счет повышенной водопотребности пористых песков, приводящих к снижению Ц/В и соответственно прочности цементного камня. Для компенсации этих отрицательных явлений требуется увеличить расход цемента. В то же время пористые пески, например дробленый керамзитовый, с повышенным содержанием пылевидных фракций, обладают заметной гидравлической активностью, особенно проявляющейся при высокотемпературной (90—100 °С) тепловой обработке бетона длительностью 10—12 ч. Этот фактор может частично или полностью компенсировать малую прочность и повышенную водопотребность пористых песков и обеспечить получение требуемой прочности легкого бетона при том же расходе цемента, что и при использовании плотных песков. Применение воздуховлекающих добавок снижает прочность растворной составляющей на пористом или плотном песке. Прочность раствора, содержащего вовлеченный воздух ($R_{пор}$, МПа), можно определить по формуле

Таблица 10.3. Ориентировочные значения средней плотности конструктивно-тепловозрастных легких бетонов на различных видах искусственных пористых заполнителей

Вид заполнителя	Марка заполнителя по плотности	Средняя плотность бетона различных классов (В) в сухом состоянии, на песке, кг/м³															
		пористом			вспученном			перлитовом			плотном			без песка (поризован. бетон)			
		В 2,5	В 3,5	В 5	В 2,5	В 3,5	В 5	В 2,5	В 3,5	В 5	В 2,5	В 3,5	В 5	В 2,5	В 3,5	В 5	В 7,5
Керамзитовый гравий	300	700	800	900	650	700	800	850	850	900	950	900	950	1000	1050	1100	1200
	400	800	900	950	750	800	850	900	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300
	500	900	1000	1050	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
	600	1000	1100	1150	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
Щебень вспученный перлитовый	300	650	750	800	650	750	800	850	850	900	950	900	950	1000	1050	1100	1200
	400	700	800	850	700	800	850	900	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300
	500	800	900	950	800	900	950	1000	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
	600	900	1000	1050	900	1000	1050	1100	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый	600	1250	1300	1350	1000	1050	1100	1150	1150	1200	1250	1300	1300	1350	1400	1450	1500
	700	1350	1400	1450	1100	1150	1200	1250	1250	1300	1350	1400	1400	1450	1500	1550	1600
	800	1450	1500	1550	1200	1250	1300	1350	1350	1400	1450	1500	1500	1550	1600	1650	1700
	900	1550	1600	1650	1300	1350	1400	1450	1450	1500	1550	1600	1600	1650	1700	1750	1800

Примечания: 1. Данные относятся к бетону оптимальной структуры, приготовленному с применением воздуховлекающих добавок. 2. Данные для бетонов на пористом песке справедливы для песка, полученного из заполнителя того же качества, а также на зодах ТЭС.

Таблица 10.4. Ориентировочные значения средней плотности конструкционных легких бетонов на различных видах искусственных пористых заполнителях

Вид пористого заполнителя	Марка по насыщенной плотности	Средняя плотность бетонов различных классов (В) в сухом состоянии на песке, кг/м ³																		
		пористом						плотном												
		В 12,5	В 15	В 20	В 22,5	В 30	В 12,5	В 15	В 20	В 22,5	В 30	В 40								
Керамзитовый гравий и его разновидности	500	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2200
	600	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2200	
	700	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200		
	800	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200				
Аглопоритовый щебень	500	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200			
	600	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200					
	700	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200						
	800	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200								
Шлакопемзовый щебень	600	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200				
	700	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200					
	800	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200							
	900	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200									
Вспученный перлитовый щебень	400	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200								
	500	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200									

$$R_{пор} = R_{пл} \left(1 - \frac{V_B}{100}\right)^4, \quad (10.3)$$

где $R_{пл}$ — прочность раствора того же состава без вовлеченного воздуха, МПа; V_B — объем вовлеченного воздуха в растворе, %.

Легкие бетоны с воздухововлекающими добавками при неизменной средней плотности имеют ту же прочность, что и бетоны неплотной структуры. По сравнению с бетоном плотной структуры, не содержащим вовлеченный воздух, их прочность ниже на 15—25 %, однако при этом они имеют на 100—150 кг/м³ меньшую среднюю плотность.

Поскольку для конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов классов В3,5—В5, используемых в армированных конструкциях, минимально допустимый расход цемента равен 200 кг/м³, фактическая прочность при отсутствии воздухововлечения, как правило, превышает требуемую по проекту. В этих условиях применение воздухововлекающих добавок позволяет получить требуемую прочность при наименьшей средней плотности и обеспечивает возможность изготовления бетонов с заданными свойствами (прочность, плотность) при использовании пористых заполнителей повышенной плотности.

При неизменном качестве пористых заполнителей для увеличения прочности легких бетонов необходимо повышать прочность растворной составляющей, что достигается повышением расхода цемента, уменьшением степени воздухововлечения, или уменьшать объемную концентрацию крупного заполнителя. Поскольку все эти факторы приводят к увеличению средней плотности бетона, последняя с ростом прочности (проектной марки) повышается. Ориентировочные значения средней плотности конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных легких бетонов на различных видах искусственных заполнителей приведены в табл. 10.3 и 10.4.

Прочностные и деформативные свойства

Призменная прочность ($R_{призм}$) легких бетонов колеблется от 0,7 до 1,0 (в среднем 0,85) их кубиковой прочности. Соотношение между призменной и кубиковой прочностью увеличивается с уменьшением класса бетона.

Прочность при осевом растяжении ($R_{раст}$) легких бетонов зависит, в основном, от прочности при сжатии ($R_{сж}$) и рассчитывается по формуле, МПа,

$$R_{раст} = 2,1 \sqrt[3]{R_{сж}^2}. \quad (10.4)$$

Для конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов классов В7,5 и менее прочность при осевом растяжении составляет 12—17 % от прочности при сжатии, для конструкционных — 7—10 %. С

уменьшением фракции заполнителя относительная прочность бетона повышается.

Прочность на растяжение при изгибе составляет 10—25 % от прочности при сжатии и в 1,5—1,7 раза выше прочности легкого бетона при растяжении.

Прочность на сжатие при изгибе для легкого бетона низких марок равна или на 10 % выше кубиковой прочности. Для бетона класса В10 и выше это соотношение уменьшается по мере увеличения марочной прочности от 0,95 до 0,8.

Прочность при срезе легких бетонов находится в пределах 15—20 % от прочности при сжатии (тем больше, чем ниже класс бетона) и может быть ориентировочно установлена по формуле

$$R_{\text{срез}} = 0,6 \sqrt{R_{\text{призм}} R_{\text{раст}}} . \quad (10.5)$$

Усредненные значения прочностных характеристик легких бетонов приведены в табл. 10.5.

Таблица 10.5. Прочностные характеристики легких бетонов, МПа

Кубиковая прочность при сжатии	Призмная прочность	Прочность при осевом растяжении	Прочность на растяжение при изгибе	Прочность при срезе	Сжатие при изгибе
2,5	2,0	0,35	0,5	0,5	2,5
3,5	2,8	0,5	0,8	0,7	3,5
5,0	4,0	0,6	1,0	0,9	5,0
7,5	6,0	0,8	1,3	1,2	7,5
10,0	8,0	1,0	1,7	1,7	10,0
15,0	11,5	1,3	2,2	2,3	14,0
20,0	14,5	1,6	2,7	2,9	18,0
25,0	18,5	1,8	3,0	3,4	21,5
30,0	21,5	2,1	3,5	4,0	26,0
40,0	29,0	2,5	4,2	5,0	35,0
50,0	36,0	2,8	4,5	6,0	44,0

Модуль упругости легких бетонов при сжатии зависит от модуля упругости крупного пористого заполнителя (E_k), его объемной концентрации и модуля упругости растворной составляющей (E_p), рассчитывается по формуле

$$E_6 = E_p \frac{(1 - \varphi) E_p + (1 + \varphi) E_k}{(1 + \varphi) E_p + (1 - \varphi) E_k} . \quad (10.6)$$

Модуль упругости легкого бетона повышается с увеличением его прочности и средней плотности и может быть ориентировочно рассчитан по формуле

$$E_6 = 2500 + 400 \sqrt{10 R_6 \gamma_6^3} , \quad (10.7)$$

где γ_6 — средняя плотность бетона, т/м³; E_6 и R_6 — соответственно модуль упругости и прочность при сжатии, МПа.

При данной прочности легкие бетоны, приготовленные на плотных песках имеют модуль упругости больший на 20—30%, чем бетоны, приготовленные на пористых песках. Рекомендуемые значения начального модуля упругости легкого бетона плотной структуры на искусственных пористых заполнителях и плотных и пористых песках приведены в табл. 10.6. По сравнению с этими значениями начальный модуль упругости поризованных беспесчаных бетонов при той же прочности и средней плотности на 10—15% меньше. У бетонов на вспученном перлитовом песке модуль упругости при той же прочности на 10—15% меньше, а у шлакопемзобетона классов В10 и более на 20—30% больше.

Таблица 10.6. Начальные модули упругости легкого бетона

Средняя плотность бетона, т/м ³	Начальные модули упругости при сжатии и растяжении при классе бетона по прочности на сжатии $E_6 \cdot 10^{-2}$, МПа				
	В 2,5	В 3,5	В 5	В 7,5	В 10
800	40	45	50	55	—
1000	50	55	63	72	80
1200	60	67	76	87	95
1400	70	78	88	100	110
1600	—	90	100	115	125
1800	—	—	112	130	140
2000	—	—	—	145	160

Продолжение табл. 10.6

Средняя плотность бетона, т/м ³	Начальные модули упругости при сжатии и растяжении при классе бетона по прочности на сжатии $E_6 \cdot 10^{-2}$, МПа					
	В 12,5	В 15	В 20	В 25	В 30	В 40
800	—	—	—	—	—	—
1000	84	—	—	—	—	—
1200	100	105	—	—	—	—
1400	117	125	135	145	155	—
1600	132	140	155	165	175	—
1800	147	155	170	185	195	210
2000	170	180	195	210	220	235

Предельная сжимаемость легких бетонов повышается с увеличением их прочности и колеблется в пределах 0,4—2,5 мм/м. При невысокой прочности предельная сжимаемость меньше для бетонов на плотных песках и больше для беспесчаных поризованных бетонов.

Предельная растяжимость легкого бетона в 5—20 раз меньше, чем предельная сжимаемость, колеблется от 0,03 до 0,4 мм/м. Она тем выше, чем больше прочность бетона и деформативность заполнителя. С увеличением класса бетона от В3,5 до В15 предельная растяжимость повышается в 2 раза. Наибольшую растяжимость имеют беспесчаные поризованные бетоны и бетоны на вспученном перлитовом песке, наименьшую — шлакопемзобетон.

Начальный коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) легких бетонов при 20%-ной нагрузке от разрушающей колеблется от 0,12 до 0,28 и в среднем принимается равным 0,2. Вид пористого заполнителя и песка, а также структура бетона на его величину существенного влияния не оказывает.

Усадка легкого бетона, проявляющаяся наиболее интенсивно при его высыхании и обусловленная, в первую очередь, испарением химически не связанной воды тем больше, чем выше водосодержание бетонной смеси. Повышение модуля упругости крупного пористого заполнителя и его объемной концентрации, а также снижение В/Ц при прочих равных условиях способствуют снижению усадочных деформаций. Наибольшая усадка, доходящая до 1,5 мм/м, наблюдается у перлитобетонов; для керамзитобетонов она составляет 0,4—1,0 мм/м, для шлакопемзобетона — 0,2—0,8, для аглопоритобетона — 0,3—0,9 мм/м. Замена пористого песка плотным снижает усадку на 20—40%. Бетоны неплотной структуры имеют усадку в 1,5 раза меньшую, чем бетоны поризованной структуры.

Коэффициент линейной температурной деформации легких бетонов в среднем принимается равным при пористом мелком заполнителе $0,7 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, при плотном мелком заполнителе — $10 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, для беспесчаных поризованных бетонов — $8 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$. Фактическая же его величина зависит также от вида пористого заполнителя.

Ползучесть легкого бетона увеличивается с уменьшением плотности бетона и применяемого пористого заполнителя, а также с увеличением при прочих равных условиях содержания цементного камня и его пористости (увеличение расхода цемента, В/Ц, объема вовлеченного воздуха). Замена пористого песка плотным снижает ползучесть конструктивных бетонов в 1,5—2 раза. Повышение прочности пористого заполнителя в 2 раза, позволяющее снизить расход цемента в бетоне, снижает ползучесть в 2—2,5 раза.

Теплофизические свойства

Коэффициент теплопроводности легких бетонов зависит от теплофизических свойств пористого заполнителя, средней плотности и влажности бетона. При данной плотности стеклосодержащие заполнители, например шлаковая пемза или керамзит из хорошо вспучивающихся глин и бетоны на их основе, обладают на 10—20% меньшим коэффициентом теплопроводности, чем заполнители и бетоны на их основе, в структуре которых преобладает кристаллическая фаза (аглопорит, керамзит из запесоченных слабовспучивающихся глин). Учет теплофизических свойств пористого заполнителя на теплопроводность легкого бетона (плотной и поризованной структуры) может быть осуществлен по формуле

$$\lambda_{\text{б}} = \lambda_{\text{р}} \frac{2\lambda_{\text{р}} + \lambda_{\text{к}} - 2\varphi(\lambda_{\text{р}} - \lambda_{\text{к}})}{2\lambda_{\text{р}} + \lambda_{\text{к}} + \varphi(\lambda_{\text{р}} - \lambda_{\text{к}})} \quad (10.8)$$

где $\lambda_{\text{р}}$ — теплопроводность растворной составляющей; $\lambda_{\text{к}}$ — теплопроводность пористого заполнителя.

При данном виде пористого заполнителя с увеличением средней плотности бетона коэффициент теплопроводности повышается. С увеличением влажности коэффициент теплопроводности легких бетонов возрастает, причем в диапазоне изменения влажности от нуля до максимальной сорбционной эта зависимость может быть принята линейной, а расчет производится по формуле

$$\lambda_{\text{б}}^{\text{вл}} = \lambda_{\text{б}}^{\text{сух}} + K_{\text{вл}} \frac{W_{\text{об}}}{100} \quad (10.9)$$

Значение $K_{\text{вл}}$ (влажностного коэффициента), характеризующего прирост коэффициента теплопроводности при увеличении его объемной влажности ($W_{\text{об}}$) на 1%, зависит от вида пористого заполнителя и состава бетона. В среднем, значения $K_{\text{вл}}$, Вт/(м \cdot °С), равны: для керамзитобетонов на керамзитовом и перлитовом песках, а также золах ТЭС и керамзитопенобетона 0,7—1,4; для керамзитобетонов с воздухововлекающими добавками на плотном песке — 1,1—2,0; для керамзитобетона на плотном песке без воздухововлечения — 1,7—2,9; для шлакопемзобетона — 0,6—1,2; аглопоритобетона — 1,1—2,3. Усредненные значения коэффициентов теплопроводности в сухом состоянии основных видов легких бетонов в соответствии с ГОСТ 25820—83 приведены в табл. 10.7.

В реальных условиях эксплуатации значения коэффициента теплопроводности во влажном состоянии могут на 10—30% отличаться

Таблица 10.7. Коэффициенты теплопроводности легких бетонов

Марка бетона по средней плотности	Значение коэффициента теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м·с)			
	Керамзитобетон, шунгзитобетон, аглопоритобетон, бетон на зольном гравии	Шлакопемзобетон	Перлитобетон	Вермикулитобетон
Пл 300	—	—	0,09	0,08
Пл 400	0,11	—	0,10	0,09
Пл 500	0,14	—	0,11	0,11
Пл 600	0,16	—	0,12	0,14
Пл 700	0,19	0,15	0,14	—
Пл 800	0,21	0,17	0,16	—
Пл 900	0,24	0,20	0,19	—
Пл 1000	0,28	0,23	0,22	—
Пл 1100	0,32	0,26	0,25	—
Пл 1200	0,36	0,29	0,29	—
Пл 1300	0,42	0,32	0,33	—
Пл 1400	0,48	0,36	—	—
Пл 1500	0,54	0,39	—	—
Пл 1600	—	0,43	—	—
Пл 1700	—	0,46	—	—
Пл 1800	—	0,52	—	—

от расчетных в зависимости от характера и размера пор в бетоне, обуславливающих характер состояния влаги (лед, иней или незамерзшая вода), а также фактических составов бетона и теплофизических свойств его компонентов.

Сорбционная влажность легких бетонов зависит от относительной влажности воздуха, а при данной влажности — от капиллярной пористости бетона. Последняя зависит, главным образом, от начального водосодержания свежесформованного бетона, поэтому у бетонов на пористых водопотребных песках и золах ТЭС сорбционная влажность в 1,5—2 раза больше, чем у бетона на плотных песках. С уменьшением средней плотности бетона сорбционная влажность повышается.

Максимальная (при относительной влажности воздуха 98—100 %) сорбционная влажность керамзитобетона (по объему) составляет: в случае применения керамзитового песка — 8—11 %, кварцевого песка — 4—7, перлитового песка — 10—14, зол ТЭС — 9—12 %. Для шлакопемзобетона максимальная сорбционная влажность (по объему) равна 6—10, для перлитобетона — 12—15, аглопоритобетона — 6—10 %. Расчетную влажность в эксплуатационных ограждающих конструкциях принимают примерно равной максимальной сорбционной при условии эксплуатации А и 0,5—0,7 от этой величины при условии эксплуатации Б (СНиП Н-3-79).

Удельная теплоемкость легких бетонов на искусственных пористых заполнителях в сухом состоянии, как и других видов бетонов на цементном вяжущем, равна в среднем 0,84 кДж/(кг·°С). С увеличением влажности теплоемкость возрастает.

Коэффициент теплоусвоения легких бетонов зависит от его средней плотности и влажности и определяется по уравнению

$$S = 0,27 \sqrt{\lambda \gamma_c (C_0 + 0,042 W)}, \quad (10.10)$$

где λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С); C_0 — удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С); γ_c — средняя плотность в сухом состоянии, кг/м³; W — влажность по массе, %.

Для бетонов на искусственных пористых заполнителях значения коэффициентов теплоусвоения (при периоде 24 ч) при средней плотности от 600 до 1800 кг/м³ колеблются от 3 до 12 Вт/(м²·°С).

Воздухопроницаемость легкого бетона тем меньше, чем выше средняя плотность бетона и меньше объем открытых пор. Приведем ориентировочные значения коэффициента воздухопроницаемости легких бетонов:

Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Коэффициент воздухопроницаемости кг/(м·ч·МПа)
800	0,012—0,017
1000	0,007—0,011
1200	0,003—0,007
1400	0,002—0,003
1600	0,0015—0,0025
1800	0,001—0,0015

Коэффициент паропроницаемости зависит от вида легкого бетона и тем меньше, чем выше средняя плотность бетона, ниже его пористость, сорбционная способность. При изменении средней плотности легких бетонов от 600 до 1800 кг/м³ значения коэффициентов паропроницаемости колеблются от 0,26 до 0,075 мг/(м·ч·Па).

Стойкость

Морозостойкость легкого бетона, оцениваемая по количеству циклов попеременного замораживания и оттаивания, при котором его прочность будет составлять не менее 85 % от контрольной, может колебаться от 25 до 500 и более (табл. 10.8). Она зависит не столько от морозостойкости пористого заполнителя, сколько от морозостойкости цементного камня. Морозостойкость последнего тем больше, чем меньше объем капиллярных пор, зависящих от В/Ц и степени гидратации цемента. Водопоглощение пористых заполнителей, повышающее плотность цементного камня в контактной зоне, способствует повышению морозостойкости. Повышенная водопотребность пористых песков, увеличившая В/Ц и капиллярную пористость цементного камня, снижает морозостойкость легкого бетона. Чем выше класс легкого бетона по прочности на сжатие, тем, как правило, выше его морозостойкость. Бетоны плотной структуры обладают более высокой морозостойкостью, чем бетоны неплотной структуры. Наличие вовлеченного воздуха при данном В/Ц и объеме капиллярных пор способствует повышению морозостойкости так же, как и замена пористого песка плотным.

Таблица 10.8. Морозостойкость легких бетонов

Вид бетона	Морозостойкость для бетона классов			
	В 2—В 2,5	В 3,5—В 5	В 7,5—В 12,5	В 15—В 30
Керамзитобетон	25—75	35—150	50—200	150—500
Шлакопемзобетон	25—50	25—100	35—150	50—100
Аглопоритобетон	15—35	25—75	35—100	100—400
Перлитобетон	10—25	25—50	35—75	—

Эффективным способом повышения морозостойкости легких бетонов является введение воздухововлекающих и особенно комплексных пластифицирующих воздухововлекающих добавок (СДО, СНВ, СДБ и др.), а также кремнийорганических добавок (ГКЖ-10, ГКЖ-94 и др.). Наличие в пористых заполнителях слабообожженных зерен или несгоревших углистых остатков (например, в золах ТЭС) снижает морозостойкость легких бетонов, особенно с низкой прочностью.

Водостойкость легких бетонов зависит от коэффициента раз-

мягчения пористых заполнителей и деформаций набухания и усадки цементного камня. Чем больше средняя плотность легких бетонов, меньше их водопоглощение, тем выше водостойкость. Для бетонов плотной структуры прочность после многократного увлажнения—высушивания практически не меняется.

Водонепроницаемость легких бетонов обеспечивается лишь при плотной структуре, характеризуемой объемом межзерновых пустот менее 3 %. Легкие бетоны плотной структуры классов В3,5—В7,5, особенно приготовленные на плотном песке с воздухововлекающими добавками, могут характеризоваться маркой по водонепроницаемости W2—W4. Для конструкционных бетонов классов В10—В30 марка по водонепроницаемости может составлять W8—W16. Такие бетоны могут использоваться в гидротехнических сооружениях.

Стойкость в агрессивной среде легких бетонов определяется коррозионной стойкостью пористых заполнителей и цементного камня. Искусственные пористые заполнители (керамзит, перлит, аглопорит) обладают высокой кислотостойкостью, более низкая кислотостойкость у шлаковой пемзы. Кислотостойкость пористых заполнителей повышается с увеличением содержания в стеклофазе кремнезема и уменьшением содержания оксидов алюминия и железа, а также свободных CaO и MgO. Наоборот, в щелочной среде стекловидная фаза пористых заполнителей подвержена разрушению. Так, щелочестойкость вспученного перлита составляет всего 15, керамзита — 30—40, аглопорита 55 %. В то же время щелочестойкость шлаковой пемзы высока и составляет 90—95 %. В соответствии с вышеуказанным керамзитобетон и аглопоритобетон обладают высокой солестойкостью, не уступающей равнопрочным тяжелым бетонам. Достаточной щелочестойкостью обладают лишь шлакопемзобетоны. Перлитобетоны в силу большей пористости и относительно низкой прочности в агрессивных средах использовать не рекомендуется.

Независимо от стойкости пористых заполнителей основным условием стойкости в агрессивных средах легкого бетона является плотность его структуры и особенно цементного камня. Для получения долговечных бетонов большое значение имеет минералогический состав цемента, который должен характеризоваться минимальным содержанием C₃A (до 6 %). Для бетонов, эксплуатируемых в агрессивных средах, должны применяться сульфатостойкие цементы. Для обеспечения высокой стойкости в агрессивной среде легкий бетон должен иметь минимальную пористость (максимально плотную структуру), оцениваемую по его водонепроницаемости и водопоглощению. Для обеспечения этих характеристик бетон должен изготавливаться с повышенным содержанием цемента, низким В/Ц, возможно меньшим водосодержанием, достигаемым использованием песков малой водопотребности и пластифицирующих добавок. Требования

Таблица 10.9. Требования к характеристикам легкого бетона в агрессивных средах

Характеристика плотности структуры	Марка по водонепроницаемости	Водопоглощение по объему, %	Максимальное В/Ц*	Минимальный расход цемента для смесей, кг/м ³	
				жестких	подвижных
Нормальная	W — 4	14	0,6	300	400
Повышенная	W — 6	11,5	0,55	330	430
Особо плотная	W — 8	10	0,45	380	500

* Фактическое за вычетом воды, поглощенной пористым заполнителем.

к бетонам для эксплуатации в агрессивных средах приведены в табл. 10.9.

Защитные свойства легкого бетона по отношению к арматуре слагаются из пассивирующего и изолирующего действия. Первое обеспечивается в результате плотного и однородного контакта поверхности арматуры с цементным камнем, жидкая фаза которого должна иметь щелочную среду с рН не ниже 12 и не содержать агрессивных веществ, вызывающих коррозию стали (хлориды, сернистые соединения, углистые остатки). Изолирующее действие, необходимое для длительного сохранения консервирующей способности, достигается достаточной толщиной и плотностью защитного слоя бетона.

Для обеспечения указанных свойств легкий бетон должен иметь слитную (плотную или поризованную) структуру с объемом межзерновых пустот не более 3 %. При этом для плотного контакта вяжущего с поверхностью арматуры и малой относительной проницаемости защитного слоя объем вовлеченного воздуха не должен превышать для бетонов на пористых песках и золах ТЭС 12, для бетонов на плотных песках — 15, для беспесчаных поризованных бетонов (с повышенным расходом цемента) — 20 %. Отдельные виды искусственных пористых заполнителей (керамзит, шлаковая пемза, аглопорит) содержат в своем составе водорастворимые сернистые и серно-кислые соединения, которые, переходя в цементное вяжущее, могут вызвать коррозионное поражение стальной арматуры, поэтому содержание таких соединений в пористых заполнителях не должно превышать 1 %. К вредным относятся также углистые остатки, содержащиеся в золах ТЭС, применяемых частично или полностью в качестве мелкого заполнителя легких бетонов. Чем больше расход золы в составе бетона и водосодержание бетонной смеси (меньше пористость цементного камня), тем в большей степени проявляется вредная роль этих соединений. Для буроугольных и торфяных зол показатель ППП не должен превышать 5, для зол каменноугольных — 7—10, для зол антрацитовых, а также полученных из тощих камен-

ных углей — 15—25 %. Пассивирующая способность легкого бетона в большей степени зависит от расхода цемента. Минимальный расход цемента для армированных бетонов во всех случаях не должен быть меньше 200 кг/м³. Чем выше расход цемента и плотность бетона, тем в лучшей степени он защищает арматуру от коррозии. Особенность легких бетонов заключается в том, что многие виды пористых заполнителей являются гидравлически активными и способны связывать гидроксид кальция, выделяющийся при гидратации цемента и обеспечивающий необходимую щелочность среды. Особенно большой гидравлической активностью обладают пылевидные фракции пористых песков.

10.3. ТРЕБОВАНИЯ К ПОРИСТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЯМ ДЛЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Применяемые для приготовления легких бетонов искусственные пористые заполнители должны удовлетворять требованиям соответствующих государственных стандартов или технических условий (ГОСТ 9757—83 «Заполнители пористые неорганические для легкого бетона. Общие технические условия» и ГОСТ 25820—83 «Бетоны легкие. Технические условия»).

Крупный пористый заполнитель должен применяться в виде отдельных фракций, при этом для конструктивных бетонов должны использоваться заполнители только фракций 5—10 и 10—20 мм. При приготовлении конструктивно-теплоизоляционных бетонов применение фракции 20—40 мм также не рекомендуется, так как бетонные смеси на таком заполнителе (в первую очередь гравиеподобной формы) отличаются склонностью к расслоению при транспортировании и формовании. При приготовлении конструктивно-теплоизоляционных керамзитобетонов содержание фракции 20—40 мм не должно превышать 20 % (по объему), а шлакопемзобетона — 40 % при обязательном наличии в составе заполнителя фракций 5—10 и 10—20 мм. Крупнопористые теплоизоляционные бетоны могут готовиться на однофракционном заполнителе 20—40 мм. В остальных случаях соотношение фракций 5—10 и 10—20 мм должно находиться в пределах 1:1,5—1:3.

При выборе наибольшей крупности и зернового состава крупного заполнителя необходимо также учитывать следующие положения: наибольший размер зерен заполнителя должен быть не более 3/4 расстояния между арматурными стержнями и не более 1/3 толщины изделия; средневзвешенная прочность смеси фракций заполнителя $R_{к}$, определяемая по формуле

$$R_{к} = R_{к_1} X_1 + R_{к_2} X_2 + R_{к_3} X_3, \quad (10.11)$$

где $R_{к_1}$, $R_{к_2}$, $R_{к_3}$ — прочность заполнителя отдельных фракций, МПа; X_1 , X_2 , X_3 — процентное содержание каждой фракции (по массе),

должна удовлетворять требованиям по прочности. Если это условие не выполняется, то целесообразно использовать для получения бетона требуемой прочности заполнитель одной наименьшей фракции 5—10 мм, имеющий наибольшую прочность.

Насыпная плотность смеси фракций должна обеспечить получение требуемой средней плотности бетона. Если это условие не удовлетворяется, следует уменьшать содержание мелких, наиболее тяжелых фракций. Марка крупного заполнителя по насыпной плотности должна приниматься в зависимости от класса и требуемой средней плотности бетона, возможных к применению мелких заполнителей и условий приготовления бетона в соответствии с рекомендациями табл. 10.10, 10.11, 10.12.

Таблица 10.10. Насыпная плотность керамзитового гравия для конструктивно-теплоизоляционных бетонов

Класс бетона	Средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м ³	Максимальная марка по насыпной плотности гравия в зависимости от вида примененного песка					
		керамзитовый	кварцевый (плотный)	перлитовый марки 200—250	граншлак, природный пористый	зола ТЭС	без песка (поризованный бетон)
В 3,5	700	—	—	400	—	250	350
	800	350	—	500	—	400	450
	900	500	300	550	350	500	550
	1000	600	500	600	550	600	600
	1100	—	600	—	600	—	—
В 5	800	300	—	400	—	350	350
	900	450	—	500	300	450	500
	1000	550	450	600	500	550	600
	1100	600	550	—	600	600	—
	1200	—	600	—	—	—	—
В 7,5	800	—	—	350	—	—	—
	900	400	—	450	—	400	400
	1000	500	—	550	350	500	500
	1100	550	450	600	500	550	600
	1200	600	550	—	600	600	—
1300	—	600	—	—	—	—	

Примечания: 1. Данные табл. 10.10 относятся к бетонам, приготовленным с воздухововлекающими или порообразующими добавками на керамзите I категории качества (по ГОСТ 9759—83), при наличии в заполнителе фракции 5—10 мм в количестве 25—30%. 2. При приготовлении бетонных смесей без воздухововлекающих добавок значения насыпной плотности гравия уменьшаются для бетонов на керамзитовом песке, золе ТЭС и граншлаке на 100 кг/м³, для бетонов на перлитовом песке — на 50 кг/м³. 3. Для шунгизитового гравия, отвечающего по прочности минимальным требованиям ГОСТ 19345—83, значения плотности гравия уменьшаются на 100 кг/м³.

Таблица 10.11. Насыпная плотность щебня из шлаковой пемзы для конструктивно-теплоизоляционных бетонов

Класс бетона	Средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м ³	Максимальная марка по насыпной плотности щебня в зависимости от вида применяемого песка			
		шлакопемзовый, зола ТЭС	граншлак	вспученный перлитовый марки 200—250	без песка (поризованный) бетон
В 3,5	1100	—	—	700	700
	1200	—	—	800	800
	1300	—	700	900	900
	1400	700	800	1000	1000
	1500	800	900	—	—
	1600	900	1000	—	—
В 5	1200	—	—	700	700
	1300	—	600	800	800
	1400	600	700	900	900
	1500	700	800	1000	1000
	1600	800	900	—	—
	1700	900	1000	—	—
В 7,5	1300	—	—	700	800
	1400	—	600	800	900
	1500	600	700	900	1000
	1600	700	800	1000	—
	1700	800	900	—	—

Примечание. Данные таблицы относятся к бетонам, приготовленным с воздухововлекающими или порообразующими добавками. В противном случае значения насыпной плотности щебня для бетонов на шлакопемзовом песке, золе ТЭС и граншлаке уменьшаются на 100 кг/м³.

Таблица 10.12. Насыпная плотность крупных пористых заполнителей для конструктивных бетонов

Класс бетона по прочности на сжатие	Марка бетона по средней плотности	Максимальная марка по насыпной плотности			
		гравия		щебня	
		Песок плотный	Песок пористый	Песок плотный	Песок пористый
В 10—В 20	Пл 1200	—	500	—	—
	Пл 1300	—	600	—	—
	Пл 1400	500	700	—	400
	Пл 1500	600	800	400	500
	Пл 1600	700	—	500	700
	Пл 1700	800	—	600	800
В 22,5—В 40	Пл 1400	—	600	—	—
	Пл 1500	—	700	—	—
	Пл 1600	600	800	—	—
	Пл 1700	700	—	—	700
	Пл 1800	800	—	600	800
	Пл 1900	900	—	700	900
	Пл 2000	—	800	1000	—

Окончательное суждение о возможности применения заполнителя с данной насыпной плотностью может быть сделано на основе рас-

четов и экспериментальной проверки составов в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 10.4.

Марка крупного заполнителя по прочности должна приниматься в зависимости от класса бетона в соответствии с рекомендациями табл. 10.13. Отнесение крупных пористых заполнителей к той или иной марке по прочности производится в соответствии с данными определения прочности при сдавливании в цилиндре (табл. 10.14) или по результатам испытания в бетоне в соответствии с методикой ГОСТ 9758—86.

Таблица 10.13. Требования к прочности крупных пористых заполнителей

Класс бетона по прочности на сжатие	Марки по прочности пористых заполнителей		
	рекомендуемые		допускаемые минимальные (по ГОСТ 25820—83)
	минимальные	максимальные	
В 3,5	П 35	П 75	П 25
В 5	П 50	П 100	П 35
В 7,5	П 75	П 125	П 50
В 12,5	П 100	П 150	П 75
В 15	П 125	П 200	П 100
В 20	П 150	П 250	П 125
В 22,5	П 200	П 300	П 150
В 27,5	П 250	П 350	П 200
В 30	П 300	П 400	П 250
В 35	П 350	П 400	П 300
В 40	П 400	П 400	П 350

Таблица 10.14. Связь между маркой по прочности пористых заполнителей и их прочностью при сдавливании в цилиндре

Марка крупного заполнителя по прочности	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа			
	гравия (керамзита и его разновидностей)	шлакопемзового щебня	аглопоритового щебня	вспученного перлитового щебня
П 15	До 0,5	До 0,2	До 0,3	—
П 25	Свыше 0,5 до 0,7	Свыше 0,2 до 0,3	Свыше 0,3 до 0,4	До 0,5
П 35	» 0,7 » 1,0	Свыше 0,3 до 0,4	Свыше 0,4 до 0,5	Свыше 0,5 до 0,7
П 50	» 1,0 » 1,5	Свыше 0,4 до 0,6	Свыше 0,5 до 0,6	Свыше 0,7 до 0,9
П 75	» 1,5 » 2,0	Свыше 0,5 до 0,6	Свыше 0,6 до 0,7	Свыше 0,9 до 1,2
П 100	» 2,0 » 2,5	Свыше 0,6 до 0,8	Свыше 0,7 до 0,8	Свыше 1,2 до 1,5
П 125	» 2,5 » 3,3	Свыше 0,8 до 1,1	Свыше 0,8 до 0,9	Свыше 1,5 до 1,8
П 150	» 3,3 » 4,5	Свыше 1,1 до 1,4	Свыше 0,9 до 1,0	Свыше 1,8 до 2,0
П 200	» 4,5 » 5,5	Свыше 1,4 до 1,8	Свыше 1,0 до 1,2	—
П 250	» 5,5 » 6,5	Свыше 1,8 до 2,2	Свыше 1,2 до 1,4	—
П 300	» 6,5 » 8,0	Свыше 2,2 до 2,7	Свыше 1,4 до 1,6	—
П 350	» 8,0 » 10,0	Свыше 2,7	Свыше 1,6	—
П 400	» 10,0	—	—	—

При использовании заполнителей с прочностью ниже минимально допускаемой получение требуемой прочности бетона крайне затруднительно или связано с большим (до 30—50 %) увеличением расхода цемента и повышением средней плотности бетона. Применение заполнителей с минимально рекомендуемой прочностью, по сравнению с заполнителями с прочностью минимально допустимой, снижает расход цемента на 10—25 %. Использование заполнителей с прочностью более высокой чем максимально рекомендуемая нерационально, так как, не способствуя снижению расхода цемента, оно приводит или к повышению плотности бетона, или к увеличению расхода пористого заполнителя. Для конструкционно-теплоизоляционных бетонов увеличение прочности пористых заполнителей целесообразно лишь при данной насыпной плотности. В этом случае при применении структурообразующих добавок (например, воздухововлекающих) может быть снижена средняя плотность бетона данной прочности (табл. 10.15). Для конструкционных бетонов увеличение прочности пористых заполнителей вызывает снижение расхода цемента, а при неизменной средней плотности — уменьшение их расхода. Чем выше требуемая средняя плотность бетона и марка применяемого цемента, тем ниже требуемая его прочность для получения заданной прочности бетона (табл. 10.16).

Для получения бетонной смеси требуемой удобоукладываемости при минимальном водосодержании и расходе цемента, уменьшении расслаиваемости смеси крупный заполнитель должен иметь форму,

Таблица 10.15. Средняя плотность бетона класса В3,5 в зависимости от качества гравия

Вид песка	Марка гравия по насыпной плотности	Средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м ³ , при марке гравия по прочности					
		П 25	П 35	П 50	П 75	П 100	П 125
Дробленый из гравия той же плотности или золь ТЭС	250	780	750	700	—	—	—
	300	840	800	750	710	—	—
	350	—	850	810	760	740	—
	400	—	900	850	820	790	780
	450	—	—	930	880	840	830
	500	—	—	990	930	900	880
	550	—	—	—	990	950	930
Кварцевый	600	—	—	—	1050	1000	980
	250	910	850	820	—	—	—
	300	970	920	890	850	—	—
	350	—	990	950	900	850	—
	400	—	1040	1010	950	910	900
	450	—	—	1050	1000	960	950
	500	—	—	1110	1030	1010	1000
	550	—	—	—	1090	1070	1050
600	—	—	—	—	1110	1100	

Примечание. Данные таблицы справедливы для бетонов, приготовленных с воздухововлекающими добавками.

Таблица 10.16. Влияние средней плотности бетона и марки цемента на требуемую прочность керамзита для конструкционных бетонов

Класс бетона	Марка цемента	Минимальная прочность керамзита, МПа, при средней плотности бетона, кг/м ³		
		1600	1700	1800
В 15	300	6,0	4,0	3,0
	400	4,0	3,0	2,5
	500	3,5	2,5	2,0
В 22,5	400	10,0	5,0	4,0
	500	7,0	4,5	3,5
В 27,5	400	12,0	7,0	5,0
	500	8,0	6,0	4,5
	600	6,5	5,0	4,0
В 30	500	10,0	7,0	6,0
	600	8,0	6,0	5,0

Примечание. Данные относятся к бетонам на строительном песке при жесткости смеси 5—10 с с расходом цемента, не превышающем более чем на 20% таковой для равнопрочных тяжелых бетонов.

приближающуюся к шаровидной для гравия и кубовидной для щебня. Средний коэффициент формы для гравия не должен быть более 1,5, а для щебня — 2,5.

Важное значение имеет долговечность и стойкость пористых заполнителей и, в первую очередь, морозостойкость. Потеря массы крупного пористого заполнителя после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания не должна превышать 10 % для бетонов с маркой по морозостойкости F 150 и менее и 5 % для бетонов с F 200 и более. Коэффициент размягчения крупных пористых заполнителей, оцениваемый по отношению прочности заполнителя в цилиндре в насыщенном и сухом состоянии, должен быть не менее 0,6 для конструкционно-теплоизоляционных и не менее 0,7 — для конструкционных бетонов.

К пористым пескам для приготовления легких бетонов предъявляются, в первую очередь, требования по зерновому составу (табл. 10.17). Малое содержание мелких и пылевидных фракций особенно отрицательно сказывается на удобоукладываемости и структуре конструкционно-теплоизоляционных бетонов, характеризующихся низким содержанием цементного теста. Улучшение зернового состава таких песков достигается добавлением зол или золошлаковых смесей ТЭС. Так, сочетание зол ТЭС с крупным окатанным обжиговым керамзитовым песком с размером зерен 1,25—5 мм, который содержится в керамзите фракции 2,5—10 мм, позволяет получать керамзитобетоны с теми же показателями, что и при использовании дробленого керамзитового песка.

Таблица 10.17. Требования к зерновому составу пористых песков

Размеры отверстий контрольных сит, мм	Полюе остатки по объему для бетона, %	
	конструкционно-теплоизоляционного	конструкционного
5	0—10	0—10
2,5	10—40	15—35
1,5	20—60	30—50
0,63	30—70	40—65
0,315	45—80	65—80
0,16	70—90	90—100
Проход через сито 0,16	10—30	0—10

Для получения конструкционно теплоизоляционных бетонов с наилучшими теплозащитными свойствами при данной плотности, важное значение имеет наиболее низкая теплопроводность пористых заполнителей, что достигается при повышенном содержании в них стеклофазы и развитой капиллярной пористости. Кроме того, существенно, чтобы бетоны, приготовленные на пористых заполнителях, имели пониженное водосодержание, от которого зависит отпуская и начальная эксплуатационная влажность. Для этого крупный пористый заполнитель, в частности керамзитовый гравий, должен иметь минимальное водопоглощение не более 30 % при насыпной плотности 250—400 кг/м³ и 25 % при насыпной плотности 450—600 кг/м³, а пористый песок — минимальную водопотребность, определяемую по ГОСТ 9758—86.

Прочность пористых песков, за исключением вспученного перлитового, всегда выше прочности крупных пористых заполнителей, поэтому требования к их прочности не предъявляются. Тем не менее при приготовлении конструкционных бетонов марка по насыпной плотности песков должна быть не менее 600 для бетонов классов В10—В20 и 800—для бетонов более высоких классов. При использовании вспученного перлитового песка его марка по насыпной плотности должна быть не менее 200 для конструкционно-теплоизоляционных бетонов и не менее 400 для конструкционных. При ограниченном расходе вспученного перлитового песка (0,2—0,3 м³/м³) за счет применения воздухововлекающих добавок или сочетания с другими мелкими заполнителями возможно применение перлитового песка марки 150.

Для применения конструкционных легких бетонов в агрессивных средах важное значение имеет их максимальная водонепроницаемость, минимальное водопоглощение. Для получения таких бетонов помимо технологических требований должны использоваться крупные заполнители с минимальным водопоглощением (не более 15 % за 1 ч для гравия и 18 % для щебня) и пористые пески с минимальной водопотребностью (не более 10 % полученных дроблением щебня и 14 % — гравия).

Получение стабильных по качеству легких бетонов и изделий из них требует постоянства свойств применяемых пористых заполнителей, поэтому выпускаемые и тем более поставляемые потребителю пористые заполнители должны обладать однородностью, оцениваемой коэффициентом вариации основных их характеристик — насыпной плотности и прочности. Для заполнителей высшей категории качества коэффициент вариации по насыпной плотности не должен превышать 5 %, а по прочности — 15 %.

10.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВОВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

Общие положения

Проектирование составов легких бетонов включает в себя следующий комплекс работ: выбор материалов с учетом требований, предъявляемых к бетону и применяемых технологических режимов производства; расчет составов для опытных замесов и их проведение с оценкой и обработкой полученных результатов; установление рабочих составов и методов их корректировки. Оптимальным является такой состав легкого бетона, при котором требуемые проектные характеристики достигаются при наименьшем расходе цемента, общей стоимости и энергоемкости материалов и при этом обеспечивается наибольшая однородность требуемых по проекту свойств бетона при колебаниях качества пористых заполнителей и технологических режимов производства.

Проектирование составов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов

Основная задача при проектировании состава конструкционно-теплоизоляционных бетонов заключается в получении бетонов стабильной минимальной средней плотности и теплопроводности при требуемой прочности и слитной (плотной или поризованной) структуре бетона в изделиях. Для решения этой задачи при наименьшей материалоемкости производства бетонные смеси должны обязательно изготавливаться с применением воздухововлекающих или порозаполняющих добавок.

Насыпная плотность должна приниматься в зависимости от класса по прочности на сжатие, проектной марки бетона по плотности и виду используемого мелкого заполнителя (см. табл. 10.10, 10.11).

Для того чтобы при данном качестве материалов получить легкий бетон требуемой прочности с наименьшей средней плотностью,

необходимо максимально насыщать его наиболее легким компонентом — крупным пористым заполнителем, расход которого должен назначаться в зависимости от особенности установленного смесителя, прочности и зернового состава крупного заполнителя и вида мелкого заполнителя в соответствии с рекомендациями табл. 10.18.

Таблица 10.18. Рекомендуемые ориентировочные расходы крупного заполнителя при приготовлении легкого конструкционно-теплоизоляционного бетона

Фракция, мм	Расход, м ³ /м ³ , в зависимости от вида песка и марки заполнителя по прочности			
	П 75		более П 75	
	песок плотный	песок пористый	песок плотный	песок пористый
5—20	1,05—1,15	1,0—1,05	1,0—1,05	0,95—1,0
10—20	1,1—1,2	1,05—1,15	1,05—1,1	1,0—1,05

Расход цемента для опытных замесов рекомендуется принимать в соответствии с табл. 10.19 и 10.20. Необходимое количество мелкого заполнителя в составе конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона может быть найдено расчетом по следующим уравнениям:

$$P_{II} = \left(1000 - \frac{C}{\gamma_c} - \frac{V_k \gamma_k^n}{n \gamma_{zk}} - B_0 - 10 V_B \right) \times \frac{\gamma_{зп}}{1 + 0,025 (B_{II} - 7)}; \quad (10.12)$$

$$P_{II} \leq \gamma_6^{сух} - 1,15 C - V_k \gamma_k^n, \quad (10.13)$$

где C — принятый расход цемента на один кубометр бетона, кг/м³; γ_c — плотность цемента, принимаемая равной 3,1 г/см³ или определяемая по ГОСТ 310.2—76; V_k — расход по насыпному объему крупного пористого заполнителя на один кубометр бетона, м³/м³; γ_k^n — насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м³; n — коэффициент, учитывающий дробление крупных заполнителей при перемешивании, принимаемый равным 1,05—1,15 (тем больше, чем ниже прочность крупного заполнителя); γ_{zk} — плотность зерен крупного заполнителя в цементном тесте по ГОСТ 9758—86, г/см³; B_0 — расчетный начальный расход воды на 1 м³ бетонной смеси, принимаемый в зависимости от крупности, водопоглощения и формы зерен крупного заполнителя и удобоукладываемости бетонной смеси в пределах 150—160 л/м³ для гравия и 170—190 л/м³ для щебня; V_B — объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси, принимаемый 10—12% для бетонов класса В 3, 5, 7—10% для бетонов класса В 5 и 5—8% для бетонов класса В 7,5; $\gamma_{зп}$ — плотность зерен в цементном тесте по ГОСТ 9758—86, кг/см³ (для плотного песка принимается равной 2,65 г/см³); B_{II} — водопотребность песка, %, по ГОСТ 9758—86, $\gamma_6^{сух}$ — проектная средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³.

Ориентировочный расход воды устанавливаются по формуле 10.14 и уточняют в процессе проведения производственных испытаний

Таблица 10.19. Ориентировочные расходы цемента марки 400 при приготовлении конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона и шунгизитобетона

Проектный класс бетона по прочности на сжатие	Марка керамзита по насыпной плотности	Расход цемента, кг/м ³ , в зависимости от вида песка				
		пористый (керамзитовый, шунгизитовый, природный)	плотный (кварцевый)	вспученный перлитовый марки 2000	зола ТЭС	без песка (поризованный бетон)
В 3,5	300 и менее	230	250	280	210	300
	350—400	220	230	260	200	280
	450—500	210	210	240	200	260
	550—600	200	200	230	200	240
В 5	300 и менее	250	280	330	230	—
	350—400	230	250	300	220	300
	450—500	220	230	270	210	280
	550—600	210	220	250	200	260
В 7,5	350—400	270	280	330	250	—
	450—500	250	250	300	230	320
	550—600	230	230	270	220	300

Примечания: 1. При использовании цемента марки 300 его расход повышается на 5% для бетона класса В 3,5, на 7% — для бетона класса В 5 и на 10% — для бетона класса В 7,5. 2. При использовании вспученного перлитового песка марки 300 расход цемента снижается на 10%, марки 400 — на 15%.

Таблица 10.20. Ориентировочные расходы цемента марки 400 для конструкционно-теплоизоляционного шлакопемзобетона

Проектный класс бетона по прочности на сжатие	Марка щебня по насыпной плотности	Расход цемента, кг/м ³ , в зависимости от вида песка			
		шлакопемзавый или граншлак	вспученный перлитовый	зола ТЭС	без песка (поризованный бетон)
В 3,5	600	240	280	220	320
	700	230	260	210	300
	800	220	240	200	280
	900	210	230	200	270
В 5	600	260	300	230	340
	700	240	280	220	320
	800	230	260	210	300
	900	220	250	200	280
В 7,5	1000	210	240	200	270
	600	300	330	260	—
	700	280	310	240	350
	800	260	290	230	330
В 10	900	250	280	220	310
	1000	240	270	210	290

Осьмичисленные. См. примечание к табл. 10.19.

$$B = B_0 + 0,025 \frac{\Pi}{\gamma_{зп}} (B_{п} - 7), \quad (10.14)$$

Правильность рассчитанного состава может быть установлена по граничным значениям расхода песка (табл. 10.21).

Таблица 10.21. Рекомендуемые расходы мелкого заполнителя для конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов

Класс бетона	Расход мелкого заполнителя, м ³ /м ³			
	пористого того же вида, что и крупный	золы или золошлаковой смеси ТЭС	вспученного перлитового	плотного
В 3,5	0,2—0,3	0,12—0,15	0,25—0,35	0,12—0,15
В 5	0,23—0,33	0,15—0,2	0,3—0,4	0,15—0,2
В 7,5	0,28—0,35	0,18—0,25	0,35—0,45	0,18—0,25

Примечание. Расходы даны для бетонных смесей на пористом гравии. Для смесей на щебне они повышаются на 0,1—0,15 м³/м³.

При расходах золы менее 0,15 м³/м³ она должна использоваться совместно с крупным пористым песком, вводимым отдельно или входящим в состав мелкой фракции крупного заполнителя.

Расходы воздуховлекающих добавок принимают по данным табл. 10.22. Эти расходы уточняются проведением опытных замесов в производственных условиях.

Таблица 10.22. Ориентировочные расходы воздуховлекающей добавки

Наименование добавки	Расход добавки от массы цемента при песке, %		
	пористом	плотном	золе ТЭС
СДО	0,1—0,2	0,15—0,3	0,25—0,5
СНВ	0,05—0,15	0,10—0,2	0,15—0,4

Примечания: 1. Расходы добавок приведены по товарному продукту применительно к бетонам на пористом гравии. Для бетонов на пористых щебнях они повышаются в 1,5—2 раза.
2. При данном виде песка расход добавки повышается с уменьшением содержания мелкого заполнителя.

Важным элементом при проектировании составов конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов является производственная отработка составов, при которой уточняются необходимые расходы воды и воздуховлекающей добавки, а также продолжительность перемешивания, обеспечивающие получение расчетной средней плотности бетонной смеси слитной структуры на посту формирования, с учетом потери вовлеченного воздуха при транспортировании бетонной смеси.

При производственной отработке оценивают характеристики легкого бетона и качество получаемых изделий (однородность и слит-

ность структуры, отсутствие раковин и каверн на поверхности, соответствие профиля изделий проекту, сцепление бетона с облицовкой и фактурными слоями). На основе проведенных работ составляются таблицы объемно-вещного дозирования, позволяющие постоянно корректировать состав бетона для поддержания его свойств на уровне требований проекта при колебаниях насыпной плотности крупного пористого заполнителя в пределах ± 50 —75 кг/м³.

Расчет и назначение составов конструктивных легких бетонов

Расчет составов конструктивных легких бетонов производят в следующей последовательности: в зависимости от заданной средней плотности бетона и насыпной плотности заполнителя (см. табл. 10.12) выясняют возможность приготовления бетона на плотном или пористом песке; по табл. 10.23 определяют ориентировоч-

Таблица 10.23. Ориентировочные расходы цемента для расчета составов конструктивных легких бетонов на искусственных пористых заполнителях с предварительной крупностью 20 мм, на плотном песке и жесткости бетонной смеси 5—10 с

Класс бетона	Рекомендуемая марка цемента	Расход цемента, кг/м ³ , при марке пористого заполнителя по прочности							
		П 75	П 100	П 125	П 150	П 200	П 250	П 300	М 350
В 12,5	400	300	280	260	240	230	220	220	220
В 15	400	—	340	320	300	280	260	250	250
В 20	400	—	—	390	360	330	310	290	280
В 22,5	500	—	—	—	420	390	360	330	310
В 27,5	500	—	—	—	—	450	410	380	350
В 30	500	—	—	—	—	—	480	450	420
В 40	600	—	—	—	—	—	570	540	510

Таблица 10.24. Ориентировочные начальные (расчетные) расходы воды для приготовления конструктивных легких бетонов на плотном песке ($B_{п} = 7\%$)

Удобоукладываемость		Расход воды, л/м ³ , при использовании			
подвижность, см	жесткость, с	пористого гравия крупностью, мм		пористого щебня крупностью, мм	
		10	20	10	20
10—15	—	235	220	265	250
5—9	—	220	205	245	230
1—4	—	205	190	225	210
—	5—10	195	180	215	200
—	11—20	185	170	200	185
—	21—30	175	160	190	175

ный расход цемента (Ц); по табл. 10.24 определяют начальный (расчетный) расход воды (В₀); в случае приготовления легкого бетона только на плотном песке по табл. 10.25 определяют объемную концентрацию крупного заполнителя (Ф). При этом найденное значение Ф не должно превышать более чем на 0,05 оптимальной величины, устанавливаемой по формуле (10.15)

$$\Phi_{\text{опт}} = 0,85 - \alpha, \quad (10.15)$$

где α — объем межзерновых пустот крупного заполнителя в долях единицы.

Таблица 10.25. Объемная концентрация крупного пористого заполнителя для конструктивных легких бетонов на плотном песке

Средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м ³	Объемная концентрация заполнителя Ф с плотностью зерен в цементном тесте, кг/л						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
1300	0,47	0,51	0,54	—	—	—	—
1400	0,43	0,47	0,51	0,54	—	—	—
1500	0,39	0,43	0,47	0,51	—	—	—
1600	0,33	0,37	0,42	0,46	0,51	—	—
1700	—	0,29	0,36	0,41	0,46	0,51	—
1800	—	—	—	0,32	0,4	0,46	0,51
1900	—	—	—	—	0,3	0,38	0,46
2000	—	—	—	—	—	—	0,37

Примечания: 1. Приведенные значения справедливы для бетонов с расходом цемента (Ц) 400 кг/м³, начальным водосодержанием (В₀) 200 л/м³, водопотребностью песка В_п — 8%. 2. При изменении расхода цемента на ± 100 кг/м³ Ф соответственно изменяется на 0,01—0,02, а при изменении Ц на ± 200 кг/м³ — на 0,03—0,05. 3. При увеличении В₀ на каждые 20 л/м³ Ф уменьшается на 0,02; при уменьшении В₀ на каждые 20 л/м³ Ф увеличивается на 0,02.

При приготовлении бетона на пористом песке или смеси пористого и плотного песка значение Ф непосредственно определяют по формуле (10.15).

Расход крупного заполнителя по массе К, кг/м³, определяют по формуле (10.16)

$$K = 1000 \Phi \gamma_{\text{зк}}. \quad (10.16)$$

Расход песка определяют по следующим формулам:

а) при приготовлении бетона только на плотном песке

$$P_{\text{пл}} = A / C_{\text{в}}^{\text{пл}}; \quad (10.17)$$

б) при приготовлении бетона на пористом песке или смеси пористого и плотного песков

$$P_{\text{пор}} = (A - \Sigma P C_{\text{н}}^{\text{пл}}) / (C_{\text{в}}^{\text{пор}} - C_{\text{н}}^{\text{пл}}); \quad (10.18)$$

$$P_{\text{пл}} = \Sigma P - P_{\text{пор}}, \quad (10.19)$$

где $A = 1000(1 - \Phi) - \frac{C}{\gamma_{\text{ц}}} - (B_0 + B_1 + B_2)$; $P = \gamma_6^{\text{сух}} - 1,15 \text{ Ц} - K$;

$$C_{\text{в}}^{\text{пл}} = \frac{1 + 0,025 (B_{\text{п}}^{\text{пл}} - 7)}{\gamma_{\text{зп}}^{\text{пл}}}; \quad C_{\text{в}}^{\text{пор}} = \frac{1 + 0,025 (B_0^{\text{пор}} - 7)}{\gamma_{\text{зп}}}; \quad B_1 = 2000 (\Phi - 0,37)^2; \quad B_2 = 0,15 (\text{Ц} - 450) \text{ при } \text{Ц} > 450; \quad B_2 = 0 \text{ при } \text{Ц} \leq 450.$$

Общий расход воды В_в, л/м³, бетона определяют по формуле (10.20)

$$V = B_0 + B_1 + B_2 + B_3^{\text{пл}} + B_3^{\text{пор}}, \quad (10.20)$$

где В₁ и В₂ — то же, что и выше

$$B_3^{\text{пл}} = 0,01 P_{\text{пл}} (B_{\text{п}}^{\text{пл}} - 7);$$

$$B_3^{\text{пор}} = 0,025 \frac{P_{\text{пор}}}{\gamma_{\text{зп}}} (B_{\text{п}}^{\text{пор}} - 7).$$

Расчетную среднюю плотность бетона проверяют по формуле

$$\gamma_6 = 1,15 \text{ Ц} + K + P_{\text{пл}} + P_{\text{пор}}. \quad (10.21)$$

Расчет признается удовлетворительным, если найденное по формуле (10.21) значение средней плотности отличается от заданного на $\pm 3\%$.

Для опытных замесов рассчитывают три состава бетона с расходами цемента по табл. 10.21 и ± 10 —20% от табличного.

На основании испытания изготовленных контрольных образцов, твердевших по заданному режиму, по построенной зависимости $R_6 = f(\text{Ц})$ определяют расход цемента (Ц₀) обеспечивающий получение требуемой прочности бетона. Расходы остальных материалов в найденном оптимальном составе бетона (М) вычисляют по формуле

$$M = M_1 + \frac{(\text{Ц}_0 - \text{Ц}_1) (M_2 - M_1)}{\text{Ц}_2 - \text{Ц}_1}, \quad (10.22)$$

где Ц₁, Ц₂, М₁ и М₂ — фактические расходы цемента и материалов в опытных замесах, между которыми находится установленный расход Ц₀.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Горчаков Г. И. Технология строительных материалов. — М.: Высшая школа, 1981.
 Довжик В. Г., Дорф В. А., Петров В. П. Технология высокопрочного керамзитобетона. — М.: Стройиздат, 1976.
 Иванов И. А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. — М.: Стройиздат, 1974.
 Руководство по подбору составов конструктивных легких бетонов на пористых заполнителях. — М.: Стройиздат, 1975.
 Руководство по заводской технологии изготовления наружных стеновых панелей из легких бетонов на пористых заполнителях. — М.: Стройиздат, 1980.
 Симонов М. З. Основы технологии легких бетонов. — М.: Стройиздат, 1973.

ГЛАВА 11. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

11.1. ДРОБИЛЬНОЕ И СОРТИРОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Щековые дробилки

Щековые дробилки с простым и сложным движением и верхним подвесом подвижной щеки (табл. 11.1) применяют для первичного (крупного и среднего) дробления камнеподобного сырья и глыб шлаковой пемзы. При крупном дроблении в дробилку подается смесь кусков материала размером от 0,2 до 1,3 м, а при среднем — от 0,05 до 0,5 м. Преимущественное применение имеют дробилки со сложным движением подвижной щеки.

Конусные дробилки

Конусные дробилки (табл. 11.2) применяют для среднего и мелкого дробления камнеподобного сырья. Применение конусных дробилок целесообразно также для среднего и мелкого дробления шлаковой пемзы; они обеспечивают больший выход средней фракции пористого заполнителя по сравнению с валково-зубчатыми дробилками, применяемыми на действующих установках производства шлаковой пемзы.

Молотковые и роторные дробилки

Молотковые и роторные дробилки (табл. 11.3 и 11.4) применяют для одностадийного дробления камнеподобного сырья с влажностью не более 8—10% до крупности 20—40 мм и для вторичного дробления сырья до крупности 10—12 мм; в отдельных случаях — для среднего и мелкого дробления аглопорита и твердого топлива.

Конструктивно молотковые дробилки отличаются прежде всего наличием шарнирно подвешенных на роторах молотков П-образных или плоских, а роторные — жестко закрепленных бил. Окружные скорости в молотковых дробилках составляют 15—25 м/с; в роторных — 25—50 м/с для однороторных дробилок и до 100 м/с для двухроторных. Продукт дробления роторных дробилок имеет большее содержание кубовидных зерен, но и большее содержание мелкой фракции (песка) 0—5 мм. Молотковые дробилки более просты по конструкции, имеют меньшую массу и удельный расход электроэнергии.

Таблица 11.1. Техническая характеристика щековых дробилок

Показатели	Со сложным движением щеки				С простым движением щеки		
	СМД-116 (С-182Б)	СМД-108 (СМ-166А)	СМД-28 (СМ-741)	СМД-6А (СМ-16Д)	СМД-111	СМД-118	СМД-117
Размер загрузочного отверстия, мм	250×400	250×900	400×900	600×900	900×1200	1200×1500	1500×2100
Размер загружаемых кусков до, мм	210	210	340	500	700	1000	1300
Ширина разгрузочной щели, мм	20—80	20—80	40—90	75—125	130	150	180
Мощность электродвигателя, кВт	25	40	40	55	100	160	250
Производительность, м ³ /ч	3,5—12	7—35	19,8—48	120	160	280	550
Габаритные размеры, м:							
длина	1,33	1,40	2,20	2,70	7,50	9,28	7,70
ширина	1,20	2,08	2,60	2,50	5,55	6,80	6,65
высота	1,40	1,23	2,20	2,60	2,97	3,89	4,80
Масса, т	2,5	5,1	12	20	72,3	145	251
Завод-изготовитель	Кемеровский «Стромашина»	Выксунский завод ДРО		«Волгоцеммаш»			

Таблица 11.2. Техническая характеристика конусных дробилок

Показатели	Марка					
	среднего дробления			мелкого дробления		
	СМД-119 (СМ-56А)	СМД-117 (СМ-560А)	КСД-1200Гр	КСД-1750Т	СМД-105	КСМД-1200Т
Диаметр основания дробящего конуса, мм	600	900	1200	1750	600	1200
Наибольший размер загружаемых кусков, мм	60	100	150	160	40	40
Ширина загрузочного отверстия, мм	75	130	200	200	50	50
Ширина разгрузочной щели, мм	12—35	15—40	20—50	15—30	5—15	5—12
Мощность электродвигателя, кВт	30	55	75	160	30	75
Производительность, м ³ /ч	До 35	30—62	70—115	100—190	5—15	27
Габаритные размеры, м:						
длина	1,56	2,80	2,50	5,11	1,60	2,50
ширина	1,25	2,0	3,48	4,10	1,50	3,48
высота	1,36	2,30	3,02	4,80	1,50	3,02
Масса, т	3,7	12,5	23,7	48,1	4,7	23,9
Завод-изготовитель	Костромской «Строммашина»	Высунский завод ДРО	Южуралмаш-завод (г. Орск)	Уралмашзавод (г. Свердловск)	Костромской «Строммашина»	Южуралмаш-завод (г. Орск)
						Уралмашзавод (г. Свердловск)

Таблица 11.3. Техническая характеристика молотковых дробилок

Показатели	Однороторные с плоскими молотками				Двухроторные	
	Однороторная С-29 с П-об-разными молотками		СМД-112 (СМ-218М)		СМД-12 (СМ-170Б)	
	СМД-147 (СМ-431)	СМД-112 (СМ-218М)	СМД-112 (СМ-170Б)	СМД-12 (СМ-170Б)	С-399	С-738
Диаметр ротора, мм	710	600	600	1300	700	1600
Длина ротора, мм	350	260	400	1600	400	1500
Наибольший размер загружаемых кусков, мм	100	150	150	400	100	300
Размер измельченного продукта до, мм	12	30	10	10	2	25
Частота вращения ротора, об/с	18,4—20,8	20,8	9,6—12,2	9,6—12,2	20—25	6,8
Мощность электродвигателя, кВт	11	17	36,0	36,0	55	2×320
Производительность, т/ч	6—8	12—22	150—200	150—200	10	До 500
Габаритные размеры, м:						
длина	1,10	1,0	2,40	2,40	2,55	4,60
ширина	1,20	1,30	2,70	2,70	2,20	7,30
высота	1,40	1,30	1,90	1,90	1,40	3,0
Масса, т	1,27	2,2	11,0	11,0	2,53	35,4
Завод-изготовитель	Ухоловский «Строммашина»	Ухоловский «Строммашина»	Высунский завод ДРО	Высунский завод ДРО	Высунский завод ДРО	Высунский завод ДРО

Таблица 11.4. Техническая характеристика роторных дробилок Высунского завода ДРО (однороторных)

Показатели	СМД-85А			СМД-86А			СМД-75А			СМД-94А		
	СМД-85А	СМД-86А	СМД-75А									
Диаметр ротора, мм	800	1250	1000	800	1250	1000	800	1250	1000	800	1250	1000
Размер загрузочного отверстия, мм	630×650	1000×875	1000×1000	630×650	1000×875	1000×1000	630×650	1000×875	1000×1000	630×650	1000×875	1000×1000
Наибольший размер загружаемых кусков, мм	400	41	300	400	41	300	400	41	300	400	41	300
Средний размер измельченного продукта, мм	18	8,5; 10,5; 14	12; 20	18	8,5; 10,5; 14	12; 20	18	8,5; 10,5; 14	12; 20	18	8,5; 10,5; 14	12; 20
Частота вращения, об/с	55	55	120	55	55	120	55	55	120	55	55	120
Производительность, м ³ /ч	40	110	160	40	110	160	40	110	160	40	110	160
Мощность электродвигателя, кВт	2,50	3,20	3,85	2,50	3,20	3,85	2,50	3,20	3,85	2,50	3,20	3,85
Габаритные размеры, м:												
длина	1,70	2,35	4,20	1,70	2,35	4,20	1,70	2,35	4,20	1,70	2,35	4,20
ширина	9,15	2,80	2,06	9,15	2,80	2,06	9,15	2,80	2,06	9,15	2,80	2,06
высота	9,02	13,85	9,02	9,02	13,85	9,02	9,02	13,85	9,02	9,02	13,85	9,02
Масса дробилки, т												

Таблица 11.5. Техническая характеристика наиболее распространенных валковых дробилок

Показатели	Марка									
	СМ-1096 А	СМК-102А	СМ-12	СМ-438	СМК-212	СМ-1198А	СМК-194	СМД-153	СМ-369А	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Вид дробления	Мелкое (тонкое)			Среднее		Среднее и выделение	Крупное (грубое)		Мелкое (тонкое) с улучшенной рабочей поверхностью Валки дмрчатые 18—25	
Конструкция валков	Гладкие		Рифленый и гладкий 8—25	Зубчатые 15—16	Зубчатые ≥ 30	Рифленый и гладкий 25	Винтовой и гладкий 35	Диско-зубчатые 700		
Производительность, м ³ /ч	25	25	600	1090*	620	600**	750	1250	1000	
Размеры валков, мм: диаметр	1000	1000	400	950	480	1000	800	1000	610	
Длина частота об/мин	700	1000	400	900	1490	700	800	1000	610	
Мощность электродвигателя, кВт	160/185	150/250	75	40	40/25	440**	65***	170	20,8	
Габаритные размеры, мм: длина	22/30	40/75	20	28	50/30	40	190	200	30	
ширина	3,80	5,70	2,20	3,20	5,0	3,20	2,90	4,40	2,60	
высота	3,20	4,20	1,60	2,40	3,60	1,80	3,0	2,80	3,50	
Масса, т	1,20	1,80	0,80	1,10	1,50	4,95	1,54	1,30	1,20	
Завод-изготовитель	5,0	14,25	3,4	6,5	11,6	4,95	6,7	13,5	6,0	
	Кемеровский «Стром-машина»	Воскресенский завод «Машино-строитель»								

* Над чертой диаметр по вершине зубьев, под чертой — по основанию.

** Над чертой показатель для ребристого валка, под чертой — для гладкого.

*** Над чертой показатель для винтового валка, под чертой — для гладкого.

Валковые дробилки

Валковые дробилки (табл. 11.5) применяют для крупного, среднего и мелкого дробления сырья и крупнодробленого пористого заполнителя. В зависимости от физико-механических свойств дробимого материала применяют дробилки с различной рабочей поверхностью валков: гладкой, рифленой, зубчатой, ребристой, перфорированной. Приведем основное назначение валковых дробилок в производстве пористых заполнителей.

Тип валковых дробилок	Назначение дробилок
Гладкие валцы крупного (грубого) дробления	Для грубого измельчения мягких влажных однородных глинистых пород. Степень измельчения* до 8—10
Камневидельительные дезинтеграторные валцы с винтовой поверхностью	Для грубого измельчения мягких влажных глинистых пород, засоренных камнями и другими твердыми включениями. Степень измельчения* до 6
Гладкие валцы для мелкого дробления	Для окончательного (мелкого) измельчения мягких влажных глинистых пород (после валцов грубого дробления), а также для вторичного дробления водосодержащих горных пород на местных установках небольшой производительности. Степень измельчения* до 10—15 для глинистых пород и до 8—10 для водосодержащих пород
Зубчатые валцы	Для грубого измельчения тяжелых пластичных глин карьерной влажности с разрыванием кусков за счет разности скорости валков, а также для среднего и мелкого измельчения крупнодробленого пористого заполнителя. Степень измельчения* для глин 6—8, для пористого заполнителя 8—10
Дырчатые валцы	Для измельчения с частичным растиранием глиняной массы (улучшенная переработка)

* Отношение средних размеров (диаметров) кусков материала до и после дробления.

Грохоты для механической сортировки

Колосниковые инерционные грохоты (табл. 11.6) применяют для отделения из массы материала, направляемого на первичное или одностадийное дробление, фракции, наибольший размер кусков которой равнозначен выходу из дробилки. Колосниковый грохот одновременно с грохочением выполняет функцию питателя, а при горячем материале способствует его дополнительному охлаждению.

Вибрационные грохоты. Для механической сортировки дробимого сырья и пористого заполнителя применяют грохоты вибрационные инерционные и самобалансные (см. табл. 11.6). Самобалансные грохоты, выпуск которых налажен в последние годы, менее металлоемки и создают меньшие динамические нагрузки на строительные конструкции.

Таблица 11.6. Техническая характеристика некоторых инерционных и самобалансированных грохотов

Показатели	Марка									
	СМД-148 (ГИС-42)	СМД-121 (ГИС-52)	СМД-125 (ГИС (опытный))	СМД-53 (ГСС-22)	СМД-107 (ГСС-32)	ГИСЛ-62	ГИСЛ-72	ГСЛ-42	СМД-113 (ГИТ-41) колосник- ловый	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Размеры просеивающих поверхностей, мм	3750×1500	4500×1750	5000×2000	2500×1000	3000×1250	5000×2000	6000×2500	5000×1500	3000×1500	
Наибольшая крупность кусков питания, мм	150	150	150	100	100	300×600	300×600	300	3000×1500	
Число ярусов сит	2	2	2	2	2	2	2	2	50—250	
Угол наклона, град	10—25	10—25	10—25	0	0	0—25	0—25	0—15	До 1000	
Мощность электродвигателя, кВт	10	17	18,5	5,5	5,5	17×2	22×2	20	—	
Производительность, м ³ /ч	90	135	210	40	60	*	*	*	10—30	
Габаритные размеры, м:									17	
длина	4,50	5,05	5,87	3,16	3,87	5,53	6,88	5,53	670	
ширина	2,41	2,66	2,62	1,96	1,94	2,70	4,68	2,20	3,05	
высота	1,11	1,11	1,39	1,53	1,42	2,30	2,23	2,30	2,20	
Масса, т	3,25	3,70	5,85	1,93	2,25	11,0	15,50	8,25	1,50	
Завод-изготовитель		Костромской «Строммашина»				Завод им. Пархоменко (г. Ворошиловград)			Костромской «Строммашина»	

* Производительность определяется в каждом случае конкретными условиями грохочения.

Оборудование для сортировки мелких фракций перлита отечественной промышленностью не выпускается. В зарубежной практике для этой цели применяют грохоты фирм Revut и Mogensen (ФРГ), в которых вибрация передается непосредственно на ситы. В настоящее время на заводе «Арагацкий перлит» осваиваются 2 типа грохотов фирмы Mogensen с разделением перлита на три фракции; производительность грохотов составляет около 12 т/ч.

Барабанные грохоты. Для сортировки гравиеподобных пористых заполнителей — керамзитового, аглопоритового, зольного гравия и других — применяют барабанные грависортировки (табл. 11.7), сортировочные барабаны которых устанавливают с уклоном 1:20—1:15.

Таблица 11.7. Техническая характеристика барабанных грохотов

Показатели	Марка			
	Грависортировка СМС-66*	Бураты		
		СМ-236М	СМ-237М	
1	2	3	4	
Диаметр сортировочных барабанов, мм	2300; 1900; 1400	1100×780	1100×780	
Длина сортировочных барабанов, мм	4300; 4160; 4000	2500	3500	
Частота вращения барабана, об/мин	12; 15; 17	25	25	
Размеры фракций, мм	До 5; 5—10; 10—20; 20—40	0,1—1,0	0,1—1,0	
Наклон барабана, град.	3	—	—	
Мощность электродвигателя, кВт	7,5	1,7	1,7	
Производительность, м ³ /ч	35	1,0	1,5	
Габаритные размеры, м:				
длина	6,31	3,85	4,88	
ширина	2,82	1,37	1,38	
высота	3,35	1,48	1,54	
Масса, т	6,3	0,93	1,18	
Завод-изготовитель	Изготавливается как нестандартное оборудование	Могилевский завод «Строммашина»		

* Грависортировка СМС-66 разработана НИИ керамзитом для сортировки керамзитового гравия.

Для сортировки порошкообразных и зернистых материалов применяют барабанные многогранные грохоты, называемые буратами (см. табл. 11.7). Частота вращения барабанных грохотов принимается в пределах 0,6—1,2 м/с.

Грависортировки и бураты просты по устройству и практически не вызывают динамических нагрузок, что позволяет устанавливать их на верхних площадках производственных зданий или непосредственно на бункерах сортируемого материала. Недостатком буратов является низкий коэффициент использования поверхности сит (около 0,15), в связи с чем они имеют малую производительность.

В современных установках по производству вспученного перлита бураты используют для сортировки вспученного мелкого щебня с соответствующей заменой сит.

Передвижные дробильно-сортировочные установки (ПДСУ)

Передвижные дробильно-сортировочные установки (табл. 11.8) представляют собой комплекты агрегатов для переработки нерудных материалов, смонтированные на рамах одно- или многоосных колесных тележек. Совмещением отдельных передвижных агрегатов можно получать комплексы различной стадийности дробления и сортировки, производительностью до 200 тыс. м³ фракционированного продукта в год.

Передвижные дробильно-сортировочные установки могут применяться на карьерах водосодержащих горных пород и камнеподобных глинистых пород небольшой производительности для выпуска рядового и фракционированного сырья. На крупнейшем в СССР Арагацком карьере на двух передвижных дробильно-сортировочных установках (комплексах), приспособленных для стационарной работы, выпускается 400 тыс. м³ фракционированного перлита в год.

11.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВНУТРИЦЕХОВОГО ТРАНСПОРТА

Конвейеры ленточные

Конвейеры ленточные стационарные общего назначения по ГОСТ 22644—77 (с изм.) применяются для транспортирования в горизонтальном и наклонном направлениях сыпучих и кусковых материалов насыпной плотностью до 3,15 т/м³. Допустимые наибольшие углы наклона, град, конвейеров ленточных стационарных с гладкой желобчатой прорезиненной лентой для различных материалов следующие:

Глина:	
сухая комовая	18
порошкообразная	22
комовая карьерной влажности	23
Зола-уноса ТЭС	
сухая	20
влажная	27
Водосодержащие горные и глинистые камнеподобные породы:	
разрыхленные взрывом	16—17
дробленые	18
Каменный уголь сортированный:	
крупный	16—17
рядовой	18
Шлак среднекусковой	20—22
Заполнители пористые:	
гравий	15
щебень	22
песок	20

Таблица 11.8. Техническая характеристика передвижных дробильно-сортировочных установок

Показатели	Марка						
	СМД-83 (ДРО-326)	СМД-104	СМД-72 (С-987)	СМД-265 (СМ-739)	СМД-27Б (СМ-740)	С-905А	
1	2	3	4	5	6	7	
Состав основных машин	Щековая дробилка СМД-6А	Виброгрохот ГИС-42 для промежуточной или окончатальной сортировки	Конусная дробилка КСД-900Гр	Пластинчатый питатель, щелевая дробилка СМД-28	Конусная дробилка вибродвухот СМ-742	Две щековые дробилки СМ-106А	
Число ярусов сит	—	2	—	—	2	—	
Размеры сит, мм	—	1500×3750	—	—	1250×3000	—	
Наибольший размер загружаемых кусков, мм	500	210	100	340	75	210	
Установленная мощность электродвигателей, кВт	75	14	57,8	47,7	42,4	40×2	
Производительность при ширине выходной щели, м ³ /ч:							
25 мм	—	140—200	—	—	25	—	28
40 »	30	140—200	40	14,5	—	—	—
60 »	—	140—200	—	25	—	—	—
100 »	—	140—200	—	45	—	—	—
Габаритные размеры, м:							
длина	7,30	8,66	8,20	10,90	11,55	7,50	
ширина	2,86	3,30	2,80	3,0	2,93	2,62	
высота	2,03	3,90	3,35	5,20	4,40	3,20	
Масса, т	14,9	9,71	15,85	22,75	13,3	16,35	
Завод-изготовитель			Выксунский завод ДРО				

Предельный угол наклона ленточных конвейеров, транспортирующих материал под уклон, должен быть на 6—8° меньше, чем у конвейеров, транспортирующих материал на подъем, но не более 10—12°.

Конвейеры ленточные стационарные по ГОСТ 22644—77 (с изм.) поставляются заводами-изготовителями в виде отдельных узлов, предназначенных для сборки на опорных рамах, изготовленных как нестандартизированное оборудование по заказу потребителя.

В комплект поставки по ГОСТ 22647—77 (с изм.) входят: конвейерная лента, привод, приводной барабан, натяжное устройство, роликоопоры, неприводные барабаны, предохранительные устройства и электропусковая аппаратура. По заказу потребителя вместо неприводных барабанов в комплект поставки могут входить нижние прямые роликоопоры типа Н или НФ по ГОСТ 22645—77 (с изм.) С 1.01.1984 г. согласно п. 3.1. ГОСТ 22647—77 (с изм.) в комплект поставки конвейера должны входить также опорные металлоконструкции (рамы).

Основные параметры конвейеров ленточных стационарных: ширина ленты, номинальная скорость ленты, размеры роликов роликоопор, приводных и неприводных барабанов — выбираются по ГОСТ 22644—77 (с изм.) Выбранная ширина ленты должна удовлетворять условиям, мм,

$$B \geq 2 a_{\max} + 200,$$

где a_{\max} — наибольший линейный размер кусков транспортируемого материала.

В производстве пористых заполнителей при работе в обычных температурных условиях применяют, в основном, прорезиненные многослойные тканевые ленты с двусторонними резиновыми обкладками для транспортирования среднелюксовых и сыпучих материалов и такие же с усиленным бортом для транспортирования крупнокусковых сильностирающих материалов.

Для транспортирования материалов, температура которых до 100°C, применяют теплостойкие прорезиненные тканевые ленты с обкладками из теплостойкой резины; для транспортирования материалов при температуре ниже —15°C применяют морозостойкие ленты.

Для транспортирования с одновременным охлаждением горячих материалов могут быть применены сетчатые металлические ленты, опирающиеся на плоские роликоопоры. Скорость движения ленты конвейера может быть разной (табл. 11.9).

Загрузка материала на ленточные конвейеры осуществляется через загрузочные точки (воронки) с шириной выходного сечения равной 0,6—0,8 ширины ленты; точки рассчитываются на скорость выхода материала на ленту, близкую к скорости ленты.

Таблица 11.9. Рекомендуемые скорости движения ленты конвейеров

Транспортируемый материал	Скорости, м/с	
	предельные	наиболее приемлемые
Сырьевые материалы:		
среднекусковые	1,2—2,0	1,5—1,6
мелкокусковые	1,2—2,5	1,5—2
Топливо твердое:		
сортированное среднекусковое	1—1,8	1,2—1,5
рядовое	1,2—2,5	1,5—1,8
Пористые заполнители	1—2	1,2—1,5

Примечание: Скорость ленты при транспорте под уклон не должна превышать 1,5 м/с.

Разгрузка материала с ленточных конвейеров производится с концевой барабана или на промежуточных участках конвейера с помощью разгрузочных тележек, а большей частью одно- или двухсторонних плужковых сбрасывателей, смонтированных стационарно или на тележках.

Производительность конвейера ленточного, т/ч, с плоской лентой

$$Q = 1,55 B^2 V \rho, \quad (11.1)$$

с желобчатой лентой

$$Q = 310 B^2 V \rho, \quad (11.2)$$

где B — ширина ленты, м; V — скорость движения ленты, м/с, ρ — насыпная плотность материала, т/м³.

Конвейеры пластинчатые

Для транспортирования горячих пористых заполнителей в виде гравия, крупного щебня или крупнодробленых брусьев в горизонтальном или наклонном направлениях применяют конвейеры пластинчатые общего назначения по ГОСТ 22281—76 (с изм.) типов бортового волнистого (БВ) и преимущественно коробчатого мелкого (КМ) или глубокого (КГ). Угол наклона конвейеров типа бортовых волнистых не должен превышать 20°, а конвейеров типа коробчатых — 35°.

Конвейеры пластинчатые применяют двухцепные, с втулочно-катковыми пластинчатыми тяговыми цепями. Скорость движения настила конвейеров находится в пределах 0,2—0,6 м/с, в зависимости от потребной производительности и рода транспортируемого материала. Производительность конвейера пластинчатого определяют по формуле, т/ч,

$$Q = 3,6 V F_0 \psi \rho, \quad (11.3)$$

где V — скорость движения настила конвейера, м/с; F_0 — площадь сечения желоба, образованного настилом с бортами, м²; ψ — коэффициент заполнения желоба; ρ — насыпная плотность материала, кг/м³.

При коробчатой форме пластины площадь сечения материала на настиле может быть принята равной сечению короба. Недозаполнение короба материалом учитывается вводом в формулу коэффициента заполнения $\psi=0,7-0,8$.

Конвейеры винтовые

Конвейеры винтовые стационарные общего назначения по ГОСТ 2037—82 применяют для транспортирования на небольшие расстояния (до 30 м) в горизонтальном и наклонном (до 20°) направлениях сыпучих мелкокусковых, зернистых и пылевидных материалов. При необходимости устанавливают последовательно два и более винтовых конвейера, размещая их на разных уровнях.

Конвейеры винтовые изготавливаются со сплошным одно- и двухзаходным винтом постоянного и переменного диаметра и шага, правого и левого направления спирали, диаметр винта по ГОСТ 2037—75 принимается от 100 до 800 мм. В зависимости от диаметра винта принимаются по ГОСТ шаг винта и число оборотов.

В комплект поставки конвейера входят: привод, секции желоба с подвесными подшипниками, секции винта, загрузочные и разгрузочные патрубки, запасные части.

Производительность винтового конвейера определяют по формуле, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$Q = 60 \frac{\pi D^2}{4} t n \psi, \quad (11.4)$$

где D — диаметр винта, м; t — шаг винта, м; $t=(1,0-0,8) D$; n — частота вращения винта, об/мин; ψ — коэффициент заполнения желоба (для мелкокусковых материалов принимается 0,25—0,3; для порошкообразных — 0,12—0,15).

Конвейеры скребковые с погружными скребками

Конвейеры скребковые с погружными скребками (КПС) широко применяются при транспортировании сухих пылевидных, зернистых и мелкокусковых (с малой прочностью) холодных и горячих материалов при длине транспортирования до 100 м; производительность конвейеров колеблется от 10 до 250—300 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Достоинствами скребковых конвейеров с погружными скребками являются возможность транспортирования материала горизонтально, наклонно и вертикально, высокая герметичность короба, исключающая выделение пыли в рабочие помещения, возможность загрузки и разгрузки в нескольких точках, компактность конструкции.

В производстве пористых заполнителей конвейеры скребковые с погружными скребками успешно применяют для сбора и транспор-

Таблица 11.10. Основные характеристики некоторых конвейеров* с погружными скребками по типу ВНИИПТМАИШ

Марка	Ширина короба В, мм	Рабочая высота короба Н, мм	Скорость движения тяговой цепи, м/с	Производительность по зернистому материалу, $\text{м}^3/\text{ч}$
КПС-125	125	90	0,1	3,15
			0,2	6,3
КПС-125ПН			0,315	10,0
			0,4	12,5
КПС-200	200	125	0,1	8,0
			0,2	16,0
КПС-200ПН			0,315	25,0
			0,4	31,5
КПС-320	320	200	0,1	20
			0,2	40
КПС-320ПН			0,315	63
			0,4	80
КПС-500	500	320	0,1	50
			0,2	100
КПС-500ПН			0,315	160
			0,4	200
КПС-650	650	400	0,1	80
			0,2	160
КПС-650ПН			0,315	250
			0,4	315

* Тип конвейера везде горизонтальный, горизонтально-пологонаклонный (ПН).

Таблица 11.11. Размеры кусков материала, транспортируемого конвейерами с погружными скребками

Показатели материала	Ширина короба для горизонтальных и горизонтально-пологонаклонных конвейеров, мм				
	125	200	320	500	650
Материал малой прочности					
Оптимальный (типичный) размер кусков (менее), мм	8	10	18	25	30
Наибольший допустимый размер кусков, мм	15	20	35	50	65
Материал большой прочности					
Оптимальный (типичный) размер кусков (менее), мм	4	5	9	13	15
Наибольший допустимый размер кусков, мм	8	10	18	25	35

тирования просыпи под агломерационными машинами и пыли из систем пылеочистки.

В зависимости от ширины короба, колеблющейся для горизонтальных и горизонтально-пологонаклонных конвейеров в пределах 125—650 мм, конвейеры изготавливают с одноцепным или двухцепным тяговым органом. Скребокковые конвейеры с погружными скребками изготавливает Гороховский завод подъемно-транспортного оборудования (табл. 11.10—11.12).

Рекомендуемые оптимальные скорости движения тяговых цепей по типуажу ВНИИПТМАШ, м/с:

для высокоабразивных материалов	0,16—0,2
» среднеабразивных »	0,2—0,315
» малоабразивных »	0,315—0,4.

Ковшовые элеваторы

Ковшовые элеваторы вертикальные по ГОСТ 2036—77 (с изм.) применяют для вертикального транспортирования насыпных материалов (зернистых и мелкокусковых). В производстве пористых заполнителей для транспортирования сухих сырьевых материалов и готового продукта применяют, в основном, элеваторы ленточные быстросходные с расставленными глубокими скругленными ковшами типа ЛГ (табл. 11.12); для транспортирования мелкокусковых прочных материалов в отдельных случаях применяют цепные элеваторы типа ЦГ (табл. 11.13).

Таблица 11.12. Техническая характеристика наиболее широко применяемых вертикальных ковшовых ленточных элеваторов типа ЛГ

Типоразмеры элеваторов	Ширина ковша, мм	Шаг ковша, мм	Ширина ленты или ремня, мм		Диаметр приводного барабана, мм	Скорость движения ковша, м/с	Производительность, не менее, м³/ч	Расчетная высота элеватора, м
			1-й ряд	2-й ряд				
ЛГ-200 ЛГ-250	200 250	400	200	—	400	1,00—2,0	10,0 16,0 25,0	30,0
			300 370	315 400	500			
ЛГ-320 ЛГ-400	320 400	500	—	—	—	—	40,0	—
			450 550 700	500 600	630			

Примечания. 1. Приведенная в таблице расчетная высота является минимальной при материале с насыпной плотностью 1000 кг/м³. В каждом отдельном случае высота уточняется заказом. 2. Ширина ленты по 1-му ряду является предпочтительной. 3. Элеваторы изготавливаются Карагандинским ПО горношахтного оборудования, Белохолуницким машзаводом, Лисичанским заводом «Строммашина»

Таблица 11.13. Техническая характеристика наиболее широко применяемых вертикальных ковшовых цепных элеваторов типа ЦГ

Типоразмеры элеваторов	Ширина ковшей, мм	Шаг ковшей, мм	Количество цепей		Скорость движения ковшей, м/с	Производительность, не менее, м³/ч	Расчетная высота элеватора, м
			тяговые пластинчатые	тяговые сварные круглозвенные			
ЦГ-200	200	400	1	2	1,00—2,00	10	25,0
ЦГ-250	250	400	1	2	1,00—2,00	16	
ЦГ-320	320	500	1	2	1,25—2,50	25,0	
ЦГ-400	400	500	1	2	1,25—2,50	—	
ЦГ-500	500	630	—	—	1,25—2,50	63	
ЦГ-650	650	630	—	—	1,25—2,50	100	

Примечания: 1. Примечания 1 и 2 к табл. 11.12 относятся и к настоящей таблице. 2. Заводы-изготовители те же, что и элеваторов типа ЛГ.

Потребную мощность двигателя ковшового элеватора определяют по формуле, кВт,

$$N = \frac{QH}{313} (0,00115 \rho_n + K_3), \quad (11.5)$$

где Q — производительность элеватора, м³/ч; H — высота элеватора (расстояние между осями приводного и натяжного барабанов), м; ρ_n — насыпная плотность материала, кг/м³; K_3 — коэффициент, зависящий от типа и производительности элеватора (табл. 11.14).

Таблица 11.14. Значения коэффициента K_3

Тип элеватора	Значение K_3 при производительности, м³/ч			
	до 20	20—40	40—80	80—150
Ленточный	1,5	1,15	0,95	0,75
Цепной	1,05	0,75	0,65	0,55

Установки пневматического транспорта

В производстве пористых заполнителей пневматический транспорт применяют при разгрузке мелкозернистых сухих сырьевых материалов из крытых вагонов и подаче их в складские емкости; при транспортировании пористого заполнителя (вспученных перлита, вермикулита, керамзитового песка) из тепловых агрегатов в системы осаждения и силоса складов готовой продукции или расходные бункера цехов по производству изделий на основе пористого заполни-

Таблица 11.15. Характеристика установок пневмотранспорта в производстве пористых заполнителей

Тип и назначение установки	Разрежение или давление в системе, МПа	Основное оборудование и его характеристика						Мощность электродвигателя, кВт	Масса, т
		Наименование	Подача, т/ч	Дальность подачи, м	Производительность по воздуху, м³/мин	Расход сжатого воздуха, м³/мин	Мощность двигателя, кВт		
Разгрузка мелкозернистого сырья (водокодержаше горючие породы) из крытых вагонов и транспортирование его к приемному узлу silosного склада	0,05—0,07	Пневмоагрегат-чашки всасывающие ТА-17 (С-1032) ТА-18 (С-1040)	50 50	12 12	6 6	—	43,8 88,6	3,5 5,02	
Надгнетательные установки для транспортирования сульфатного сырья из silosного склада в отделение приготовления шихты производства аглопоритовых гранул, щебня и песка	0,2 с смесительной камерой	Пневмоэлектронасосы ТА-14А (НПВ-36-2) НПВ-63-2	36 63	200 200	— —	15 25	30 55	0,98 2,03	
Всасывающие установки для транспортирования пыли из аглопоритовых пылеочистки в бункера шихтовочного отделения	0,08—0,09	Водокольцевые вакуум-насосы ВВН-25 ВВН-50	1—2,5	120—150	25 50	—	55 110	2,60 4,88	
Всасывающие установки для транспортирования пористых заполнителей из водокодержаших горных пород от обжиговых агрегатов в системы осушения и классификации	0,003 0,006 0,004	Дымовосы ДН-15 ДН-17 Вентиляторы ВВД-11 ЦПТ-40 № 5 и № 8	1—2,5	30—50	800—850 1200 200—260 120—250	—	55 78 55 17; 55	2,62 2,99 0,51 0,44; 1,05	
Нагнетательные установки для транспортирования мелкозернистых пористых заполнителей (из водокодержаших горных пород) со складов (предупреждения в отделении по изготовлению изделий на их основе)	0,2 с смесительной камерой	Пневмоэлектронасосы ТА-14А (НПВ-36-2) НПВ-63-2	36 63	200 200	— —	15 25	30 55	0,98 2,03	

тесля; при транспортировании порошкообразной просыпи из технологических агрегатов и пыли из систем пылеочистки газов и воздуха и др.

Установки пневматического транспорта, используемые на переселенных переделах производства, работающие по принципу перемещения сыпучих материалов по трубопроводу в потоке воздуха, подразделяются на всасывающие, нагнетательные и всасывающе-нагнетательные (комбинированные) (табл. 11.15). Всасывающие установки применяют при транспортировании материала на небольшие расстояния (до 100 м) из нескольких пунктов загрузки системы к одному пункту выгрузки материала; нагнетательные установки применяют при транспортировании материала на значительные расстояния (1—1,5 км) из одного пункта загрузки системы к одному или нескольким пунктам выгрузки. Установки всасывающе-нагнетательные преимущественно применяют при погрузочно-разгрузочных работах, когда забор разгружаемого материала совмещают с подачей его по вертикали в складские емкости.

К пневмотранспортным установкам относятся также аэротранспортные устройства — аэрожелобы и аэрационные устройства — донные и боковые разгрузатели силосов, в которых осуществляется косвенное воздействие воздуха на материал.

Электротали, краны подвесные однобалочные и мостовые

Электрические тали (табл. 11.16) и краны подвесные однобалочные общего назначения среднего режима работы (табл. 11.17) применяют в производственных цехах и вспомогательных службах для монтажных работ, технического обслуживания и ремонтов оборудования.

В соответствии с ГОСТом краны подвесные однобалочные выпускают одно-, двух- и трехпролетными, грузоподъемностью от 0,25 до 5 т; наиболее широко применяют однопролетные краны.

Подвесные электрические однобалочные краны общего назначения грузоподъемностью 10 т выпускаются Перевальским заводом ПТО по его техническим условиям.

На подвесных кранах устанавливаются электротали. Краны мостовые электрические грейферные общего назначения (табл. 11.18) выпускают грузоподъемностью 5, 10, 15 и 20 т. В производстве пористых заполнителей из мягкого глинистого сырья мостовые грейферные краны грузоподъемностью 5 и 10 т, тяжелого режима работы применяют для складских операций в капитальных глинозапасниках.

Таблица 11.16. Техническая характеристика электропалей с односкоростными механизмами подъема и передвижения (исполнение Б и Б**) по ГОСТ 2564-77 (с изм.)

Показатели	Марка талей											
	ТЭ025		ТЭ100		ТЭ200		ТЭ320		ТЭ600		ТЭ600	
	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
Грузоподъемность, т	0,25	—	0,50	—	1,0	—	2,0	—	3,2	—	5,0	—
Скорость подъема, м/мин	8	—	8	—	8	—	8	—	8	—	8	—
Высота подъема, м	6	—	6; 12; 18	—	6; 12; 18	—	6; 12; 18	—	6; 12; 18	—	6; 12; 18	—
Скорость передвижения, м/мин	20 или 32	—	20 или 32	—	20 или 32	—	20 или 32	—	20 или 32	—	20 или 32	—
Мощность электродвигателя, кВт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Механизм подъема	0,6	—	0,75	—	1,70	—	3,0	—	5,0	—	7,50	—
Механизм передвижения	0,08	—	0,12	—	0,18	—	0,40	—	0,60	—	1,20	—
Наименьший радиус закругленной части, м	0,5	—	0,5; 0,8	—	1,0; 1,5***	—	1,0	—	1,5; 2,0***	—	1,5	—
Расчетная нагрузка на матовый трос более 11 (кгс)	1128 (115)	—	3187 (325)	—	4903 (500)	—	9807 (1000)	—	14514 (1480)	—	21575 (2200)	—
Масса, т	0,085	—	0,12; 0,13	—	0,19; 0,22; 0,24	—	0,29; 0,32; 0,36	—	0,51; 0,56	—	0,7; 0,72; 0,81	—

Примечания: 1. Исполнение Б — расположение барабана подъемного механизма вдоль пути.

** Исполнение Б** — поперек пути. *** Радиус закругления при высоте подъема 18 м. 2. Электропалей изготавливаются Горьковецким заводом ПТО, Московским заводом «Красный металлист», г. Фрунзе, г. Барнаул.

Таблица 11.17. Техническая характеристика некоторых кранов подвесных однопольных однопролетных грузоподъемностью 1—5 т

Грузоподъемность, т	Полная длина, м	Пролет, м	Длина консолей, м	Высота подъема, м	Скорость, м/мин				Мощность электродвигателя, кВт				База крана, мм	Количество тележек, шт.	Масса крана, кг
					подъема		передвижения		подъема		передвижения				
					тали	крана	тали	крана	тали	крана	тали	крана			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
3,6	3,0	3,0	0,3—0,6	6	8	20	32	1,7	0,18	2×0,18	1600	4	300—610		
6,6	6,0	9,0	0,3—1,2	12; 18	8	20	32	3	0,4	2×0,27	1500	4	800—890		
10,2	10,2	12,0	0,6—1,5	6	8	20	32	3	0,4	2×0,27	1800	4	1025—1100		
13,2	12,0	15,0	0,6—1,5	6	8	20	32	3	0,4	2×0,27	2100	4	1330—1410		
16,2	15,0	15,0	0,6—1,5	6	8	20	32	3	0,4	2×0,27	2400	4	1715—1850		
3,6	3,0	3,0	0,3—0,6	6	8	20	32	4,5	0,4	2×0,4	1000	4	725—810		
6,6	6,0	9,0	0,3—1,2	12; 18	8	20	32	4,5	0,4	2×0,4	1500	4	1025—1135		
10,2	10,2	12,0	0,6—1,5	6	8	20	32	4,5	0,4	2×0,4	1800	4	1380—1505		
13,2	12,0	15,0	0,6—1,5	6	8	20	32	4,5	0,4	2×0,4	2100	4	1755—1940		
16,2	15,0	15,0	0,6—1,5	6	8	20	32	4,5	0,4	2×0,4	2400	4	2450—2610		
3,6	3,0	3,0	0,3—0,6	6	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	1500	4	1060—1045		
6,6	6,0	9,0	0,3—1,2	12; 18	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	1800	4	1380—1500		
10,2	10,2	12,0	0,6—1,5	6	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	1800	4	1895—2045		
13,2	12,0	15,0	0,6—1,5	6	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	2100	4	2175—2335		
16,2	15,0	15,0	0,6—1,5	6	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	2400	4	2985—3170		
3,6	3,0	3,0	0,3—0,6	6	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	1500	4	1470—1510		
6,6	6,0	9,0	0,3—1,2	12; 18	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	1800	4	1830—2070		
10,2	10,2	12,0	0,6—1,5	6	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	2100	4	2430—2590		
13,2	12,0	15,0	0,6—1,5	6	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	2400	4	2965—3150		
16,2	15,0	15,0	0,6—1,5	6	8	20	32	7,5	2×0,6	2×0,6	2700	4	3735—3865		

Заводы-изготовители: Красногвардейский крановый, Клиновский мехзавод, Забайкальский ПТО.

Таблица 11.18. Основные технические характеристики мостовых грейферных кранов общего назначения

Показатели	Грузоподъемность крана, т			
	5	10	15	20
Пролет, м	10,5—34,5	11—32	22,5—34,5	22,5—34,5
Высота подъема, м	22	20	23	24
Режим работы	Тяжелый	Тяжелый	Средний	Средний
Скорости, м/мин				
подъема грейфера	40	40	50	50
передвижения тележки	40	40	70	50
передвижения крана	73	100	100	100
Емкость грейфера, м ³				
при насыпной плотности материала 1,8 т/м ³	1,6	3	5,3	7
при насыпной плотности материала 1,6 т/м ³	2,5	—	—	—
Мощность электродвигателей, кВт:	22	45	80	100
подъема грейфера				
передвижения:				
тележки	2,2	5	8,8	8,8
крана	2×7,5; 2×11	2×15	60	60
	(при пролетах 31,5—34,5 м)			
Масса крана общая, т	13,4—31,0	39—61,9	64,5—90,3 (без грейфера)	67,7—93,9 (без грейфера)
Завод-изготовитель	ПО «Подъемник» (г. Ташкент)	Узловское ПО «Кран»	Харьковский ППО	

11.3. ПИТАТЕЛИ, ОБЪЕМНЫЕ ДОЗАТОРЫ, ВЕСЫ И БУНКЕРА

Пластинчатые питатели и ящичные подаватели

Пластинчатые питатели (табл. 11.19) применяют для подачи кусковых абразивных или горячих материалов в дробилки первичного дробления; реже для выдачи кусковых абразивных материалов из бункеров.

Разновидностью пластинчатого питателя является ящичный пластинчатый питатель, применяемый для непрерывной подачи и грубого объемного дозирования составляющих шихты с дроблением крупных комьев рыхлых материалов. Недостатком ящичных пластинчатых питателей является просыпь между пластинами, особенно при подаче сухих рыхлых материалов, уборка которой требует применения ручного труда. В последнее время в производстве пористых заполнителей из глинистых пород вместо ящичных пластинчатых пи-

Таблица 11.19. Техническая характеристика пластинчатых питателей

Показатели	Марка				Ящичный пластинчатый питатель СМК-78
	тяжелого типа		среднего типа		
	1-15-45	1-15-60	1-15-120	ТК-15 (2-10-60)	2-12-60
Расстояние между центрами звездочек, мм	4500	6000	12000	6000	6000
Ширина ленты, мм	1500	1500	1500	1000	1200
Скорость движения ленты, м/мин	1,5; 3,5	2,4; 4,8	4,8	4,8; 9,6	6; 9
Мощность электродвигателя, кВт	13,2; 22,6	19,9; 27,7	50	3; 6	15; 25
Производительность, м ³ /ч	100—200	150—300	350	75—150	200—325
Габаритные размеры, м					
длина	7,0	8,5	13,9	7,2	7,73
ширина	5,67	5,67	5,81	3,25	4,44
высота	1,95	1,95	1,95	1,16	1,59
Масса, т	43,7	47,7	70,1	10,0	24,0
Завод-изготовитель	Электростальтяжмаш			Костромской «Стромшина»	Александровский жатва-вод
					Кемеровский «Стромшина»

тателей применяют ящичные подаватели с резиновой лентой (табл. 11.20).

Таблица 11.20. Техническая характеристика ящичных подавателей

Показатели	Марка подавателя	
	СМ-1090	СМК-213
Расстояние между центрами звездочек, мм	4950	5166
Ширина ленты в свету, мм	1000	1000
Количество секций в ящичке	3	2
Высота выхода в свету, мм		До 450
Частота вращения билыного вала, об/мин	90 и 120	95
Скорость ленты, м/с	0,064	0,036
Мощность электродвигателя, кВт	7	4
Производительность, м ³ /ч	25	До 50
Габаритные размеры, м		
длина	6,50	6,32
ширина	2,50	1,65
высота	1,60	2,77
Масса, т	4,1	4,8
Завод-изготовитель		«Красный Октябрь» (г. Харьков)

Глинорыхлитель

Глинорыхлитель применяют для измельчения крупных и смерзшихся комьев глины и устанавливают над ящичным подавателем.

Техническая характеристика глинорыхлителя СМК-70

Производительность, м ³ /ч	25
Мощность электродвигателя, кВт	10
Габаритные размеры, м	
длина	4,48
ширина	1,80
высота	1,13
Масса, т	3,28
Изготовитель	завод «Красный Октябрь» (г. Харьков)

Питатели ленточные

Ленточные питатели (табл. 11.21) применяют для равномерной подачи и объемного дозирования сыпучих или мелкокусковых сырьевых материалов и добавок в перерабатывающие машины или на транспортные устройства.

Тарельчатые питатели

Тарельчатые и дисковые питатели (табл. 11.22) применяют для непрерывной выдачи пылевидных, зернистых и кусковых (до 100 мм) сырьевых материалов из бункеров, объемного дозирования их и подачи в перерабатывающие машины или на транспортные устройства.

Таблица 11.21. Техническая характеристика ленточных питателей

Показатели	Марка				
	ПЛ-10	ПЛ-20	ПЛ-30	ПТ5	ПТ8
Расстояние между осями барабанов, мм	1000	2000	3000	1500	2000
Ширина ленты, мм	400	400	400	500	800
Мощность электродвигателя, кВт	0,6	0,6	0,6	1,7	2,8
Производительность, м ³ /ч	2	8	15	46	100
Габаритные размеры, м					
длина	1,70	2,70	3,70	2,03	2,67
ширина	0,84	0,84	0,84	1,82	2,58
высота	0,98	0,98	0,98	0,53	0,60
Масса, т	0,34	0,43	0,51	0,47	1,23
Завод-изготовитель	«Амурский металлург» (г. Благовещенск)			Ухоловский «Строммашина»	

Питатели (дозаторы) ячейковые

Барабанные ячейковые питатели (табл. 11.23) применяют для выдачи из бункеров (силосов) пылевидных, зернистых и мелкокусковых материалов, объемного дозирования их и подачи в перерабатывающие машины или агрегаты.

При вращении барабана питателя его ячейки, проходя под выходными отверстиями бункера (силоса), заполняются материалом и затем при повороте разгружаются. Барабанные ячейковые питатели изготовляются с числом ячеек 3—12; производительность их составляет 2—20 м³/ч.

Производительность барабанных ячейковых питателей определяют по формуле, м³/ч,

$$Q = V i n 60 \rho \mu, \quad (11.6)$$

где V — вместимость одной ячейки, м³; i — число ячеек в барабане; n — частота вращения барабана, об/мин; ρ — средняя плотность материала, т/м³; μ — коэффициент разрыхления; принимается $\mu=0,8$.

Дозаторы весовые непрерывного действия

Дозаторы весовые непрерывного действия (табл. 11.24) применяют в производстве пористых заполнителей для непрерывного дозирования сухих сыпучих добавок в шихту, когда их количество не превышает 2—3% к массе основного сырья.

Таблица 11.22. Техническая характеристика тарельчатых и дисковых питателей

Показатели	Марка			
	Дисковые		Тарельчатые	
	ДЛ-6А подвесной	ДЛ-8А подвесной	ДЛ-10А	Д1000
Крупность дозируемого материала, мм	До 30	До 40	До 50	До 70
Диаметр тарелки (диска), мм	650	800	1000	1000
Частота вращения, об/мин	10—11	10—11	9	4,2
Мощность электродвигателя, кВт	0,6	1,1	1,5	2,2
Производительность, м ³ /ч	6	13	24	10
Габаритные размеры, м				
длина	1,01	1,09	1,82	2,31
ширина	0,88	1,03	1,20	1,27
высота	0,90	0,99	1,23	1,34
Масса, т	0,47	0,59	0,85	1,29
Завод-изготовитель	Полевской «Машзавод»	Днепропетровский горно-шахтного оборудования	Вольский завод «Металлист»	

Таблица 11.23. Техническая характеристика барабанных ячеечных питателей

Показатели	Тип		
	200×200	300×300	400×400
Условный проход, мм	200×200	300×300	400×400
Частота вращения барабана, об/мин	30,1	30,1	30,1
Мощность электродвигателя, кВт	2,2	2,2	3
Производительность, м ³ /ч	7,2	27	45,7
Габаритные размеры, м			
длина	0,56	0,77	0,98
ширина	0,41	0,39	0,51
высота	0,4	0,46	0,60
Масса, т	0,25	0,35	0,64
Завод-изготовитель	г. Душанбе		

Таблица 11.24. Техническая характеристика весовых дозаторов непрерывного действия

Показатели	Марка			
	Автоматические		ДН-15М	ДН-21У
	ДН-15С	ДН-21С		
Размер зерен дозируемого материала, мм	0—30	0—5	0—30	0—5
Насыпная плотность материала, т/м ³	1—2	0,2—2	1—2	0,2—2
Наибольшие пределы производительности, т/ч	8—32	0,1—1,6	8—32	0,1—1,6
Наименьшие пределы производительности, т/ч	2—8	0,05—0,8	2—8	0,05—0,8
Погрешность дозирования, %	±1,5	±1,5	±2	±2
Габаритные размеры, м				
длина	1,96	1,10	1,96	1,10
ширина	1,10	0,48	1,11	0,40
высота	1,46	0,90	1,46	0,90
Масса, т	0,73	0,125	0,87	0,125
Завод-изготовитель	Орехово-Зуевский «Прибордеталь»			

Весы

Для весового контроля сырьевых материалов, загружаемых ленточными конвейерами в погрузочные или складские бункера (силосы), применяют автоматические конвейерные весы марки ЛТМ-1М и электронно-гидравлические конвейерные весы типа ЭГВ 80-140 (табл. 11.25).

Весы автомобильные и вагонные (табл. 11.26) применяют для весового контроля поступающих на пункты погрузки и предприятия сырьевых и других материалов и отгружаемого пористого заполнителя.

Таблица 11.25. Техническая характеристика конвейерных весов

Показатели	Марка			
	ЛТМ-1М	ЭГВ-80	ЭГВ-100	ЭГВ-120
Ширина ленты конвейера, мм	400—2000	800	1000	1200
Скорость ленты конвейера, м/с	До 2,5	До 4	До 4	До 4
Погонная нагрузка на ленте, кг/м	6,4—500	До 65	До 100	До 155
Тип конвейерных лент		Резинотканевые		
Угол наклона конвейера в месте установки весов, град	До 20	До 20	До 20	До 20
Кусковатость взвешиваемого материала, мм	До 300	До 300	До 300	До 300
Габаритные размеры, м				
длина	2,3	1,26	1,26	1,31
ширина	1,15—2,99	1,18	1,38	1,63
высота	1,94	0,62	0,62	0,60
Масса, т	0,3	0,60	0,65	0,85
Завод-изготовитель	Орехово-Зуевский «Прибор-деталь»	Одесский тяжелого весостроения им. Старостина		

Оборудование для непрерывного учета выпуска и отпуска потребителям пористого заполнителя

Оборудование для непрерывного учета выпуска предприятием и отпуска потребителям пористых заполнителей в объемных единицах промышленностью не выпускается. НИИ керамзит разработал комплекты оборудования систем непрерывного автоматизированного учета выпуска керамзитового гравия, поступающего в силосный склад, и непрерывного автоматизированного учета и отпуска его потребителю из силосного склада в автотранспорт и другие транспортные средства.

Механическая часть систем основана на применении специально-го ленточного питателя с регулированием формируемого сечения материала на ленте. После производственной проверки опытных образцов системы они должны быть переданы в промышленное производство.

Бункера и затворы

Бункера, емкости с самотечной разгрузкой, преимущественно пирамидальной формы, сооружаемые из металла или железобетона.

Углы наклона стенок бункера должны удовлетворять соотношению

Таблица 11.26. Техническая характеристика автомобильных и вагонных весов

Показатели	Весы автомобильные		Весы вагонные	
	Марка	Марка	Марка	Марка
Предельная взвешиваемая масса, т	РС-30Ц24АС	5002РС — 30Ц13АС циферблатные	РС-150Ц13В1	РС-200Д24В с доку-мент. регистр.
Допускаемая погрешность взвешивания, кг	1,5—30 ±10—±20	1,5—30 ±10—±20	7,5—150 В делениях шкалы ±0,5—±1,5	10—200 ±50—±100
Количество платформ	1	1	1	2
Габаритные размеры платформ, м				
длина	12,0	12,0	15,5	Большой Малой 15,5 3,7
ширина	3,0	3,0	1,8	1,8 1,8
Масса, т	5,56	4,73	15,25	24,96
Завод-изготовитель	Армави́рское ПО «Точмашприбор»			

$$\operatorname{ctg} \beta = \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha_2}, \quad (11.7)$$

где β — угол наклона ребра к горизонтали (табл. 11.27); α_1 и α_2 — углы наклона смежных стенок.

Таблица 11.27. Наименьшие углы наклона ребер днищ (стенок) бункеров

Наименование материалов	Наименьшие углы наклона ребер бункеров β , град	
	металлических	железобетонных
Пористый песок	40	50
» гравий	40	50
» щебень	45	55
Пористый заполнитель рядовой	45	50
Сухие сырьевые материалы мелкокусковые	40	50
среднекусковые	45	55

Для предотвращения зависания материала и улучшения истечения его из бункеров применяют механические ворошители, а на стенках металлических бункеров устанавливают при необходимости пневматические или электромагнитные вибраторы.

Выходные отверстия бункеров оборудуются затворами, управляемыми дистанционно с помощью пневмотолкателей, электрогидравлических толкателей или вручную посредством рычагов либо лебедок. Наибольшее распространение получили односекторные, двухсекторные (челюстные) и плоские (шиберные) однореечные затворы.

Погрузочные бункера для хранения дробленых кусковых водосодержащих горных пород, перевозимых автомобильным или железнодорожным транспортом, оборудуются лотковыми затворами.

Минимальные допустимые размеры меньшей стороны прямоугольного выпускного отверстия бункера определяются по формуле, мм.

$$b = \frac{1+n}{2n} K (80+a) \operatorname{tg} \varphi, \quad (11.8)$$

где b — меньшая сторона выпускного отверстия, мм; n — отношение большей стороны к меньшей; K — коэффициент, принимаемый равным 2,5; a — максимальный размер кусков материала, мм; φ — угол естественного откоса материала в состоянии покоя, град.

11.4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЗОЛОГЛИНЯНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Ножевые глинорезки

Ножевые глинорезки (стругачи) с горизонтальным режущим диском (табл. 11.28) применяют для предварительного измельчения мягких глинистых пород значительной влажности с большой круп-

ностью кусков и как питатель при приготовлении глиняной суспензии, вводимой в зольные пульпы.

Таблица 11.28. Техническая характеристика стругачей

Наименование показателей	Величина показателей	
	2100	1500
Диаметр режущего диска, мм	12,5	30
Частота вращения диска, об/мин	36	36
Количество ножей	50—60	50—60
Ширина ножа, мм	2000	1400
Нижний диаметр загрузочной воронки, мм	640	600
Высота загрузочной воронки, мм	До 12	До 7
Производительность, м ³ /ч	14,5	10,3
Мощность электродвигателя, кВт	3,60	3,30
Габаритные размеры, м	длина	2,50
	ширина	1,95
	высота	7,16
Масса, т	—	
Завод-изготовитель	Новочеркасский завод им. Никольского	

Мельницы для мокрого измельчения глинистых материалов

Для мокрого измельчения и роспуска глинистых материалов находят широкое применение фрезерно-струйная мельница Воронежского инженерно-строительного института и комбинированная мельница завода «Волгоцеммаш», значительно ускоряющие процесс распускания в воде глинистых материалов.

Техническая характеристика мельницы СМЦ-460 завода «Волгоцеммаш»

Производительность, т/ч	50—150	
Размер кусков загружаемого материала, мм	До 600	
Мощность электродвигателя, кВт	320	
Масса, т	30,9	
Габаритные размеры, м	длина	5,96
	ширина	4,21
	высота	2,10
	—	—

Пропеллерные (винтовые) мешалки

Пропеллерные (винтовые) мешалки (табл. 11.29) применяют для предварительного распускания глинистых материалов в воде и поддержания постоянной плотности глиняной суспензии. Резервуару мешалки придают обычно шести- или восьмигранную форму.

Таблица 11.29. Техническая характеристика пропеллерных мешалок

Показатели	Марка			
	СМ-242	СМ-243В	СМ-244	СМ-489Б
Резервуар:				
диаметр, мм	1950	3450	3750	2000
глубина, мм	1300	2100	2500	2500
емкость, м ³	1	4	10	8
Винт				
диаметр, мм	300	500	750	900
число лопастей, шт	3	3	3	3
частота вращения, об/мин	300	250	200	160
Мощность электродвигателя, кВт	1	2,8	4,5	10
Масса (без резервуара), т	0,19	0,52	1,25	1,11
Завод-изготовитель оборудования мешалки	Могилевский «Строммашина»			

Установка непрерывного действия для приготовления глиняной суспензии

При небольших расходах глиняной суспензии для ее приготовления может быть применена установка непрерывного действия М1711(М198) Волковысского завода литейного оборудования.

Техническая характеристика установки М1711

Производительность, м ³ /ч	4
Рабочая емкость, м ³	2,5
Мощность электродвигателя, кВт	4
Габаритные размеры, м	
длина	3,8
ширина	1,33
высота	1,76
Масса, т	2,2

Радиальный сгуститель

Сгущение зольной пульпы, поступающей на заводы аглопоритовых гравия, щебня и песка по золопроводам ТЭС с определенной степенью неравномерности, производят в радиальных одноярусных сгустителях. Расчет размеров радиального сгустителя производят по формуле

$$F_{сг} = q/q_1, \quad (11.9)$$

где $F_{сг}$ — площадь сгустителя по зеркалу воды, м²; q — количество пульпы, сгущаемое в час, м³/ч; q_1 — количество очищаемой воды на 1 м² площади зеркала воды; $q_1 = 0,5-2$ м³/ч.

По полученной величине площади определяют радиус сгустителя по зеркалу воды. Для заводов производительностью 300--500 тыс. м³ аглопоритового гравия в год применяют радиальные одноярусные сгустители П-30 Иркутского завода тяжелого машиностроения.

Основные характеристики радиального сгустителя П-30

Диаметр, м	30
Мощность электродвигателя, кВт	5,5
Масса, т	30

Насосы

Для транспортирования зольной пульпы по золопроводам применяют центробежные грунтовые (шламовые) насосы (табл. 11.30).

Таблица 11.30. Техническая характеристика грунтовых насосов (грунтососов)

Показатели	Марка					
	ГрК* 50/16	ГрТ** 50/16	ГрК 160/31,5	ГрТ 160/31,5	ГрУ 160/16	ГрК 400/40
Производительность, м ³ /ч	50	50	160	160	160	400
Напор, кПа	157	157	309	309	157	392
Диаметр колеса, мм	225	225	325	325	254	515
Габаритные размеры, м						
длина	1,26	1,26	1,84	1,84	1,66	2,89
ширина	0,5	0,5	0,73	0,73	0,61	1,05
высота	0,53	0,53	0,77	0,77	0,78	0,95
Масса, т	0,31	0,32	0,89	0,91	0,57	2,51
Завод-изготовитель	Бобруйский машиностроительный завод им. Ленина					

* Футеровка корундовая; ** двухкорпусные тяжелые.

Для транспортирования глиняной суспензии, сливок от мокрых пылеуловителей ПВМ и систем гидросмыва, а также осветленной воды применяют насосы песковые типа НП и Пс (табл. 11.31).

Таблица 11.31. Техническая характеристика песковых горизонтальных насосов

Показатели	Марка					
	НП-1М	2,5Пс-6	3Пс-6	4Пс-6	4Пс-10	5Пс-6
Производительность, м ³ /ч	7,2	34	54	85	85	135
Напор, кПа	120	180	240	320	165	440
Мощность электродвигателя, кВт	2,2	5,5	15	30	16	55
Габаритные размеры, м						
длина	0,9	1,38	1,53	1,91	1,54	2,07
ширина	0,35	0,52	0,56	0,73	0,58	0,77
высота	0,38	0,62	0,73	0,89	0,63	0,89
Масса, т	0,1	0,33	0,43	0,83	0,42	1,05
Завод-изготовитель	Уфимский завод горно-шахтного оборудования					

Вакуум-фильтры дисковые

Дисковые вакуум-фильтры (табл. 11.32) применяют в производстве аглопоритовых гравия, щебня и песка для обезвоживания зольной пульпы, предварительно сгущенной в радиальных сгустителях.

Таблица 11.32. Техническая характеристика приемлемых для применения дисковых вакуум-фильтров нормализованных

Показатели	Марка			
	ДУ34-2,5-2	ДК34-2,5-2	ДУ51-2,5-2	ДК51-2,5-2
Тип фильтра	Дисковый углеродистый	Дисковый коррозионностойкий	Дисковый углеродистый	Дисковый коррозионностойкий
Поверхность фильтрования, м ²	34	34	51	51
Модификация	2	2	2	2
Диаметр фильтровального диска, м	2,5	2,5	2,5	2,5
Масса, т	13,99	12,87	17,89	16,51
в т.ч. вспомогательное оборудование, т	5,13	5,27	7,38	7,64
Завод-изготовитель	«Прогресс» (г. Бердичев)			

11.5. СМЕСИТЕЛЬНОЕ И ФОРМОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Лопастные двухвальные смесители

Лопастные двухвальные смесители применяют для перемешивания сухих и влажных сырьевых материалов и при необходимости их доувлажнения водой или паром.

Лопастные двухвальные смесители выпускаются прямоточные и противоточные. Противоточные отличаются разной угловой скоростью лопастных валов и возвратно-поступательным движением перераба-

Таблица 11.33. Техническая характеристика двухвальных лопастных смесителей

Показатели	Марка			
	СМК-125	СМК-126	СМК-18	СМК-1238 с фильтр-решеткой
Длина корыта, м	3,0	3,55	3,5	3,55
Частота вращения лопастных валов, об/мин	42	31	32	24
Диаметр окружности, описываемой лопастями, мм	600	750	750	520
Производительность (по глине), м ³ /ч	18	35	35,5	25
Мощность электродвигателя, кВт	22	40	40	55
Габаритные размеры, м				
длина	5,08	6,5	6,2	7,2
ширина	1,80	1,9	1,7	3,0
высота	1,45	1,7	1,4	1,2
Масса, т	3,85	4,6	4,8	9,1
Завод-изготовитель	Ухоловский «Строммашина»		«Красный Октябрь» (г. Харьков)	

Примечание. Все смесители оборудованы для пароувлажнения массы; давление пара до 0,2 МПа (2 кгс/см²).

тываемой массы, благодаря чему она более тщательно перемешивается. Производительность противоточных смесителей в 2—3 раза меньше, что ограничивает область их применения.

Преимущественное применение в производстве пористых заполнителей получили двухвальные лопастные смесители прямоточные (табл. 11.33).

Вальцы дырчатые для формования гранул

Вальцы дырчатые для формования сырцовых гранул СМ-927 применяют в производстве керамзитового (глинозольного керамзита) гравия по пластическому способу. Рабочая поверхность барабанов валков облицована сменными секторами с отверстиями Ø 7, 11 и 14 мм.

Техническая характеристика дырчатых вальцов СМ-927

Производительность, м ³ /ч:		
при секторах с отверстиями Ø 7 мм	8	
» » Ø 11 мм	12	
» » Ø 14 мм	17	
Диаметр валков, мм	1012	
Ширина валков, мм	640	
Частота вращения валков, об/мин:		
подвижного	25,5	
неподвижного	30,8	
Мощность электродвигателя, кВт	40	
Габаритные размеры, м		
длина	2,90	
ширина	3,80	
высота	1,43	
Масса, т	6,45	
Завод-изготовитель	«Красный Октябрь» (г. Харьков)	

Формование сырцовых гранул на ленточных прессах

При формовании сырцовых гранул на ленточных прессах обеспечивается (в сравнении с формованием на дырчатых вальцах) улучшение коэффициента формы, повышается плотность и прочность гранул, уменьшается их развал, что способствует некоторому улучшению качества готового продукта. Эти преимущества особенно ощутимы при использовании сырья средней пластичности и плотности.

НИИ керамзит разработал гранулирующие приставки к ленточным прессам СМК-21 (СМ-294) и СМК-133 для формовки сырцовых гранул, проверенные на ряде внедривших их заводов; приставки следует изготавливать по чертежам указанного института.

Тарельчатые грануляторы

Тарельчатые грануляторы применяют для формования сырцовых гранул в производстве гравиеподобных и щебнеподобных пористых

заполнителей из зол ТЭС, отходов углеобогащения и других мало-пластичных материалов с добавками пластификаторов (пластичные глины, бентониты и др.).

Из номенклатуры применяемых в СССР тарельчатых грануляторов и окомкователей для производства пористых заполнителей приемлемы грануляторы с диаметром тарели 3; 4,2 и 5,5 м; серийно все они промышленностью не выпускаются (табл. 11.34). Грануляторы с диаметром тарели 3 и 5,5 м могут изготавливаться по специальным заказам заводами, имеющими на них техническую документацию. Техническая документация на гранулятор с диаметром тарели 4,2 м, практически, отсутствует и подлежит разработке.

Таблица 11.34. Техническая характеристика тарельчатых грануляторов

Показатели	Диаметр тарели, мм		
	3000	4200	5500
Высота борта тарели, мм	700	950	800
Угол наклона тарели, град	35—55	35—70	45—55
Частота вращения тарели, об/мин	6—10	3,75—7,5	6—9
Производительность, т/ч	4—6	10—12	16—22
Мощность электродвигателя, кВт	28	34	120
Масса, т	9,7	15,0	41,9
Завод-изготовитель	Красногорский цементного машиностроения	—	«Уралмаш-завод» (г. Свердловск).

11.6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА И ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ И ТЯГОДУТЬЕВЫЕ МАШИНЫ

В производстве пористых заполнителей применяют сухую и мокрую системы очистки воздуха и газов от пыли; имеется единичный опыт применения электрофильтров для очистки газов на Балаклейском заводе керамзитового гравия. При выборе способа очистки воздуха и газов от пыли учитывают возможность использования уловленной пыли в производстве (табл. 11.35).

В системах сухой очистки широко применяются циклоны НИИОгаз типа ЦН одиночные, групповые (табл. 11.36, 11.37), батарейные и рукавные фильтры типа СМЦ (табл. 11.38); в отдельных случаях применяют циклоны прамточные. В системах мокрой очистки от неслипающихся и цементирующихся пылей широко применяют пылеуловители вентиляционные сливные ПВМ (табл. 11.39).

Таблица 11.35. Способы и оборудование для очистки воздуха и газов от пыли на некоторых переделах производства

Наименование переделов производства и назначение очистки	Число ступеней и вид очистки	Применяемое оборудование
Очистка аспирационного воздуха узлов дозирования, смешения, транспортирования и грануляции сырья	Одноступенчатая, очистка, мокрая	Мокрая сливные пылеуловители ПВМ
Очистка аспирационного воздуха узлов дробления, сортировки и загрузки в силосы пористого заполнителя, воздуха узлов пневмотранспорта золь-уноса, пыли и просыпи агломашин	Двухступенчатая, сухая	I ступень — циклоны НИИОгаз типа ЦН, II ступень — рукавные фильтры СМЦ
Очистка аспирационного воздуха узлов ломки и охлаждения аглопоритовых глыб	Одноступенчатая, сухая	Циклоны НИИОгаз типа ЦН
Очистка дымовых газов из обжиговых агрегатов производств пористого мелкого щебня и песка из водосодержащих горных пород	Двухступенчатая, сухая и мокрая	I ступень — циклоны НИИОгаз типа ЦН, II ступень — мокрые сливные пылеуловители ПВМ
Очистка воздуха узлов инвентаризации пористого мелкого щебня из водосодержащих горных пород	Одноступенчатая, сухая	Циклоны НИИОгаз типа ЦН
Очистка дымовых газов из обжиговых агрегатов производств аглопорита, аглопоритового и керамзитового гравия	Одноступенчатая, сухая	Батарейные циклоны НИИОгаз типа БПЦ
Очистка воздуха из слесарных холодильников производств керамзитового гравия	Одноступенчатая, мокрая	Мокрая сливные пылеуловители ПВМ

Таблица 11.38. Техническая характеристика рукавных фильтров

Показатели	Марка				
	ФР-10 для удаления избыт. возд. из бунк.	РГ (СМЦ-166Б)	РВ-1 (СМЦ-101А-1)	РП-111 (СМЦ-100А-111)	РВ-11 (СМЦ-101А-11)
Площадь фильтрующей поверхности, м ²	10	30	53	205	104
Температура газов, не более, °С	80	140	140	300	140
Мощность электродвигателя, кВт	0,4	0,05	0,8	0,09	0,8
Регенерация ткани	—	Сжатым воздухом	—	Сжатым воздухом	—
Габаритные размеры, м					
длина	1,2	1,06	1,69	1,71	1,69
ширина	0,72	2,01	3,34	3,17	3,34
высота	1,87	4,01	5,7	5,7	9,0
Масса, т	0,28	1,0	2,81	4,5	3,71
Завод-изготовитель	Куйбышевский «Строммашина»				

Таблица 11.39. Техническая характеристика мокрых сливных пылеуловителей ПВМ

Показатели	Марка				
	ПВМЗС	ПВМБС	ПВМ10С	ПВМ20С	ПВМ40С
Производительность по воздуху, м ³ /ч	3000	5000	10000	20000	40000
Тип и номер вентилятора	ЦП13-50 № 3,2	ЦП17-40 № 5	ЦП17-40 № 6,3	ВЦП6-45 № 8	Ц4-70 № 12
Объем воды в бункере пылеуловителя, м ³	0,45	0,65	1,45	2,2	5,5
Масса пылеуловителя (без воды и электродвигателя), т	0,68	0,81	1,39	1,98	4,74
Габаритные размеры, м					
длина	1,1	1,1	1,51	2,31	2,42
ширина	1,25	1,65	2,50	2,51	4,75
высота	2,86	3,08	3,41	3,68	4,11
Число перегородок	1	1	1	2	2

Примечание. Изготавливаются по чертежам типовой серии.

Таблица 11.40. Техническая характеристика батарейных циклонов ПБЦ

Показатели	Марка				
	ПБЦ-25	ПБЦ-35	ПБЦ-50	ПБЦ-75	ПБЦ-100
Производительность по воздуху или при температуре 90°С, тыс. м ³ /ч	25—30	35—40	50—60	75—85	100—125
Эффективность пылеулавливания (степень очистки), %	98	98	95,5—99	95—99	95—99
Аэродинамическое сопротивление, Па	1300—1500	1300—1500	1300—1500	1300—1500	1300—1500
Масса, т	5,0	6,1	11,52	13,1	15,0
Завод-изготовитель	Машзавод им. Ггархоменко (г. Караганда)				

не более 2,5 м/с для абразивных пылей и 4 м/с для остальных. Гидравлическое сопротивление циклонов 700—1200 Па.

Батарейные циклоны ПБЦ (табл. 11.40) предназначены для очистки от пыли крупностью выше 5 мкм при влажности пыли не более 6%.

11.7. ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для механизации погрузочно-разгрузочных работ в производстве пористых наполнителей используют стационарные, передвижные и самоходные механические и пневматические разгрузчики и грузо-подъемные средства (табл. 11.41, табл. 11.42).

Техническая характеристика разгрузочной машины МВС-4

Производительность, т/ч	30
Фронт работы, мм	1600
Высота выгружающего конвейера, мм:	
наибольшая	2550
наименьшая	1680
Установленная мощность электродвигателей, кВт	16,5
Габаритные размеры, м:	
длина	5,85
ширина	1,77
высота	1,95
Масса, т	3,3
Завод-изготовитель	Машзавод им К. Либкнехта / (Курская обл.)

Техническая характеристика разгрузчика нерудных материалов ТР-2А

Производительность, м ³ /ч	До 320
Дальность отброса материала от оси разгружаемой платформы (полувагона), м	До 20
Скорость ковшей, м/с	1
Скорость ленты отвалного конвейера, м/с	3
Скорость передвижения рабочая, м/мин	3
Установленная мощность электродвигателей, кВт	112,5
Габаритные размеры, м	
длина	24,35
ширина	7,20
высота	12,10
Масса, т (без балласта)	34,5
Завод-изготовитель	Завод строительных машин им. Ленина (г. Никополь)

Техническая характеристика погрузчика Т-157М

Тип погрузчика	Одноковшовый, с задней разгрузкой (через себя)
Базовый трактор	Гусеничный, Т-100МГП-1
Вместимость ковша, м ³	2,8
Грузоподъемность, т	4
Высота разгрузки, м	3,4—2,56
Двигатель	Дизель Д-108
Мощность, кВт	79,5
Скорость передвижения, км/ч	2,4—10,1
Габаритные размеры, м	
длина	6,62
ширина	3,05
высота	3,02
Масса, т	17,8
Завод-изготовитель	Механический завод (г. Свердловск)

Таблица 11.41. Средства механизации погрузочно-разгрузочных работ

Вид перерабатываемых грузов	Средства доставки на предприятие	Средства механизации погрузочно-разгрузочных работ
Мелкозернистое сырье из водосодержащих горных пород	Крытые железнодорожные вагоны	Двумоторные тележки всасывающие ТА-17, ТА-18 (см. табл. 11.15).
Мелкокусковое сырье из водосодержащих горных пород и другие сыпучие материалы	То же	Машина МВС-4 в комплексе с передвижными ленточными конвейерами
Глинистое сырье камнеподобное и мягкое, кусковое, твердое топливо	Железнодорожные универсальные полувагоны	Разгрузчик перудных материалов ТР-2А.
Штучные грузы прибывающие на предприятия	Железнодорожные платформы универсальные	Погрузчик Т-157М
перемещаемые внутри предприятий	Железнодорожные платформы универсальные	Автокраны стреловые. Вилочные автопогрузчики
		Вилочные автопогрузчики

Таблица 11.42. Техническая характеристика автокранов стреловых

Показатели	Марка крана		
	КС-2561Е	КС-1562А	КС-3562А
Наибольшая грузоподъемность, т:			
при выносных опорах	6,3	5,0	10,0
без выносных опор	2,0	Запрещается	2,5
Длина стрелы, м	8,12	6,0	10
Наибольшая высота подъема груза, м:	8,0	6,2	10
Наибольшая скорость подъема груза, м	19,2	12,6	10
Скорость передвижения без груза, км/ч	85	75	55
Габаритные размеры (в транспортном положении), м:			
длина	10,9	8,8	13,15
ширина	2,71	2,3	2,81
высота	3,8	3,45	3,80
Масса, т	8,7	7,4	14,3
Завод-изготовитель	Дрогобычский завод автокранов	Ставропольский завод автокранов	Ивановский завод автокранов

Вилочные автопогрузчики кроме вилочного захвата имеют комплекты различного сменного оборудования (безблочную стрелу, ковш, грейфер и др.) и широко применяются для переработки штучных и кусковых сыпучих грузов на промплощадках предприятий (табл. 11.43).

Таблица 11.43. Техническая характеристика вилочных автопогрузчиков

Показатели	Марка				
	4043М	4014	4045Р	4008М	4016
Грузоподъемность, т					
на вилках	3,2	5,0	5,0	10,0	—
на крюке стрелы	1,0—3,0	—	3,0—4,0	5,0	4,5
Наибольшая высота подъема груза, м					
на вилках	4	4,5	4,5	4,5	—
на крюке стрелы	5,2	—	5,66	7,5	7,2
Наибольшая скорость передвижения по твердому покрытию, км/ч	30	35	25—15	16	36
Габаритные размеры, м					
длина	4,65—5,72	5,15	5,02—6,16	6,60	7,0
ширина	2,10	2,35	2,35	2,66	2,35
высота	3,2	3,5—5,75	3,31	3,76	3,40
Наименьший радиус поворота, м	3,7	3,8	3,9	5,8	4,4
Масса, т	4,78	8,25	6,15	13,5	9,0
Двигатель	ГАЗ-52-04	ГАЗ-52-04	ГАЗ-52-04	ЗИЛ-157КД	ГАЗ-52-04
Завод-изготовитель		Львовский	завод автопогрузчиков		

11.8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ

Испытание оборудования и сдача его в эксплуатацию

Испытание оборудования для сдачи в эксплуатацию является заключительным этапом работ по его монтажу и производится в соответствии с требованиями СНиП. Смонтированное оборудование подвергается следующим испытаниям: на плотность и прочность (сосудов и аппаратов, а также систем смазки и охлаждения); вхолостую (машин, механизмов и аппаратов с приводом); под нагрузкой (машин, механизмов и аппаратов с приводом).

В тех случаях, когда проведение испытаний под нагрузкой невозможно в отрыве от испытания всего комплекса смежного оборудования и коммуникаций установки (технологической линии), они проводятся при комплексном опробовании оборудования установки (технологической линии).

Объем, условия и продолжительность индивидуальных испытаний каждого вида оборудования определяются утвержденными в установленном порядке технологическими инструкциями и техническими условиями заводов-изготовителей.

Комплексное опробование оборудования производится вхолостую и под нагрузкой с пробной выдачей продукции. Продолжительность комплексного опробования под нагрузкой, как правило, не должна превышать 72 ч бесперебойной нормальной работы на эксплуатационном режиме.

Приемка в эксплуатацию оборудования технологических установок (линий) нового (реконструированного) предприятия после комплексного опробования их производится по решению государственной приемочной комиссии.

Эксплуатация оборудования

Оборудование заводов по производству искусственных пористых наполнителей эксплуатируют в соответствии с заводскими инструкциями, составленными на основании общих правил по технической эксплуатации заводов, технике безопасности и промсанитарии, смазке оборудования и другим типовым инструкциям, обязательным для всех промышленных предприятий. Поддержание надлежащей работоспособности оборудования и его долговечности обеспечивается организуемой на предприятиях системой плано-предупредительного ремонта (ППР), включающей техническое обслуживание оборудования в процессе его эксплуатации, и плановые ремонты, увязанные с потребностями производства и возможностями ремонтных служб.

Техническое обслуживание оборудования

Техническое обслуживание оборудования — комплекс профилактических мероприятий, направленных на поддержание его работоспособности, предупреждение поломок и быстрого износа, выявление дефектов в работе. Техническое обслуживание предусматривает поддержание оборудования в чистоте, периодический контроль крепления, состояния систем охлаждения, степени нагрева трущихся поверхностей, контроль состояния ограждений и автоматических защитных устройств, выполнение контрольно-регулирующих работ, устранение мелких неисправностей, своевременную смазку и др.

Проверка креплений проводится систематически по специальным картам для каждой машины и включает проверку надежности крепления разъемных соединений, подтяжку болтов и установку новых крепежных деталей взамен негодных.

Контрольно-регулирующие работы осуществляются по специально составляемым контрольно-регулирующим картам; они выполняются после контроля состояния узлов и деталей оборудования, выявляющего объем регулировочных работ. Одновременно с выполнением регулировочных работ устраняются мелкие дефекты и неисправности оборудования.

Смазка оборудования осуществляется в соответствии со спе-

Таблица 11.44. Масла, наиболее часто употребляемые для смазки технологического и вспомогательного оборудования

Наименование масел	Вязкость кинематическая при 50°C, м ² /с	Температура застывания, °C, не выше	Температура вспышки, °C, не ниже
Индустриальное И-20А	17—23·10 ⁻⁶	—15	180
Индустриальное И-30А	28—33·10 ⁻⁶	—15	190
Индустриальное И-40А	35—45·10 ⁻⁶	—15	200
Индустриальное И-50А	47—55·10 ⁻⁶	—20	200

циальными картами смазки. В качестве смазочных материалов применяют минеральные масла и консистентные смазки и мази (табл. 11.44, 11.45). Режим смазки и периодичность замены смазок приведены в табл. 11.46, 11.47, 11.48.

Ремонт оборудования

Системой ППР предусматриваются следующие виды плановых ремонтов оборудования: текущий, средний и капитальный.

Текущий ремонт, минимальный по объему, при котором нормальная эксплуатация оборудования обеспечивается заменой или вос-

Таблица 11.45. Консистентные смазки, наиболее часто употребляемые для технологического и вспомогательного оборудования

Смазка	Основная характеристика	Назначение смазки
Универсальная среднеплотная УС-2 (содол жировой) по ГОСТ 1033-79 (с изм.)	Индустриальное масло, загущенное кальциевыми мылами жирных кислот естественных жиров. Температура каплепадения не выше 75°C. Содержание кальциевых мыл не менее 11%.	Для смазки подшипников и других мало-нагруженных узлов механизмов, работающих при температуре не выше 65°C
Солидол синтетический солидол С по ГОСТ 4366-76 (с изм.)	Вышелоченное индустриальное масло, загущенное гидратированными кальциевыми мылами синтетических жирных кислот	То же
Универсальная среднеплотная УС-2 (содол жировой) по ГОСТ 1033-79 (с изм.) и универсальная тугоплавкая УТ-1 или УТ-2 по ГОСТ 1957-73 (с изм.)	Загущенное натровыми мылами очищенное или вышелоченное минеральное масло с кинематической вязкостью 19—53·10 ⁻⁶ м ² /с при 50°C	Для смазки подшипников и других узлов машин, работающих в условиях тяжелых нагрузок при малых и средних скоростях
Тугоплавкая смазка жировая I—13	Смесь масел касторового, смыленного едким натром, и масла с кинематической вязкостью при 50°C не менее 19·10 ⁻⁶ м ² /с, состоящего из смеси индустриальных масел -- авиационного, транспортного, веретенного и приборного.	Для смазки средне- и высоконагруженных подшипников качения, работающих в условиях высокой влажности
Смазка морская АМС-1 по ГОСТ 2712-75 (с изм.)	Смесь олоостегарата, алюминия и масла цинкдурового 52 (валор). Температура каплепадения не ниже 90°C	Для смазывания поверхностей механизмов, омываемых влагой и в смеси с 80—90% индустриального масла И-12А для смазки плоских направляющих
Смазка графитная УСса по ГОСТ 3333-80 (с изм.)	Кальциевое мыло на синтетических жирных кислотах в смеси с графитом «П» по ГОСТ 8293-73 (с изм.) и маслом цилиндровым 11. Температура каплепадения не ниже 77°C	Для смазывания открытых зубчатых передач и других высоконагруженных узлов трения
Смазка канатная 30у	Масляный гудрон В или мазут прямой перегонки, загущенные петролатумом, нефтяным битумом, канфолью и графитом «П». Температура каплепадения 65—75°C	Для смазывания стальных канатов

Таблица 11.46. Режим смазки открытых зубчатых передач

Условия работы	Режим смазки	Режим смазки
Условия работы	маслом индустриальным	солидолом и графитовой смазкой
Периодическая работа	1 раз в 3 смены	1 раз за 17—20 смен
Непрерывная работа в нормальных условиях	1 раз в смену	1 раз за 4—6 смен
Непрерывная работа в тяжелых условиях	2 раза в смену	1 раз за 2—3 смены

Таблица 11.47. Режим смазки подшипников качения

Условия работы	Режим смазки	Режим смазки	путем наблаки
Условия работы	маслом без ванн	в масляной ванне	
Периодическая работа	1 раз в сутки	Долив 1 раз в 27 смен, полная смена масла через 400 смен работы	Через 440 смен
Непрерывная работа в нормальных условиях	2 раза в смену	Долив 1 раз в 20 смен, полная смена масла через 300 смен работы	> 400 >
Непрерывная работа в тяжелых условиях (влажность, запыленность, неравномерность нагрузки)	3 раза в смену	Долив 1 раз в 14 смен, полная смена масла через 200 смен работы	> 270 >

Таблица 11.48. Периодичность смены масел в циркуляционных системах при работе оборудования в 1 смену

Назначение	Периодичность смены масел, мес, в машинах, работающих в условиях		Время между доливками до требуемого уровня, дни.
	нормальных	наличия абразивной пыли	
Для узлов с емкостью картера, кг			
до 10	4—4,5	3—3,5	5—6
> 50	5—6	3,5—4	5—6
более 50	6—6,5	4—4,5	6—8
Для подшипников качения	6—6,5	4—4,5	8—10

становлением сравнительно небольшого числа изношенных деталей и регулированием механизмов. Перечень работ по текущему ремонту устанавливается заранее и уточняется по результатам последнего планового осмотра оборудования; в объем текущего ремонта включаются также работы, предусмотренные техническим обслуживанием. Сроки проведения текущих ремонтов определяются годовым графиком ППР. Затраты на текущий ремонт оборудования предусматриваются в сметах цеховых расходов.

При *среднем ремонте* производится замена и восстановление изношенных деталей, узлов и путем выверки установочных координат оборудования восстанавливается его первоначальная производительность, точность и другие показатели на срок до следующего планового среднего или капитального ремонта. При среднем ремонте выполняются работы, входящие в состав текущего ремонта, а также производится замена или ремонт некоторых узлов и деталей с большими сроками службы. Средние ремонты в большинстве случаев выполняются силами ремонтной службы предприятия. Затраты на средние ремонты предусматриваются в сметах цеховых расходов.

Прогрессивными методами ремонта при текущих и средних ремонтах является поузловой или последовательно узловой, позволяющий производить замену предварительно заготовленных целых узлов, состоящих из нескольких деталей, одновременно или последовательно; это значительно сокращает сроки ремонтов и создает возможность выполнения части их во время кратковременных перерывов в работе оборудования.

При *капитальном ремонте* выполняются работы всех предшествующих видов ремонта, производится ремонт или замена узлов и деталей со сроками службы, однозначными величине ремонтного цикла, в том числе, при необходимости, крупногабаритных и базовых деталей и узлов (корпусы, рамы, станины и др.). Для восстановления первоначальной производительности оборудования и других по-

казателей при капитальном ремонте производит полную разборку оборудования и его узлов, замену или восстановление всех изношенных деталей, проверку и регулировку рабочих органов и т. д. После капитального ремонта оборудование испытывается на холостом ходу и под нагрузкой. Сроки проведения капитального ремонта устанавливаются годовым графиком ППР. Перечень работ очередного капитального ремонта устанавливается с учетом результатов последнего планового осмотра оборудования и уточняется после его разборки. Финансирование затрат на капитальные ремонты осуществляется за счет амортизационных отчислений.

Капитальные ремонты оборудования предприятий пористых заполнителей производятся силами их ремонтных служб (на крупных предприятиях) или силами ремонтных заводов. Капитальные ремонты специального технологического оборудования (вращающиеся печи, сушильные барабаны, крупные дробилки, мельницы) производятся специализированными предприятиями Цемремонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кутузов Б. Н. Взрывные работы. — М.: Недра, 1980.
 Мельников Н. В. Краткий справочник по открытым горным работам. — М.: Недра, 1974.
 Малевич И. П., Матвеев А. И. Пневматический транспорт сыпучих строительных материалов. — М.: Стройиздат, 1979.
 Сапожников М. Я., Дроздов Н. Е. Справочник по оборудованию заводов строительных материалов. — М.: Стройиздат, 1970.
 Справочник по пыле- и золоулавливанию. — М.: Энергия, 1975.

ГЛАВА 12. ИСПЫТАНИЕ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

12.1. ПОДГОТОВКА И ОТБОР ПРОБ ИСКУССТВЕННОГО ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

При производстве пористых заполнителей периодически производят их испытание. Для этой цели через определенные промежутки времени, когда заполнитель транспортируется с помощью конвейера на склад готовой продукции, отбирают частичные пробы. Затем путем смешивания частичных проб получают среднюю пробу заполнителя. Объем средней пробы соответствующих искусственных заполнителей принимают по следующим нормативным документам:

ГОСТам для: керамзитовых гравия и песка 9759—83, аглопоритовых щебня и песка 11991—83, перлитовых вспученных песка и щебня 10832—83, шунгитовых гравия и песка 19345—83, вспученного вермикулита 12865—67, неорганических заполнителей для легких бетонов 9757—83, пористых щебня и песка из металлургического шлака (шламовая пемза) 9760—75, смесей золошлаковых тепловых электростанций ГОСТ 25592—83;

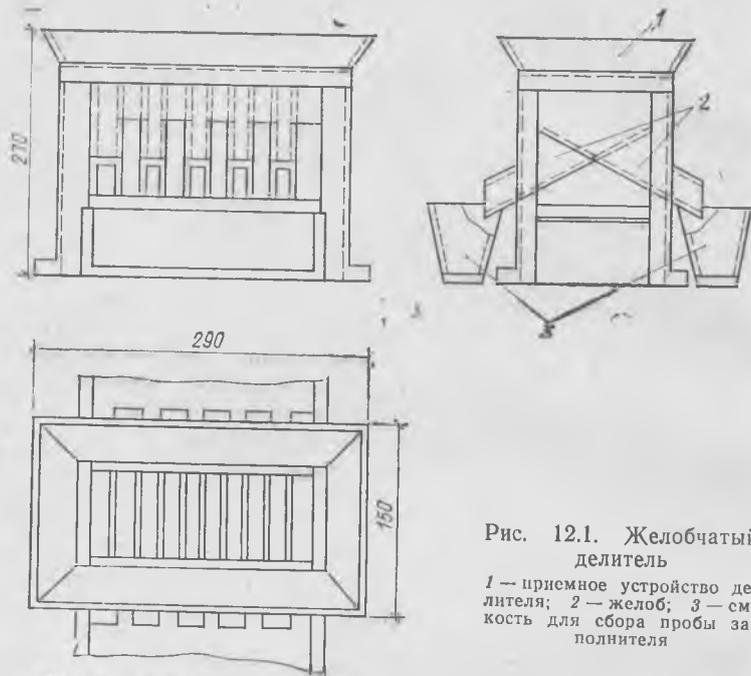


Рис. 12.1. Желобчатый делитель

1 — приемное устройство делителя; 2 — желоб; 3 — см-кость для сбора пробы заполнителя

ТУ: для аглопоритового гравия из золы тепловых электростанций (ТЭС) ТУ 21-31-13-76, щебневидного керамзита из камнеподобных глинистых пород месторождений Магаданской области ТУ 479-126-73, золоаглопоритовых гравия, щебня и песка из золы-уноса Молдавской ГРЭС ТУ 21 МССР-81, термолитовых гравия и щебня ТУ 21-31-29-80.

Объем средней пробы должен в 2 раза превышать суммарный объем проб, предназначенных для испытания.

Для испытания от средней пробы отбирают пробу методом квартования или при помощи желобчатого делителя (рис. 12.1). Могут быть также использованы пробоотборники с дифференциальным движением ковша, двойной пробоотборник, а также пробоотборник с прямолинейным движением желоба-отсекателя.

12.2. ИСПЫТАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Определение насыпной плотности фракции гравия, щебня или песка, а также их смеси. В зависимости от фракции крупного заполнителя или песка объем пробы для испытания должен составлять:

для песка — 5 дм³; для гравия или щебня фракции 5—10 мм — 10, фракции 10—20 мм — 20 и фракции 20—40 мм — 40 дм³.

Заполнитель, высушенный при температуре 105—110°C до постоянной массы, высыпает с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный сосуд (табл. 12.1) до образования над верхом сосуда конуса, который снимают вровень с краями сосуда (без уплотнения), и сосуд с заполнителем взвешивают.

Таблица 12.1. Размеры мерного сосуда для определения насыпной плотности заполнителя (по ГОСТ 9758—86)

Предельная крупность заполнителя, мм	Объем мерного цилиндра, дм ³	Размеры цилиндра, мм	
		диаметр	высота
До 5	1	108	108,5
10	2	137	136,5
20	5	185	186,5
40	10	234	233,8

Насыпную плотность (γ_n) пористого заполнителя вычисляют по формуле, кг/м³

$$\gamma_n = (g_2 - g_1/V) 100, \quad (12.1)$$

где g_1 — масса мерного сосуда, кг; g_2 — масса мерного сосуда с заполнителем, кг; V — объем мерного сосуда, м³.

Определение прочности пористого заполнителя

Прочность пористого заполнителя определяют сдавливанием зерен соответствующей фракции в стальном составном цилиндре (рис. 12.2) с внутренним диаметром и высотой 150 мм.

Пробы заполнителя данной фракции объемом 6 дм³ высушивают до постоянной массы, 2 дм³ из этой пробы свободно засыпают с высоты 100 мм в стальной цилиндр с поддоном так, чтобы после разравнивания верхний уровень заполнителя доходил до верхнего края цилиндра. Затем на цилиндр надевают приставку и в нее вставляют пуансон. При этом нижняя риска на пуансоне должна совпасть с верхним краем приставки. В случае, если риска не совпадает с краем цилиндра, необходимо изъять или добавить несколько зерен заполнителя с тем, чтобы обеспечить точное совпадение нижней риски и верхнего края цилиндра. Затем цилиндр с пробой помещают на подушку гидравлического пресса и сдавливают заполнитель до погружения пуансона на 20 мм — до верхней риски и отмечают показание стрелки манометра в этот момент.

Вдавливание пуансона должно производиться без перекоса со скоростью 0,5—1 мм в секунду.

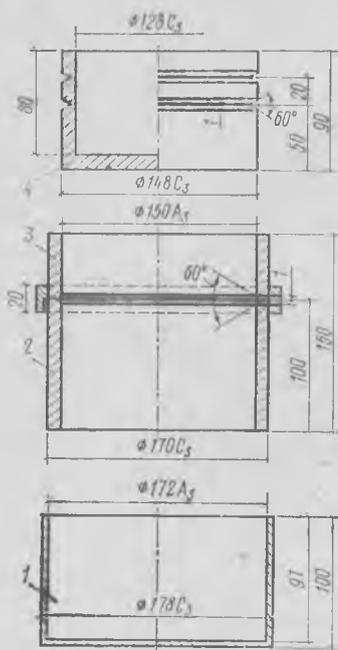


Рис. 12.2. Стальной составной цилиндр

1 — поддон; 2 — цилиндр; 3 — приставка; 4 — пуансон

сквозь набор сит, размер квадратных отверстий сетки которых равен 0,14; 0,315; 0,63; 1,26 и 2,5 мм (ГОСТ 3584—73 с изм.) и круглыми штампованными отверстиями диаметром 5, 10, 20 и 40 мм. Рамки сит по форме могут быть круглые или квадратные с диаметром или боковой стороной не менее 300 мм. Просеивание сквозь сито производят последовательно, начиная с сита с большим размером отверстий к меньшему.

Для определения зернового состава измеряют объем остатка на каждом сите и вычисляют в % частные остатки путем отношения объема остатка на данном сите к сумме объемов остатков на всех ситах плюс проход через сито с размером отверстий, равным 0,14 мм. Полные остатки определяются отношением суммы частных остатков на всех более крупных ситах плюс частный остаток на данном сите к сумме объемов остатков на всех ситах плюс объем просева через сито с размером отверстий, равным 0,14 мм.

Возможно взвешивание остатков на каждом сите и последующее

Прочность при сдавливании заполнителя в цилиндре вычисляют по формуле, МПа

$$\sigma_{сд.з} = P/F, \quad (12.2)$$

где P — нагрузка при сдавливании заполнителя при погружении пуансона до верхней риски, МПа; F — площадь поперечного сечения цилиндра, равная 177 см².

Прочность заполнителя в цилиндре вычисляют как среднее арифметическое результатов двух определений, каждое из которых производится из новой порции заполнителя.

Определение зернового состава заполнителя

Для определения зернового состава объем пробы должен составлять: для песка 2 дм³, а гравия или щебня фракции 5—10 мм — 5 дм³, фракции 10—20 мм — 10 дм³ и фракции 20—40 мм — 20 дм³.

Пробу заполнителя сушат до постоянной массы и просеивают

вычисление их объема путем деления масс остатков на соответствующие насыпные плотности фракций.

Результаты ситового анализа выражают кривой просеивания, для построения которой на оси абсцисс откладывают размеры отверстий сит в мм, а на оси ординат — полные остатки на ситах в % по объему.

Определение морозостойкости крупного пористого заполнителя

Пробу щебня или гравия объемом 2 дм³ для фракций 5—10 и 10—20 мм и 4 дм³ — для фракций 20—40 мм промывают, очищают щеткой от рыхлых частиц и пыли, высушивают до постоянной массы и просеивают сквозь сита с отверстиями, соответствующими наибольшей и наименьшей крупности зерен испытываемой фракции. В случае испытания пробы щебня или гравия, состоящей из смеси нескольких фракций, пробу рассеивают на составляющие фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. От каждой подготовленной фракции также отбирают для испытания пробу, равную 2 дм³ для фракции 5—10 и 10—20 мм и 4 дм³ — для фракции 20—40 мм.

Взвешенную пробу насыпают в сосуд с сетчатым дном и крышкой и помещают на 48 часов в ванну с водой, имеющей температуру 20±3°C. Затем сосуд вынимают из ванны и, после того как вода стечет, помещают его в морозильную камеру с температурой —15°C и выдерживают не менее 4 ч. После этого сосуд с гравием или щебнем помещают в ванну с водой, имеющей температуру 20±3°C, и выдерживают не менее 4 ч.

После проведения установленных циклов попеременного замораживания и оттаивания пробу высушивают до постоянной массы и просеивают на ситах с отверстиями, соответствующими минимальным размерам фракции. Остаток на ситах взвешивают и вычисляют потерю массы по формуле:

$$Q_{мрз} = \frac{g_1 - g_2}{g_1} 100 \%, \quad (12.3)$$

где g_1 — масса пробы до испытания на морозостойкость, г; g_2 — масса остатка на сите после испытания, г.

Определение влажности пористого заполнителя

Пробу заполнителя объемом 2 дм³ для песка, 3 дм³ для фракции 5—10, 10—20 и 20—40 мм насыпают в предварительно взвешенный сосуд и взвешивают вместе с сосудом, а затем высушивают до постоянной массы.

Влажность заполнителя вычисляют по формуле

$$W = (g_B - g_C) / (g_C - g), \quad (12.4)$$

где g_B — масса влажной пробы с сосудом, г; g_C — масса сухой пробы с сосудом, г; g — масса сосуда, г.

Определение коэффициента формы зерен крупного пористого заполнителя

В зависимости от фракции заполнителя от частичной пробы отбирают для фракции 5—10 мм — 0,1 дм³, 10—20 мм — 0,2 дм³ и для фракции 20—40 мм — 0,3 дм³. От каждой пробы отбирают не менее 5 зерен. Затем штангенциркулем (ГОСТ 166—73) измеряют наибольший и наименьший размеры каждого зерна. Коэффициент формы вычисляют по формуле

$$K_{\phi} = D_{\max}/D_{\min}, \quad (12.5)$$

где D_{\max} — наибольший размер зерна, мм; D_{\min} — наименьший размер зерна, мм.

Вычисляют среднее арифметическое значение коэффициента формы и определяют количество зерен в %, имеющих коэффициент формы более 2,5.

Определение водопоглощения крупных пористых заполнителей

Гравий или щебень объемом 2,3 и 5 дм³ соответственно для фракций 5—10, 10—20 и 20—40 мм высушивают до постоянной массы, отделяют встряхиванием на сите мелкие частицы (меньше 5 мм).

Навеску заполнителя укладывают в контейнер с водой комнатной температуры (рис. 12.3). Контейнер выдерживают в воде 1 ч, после чего его вынимают из воды, подвешивают на 10 мин, чтобы стекла вода. После этого пробу тотчас же взвешивают.

Масса воды, вытекшая из пор гравия или щебня на чашку весов, должна включаться в массу пробы гравия или щебня.

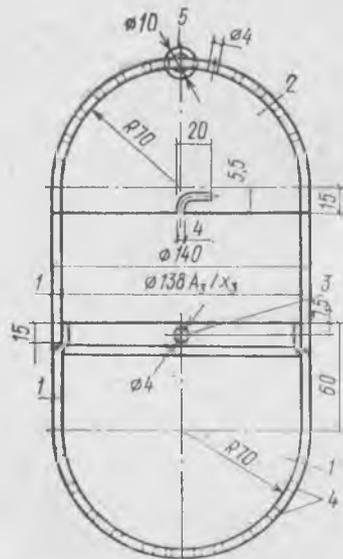


Рис. 12.3. Контейнер для насыщения заполнителя водой
1 — нижняя часть контейнера; 2 — крышка; 3 — две шпильки $\varnothing 4$ мм, длиной 2 мм; 4 — отверстия $\varnothing 4$ мм с шагом 8 мм по нижней части контейнера и крышке; 5 — кольцо $\varnothing 10$ мм

Водопоглощение гравия или щебня за 1 ч вычисляют по формуле

$$W = (g_2 - g_1)/g_1, \quad (12.6)$$

где g_1 — масса сухой пробы заполнителя, г; g_2 — масса пробы заполнителя, насыщенного водой, г.

Определение стойкости крупного заполнителя против силикатного распада

Стойкость против силикатного распада устанавливают путем попеременного пропаривания и насыщения водой или запариванием в автоклаве. При пропаривании заполнителя объем 2 дм³ для фракции 5—10 и 10—20 мм и 4 дм³ — для фракции 20—40 мм помещают в контейнер (см. рис. 12.3), укладывают в сосуд, наливают воду на уровне половины высоты сосуда и закрывают крышкой. Воду нагревают до кипения. Пропаривание заполнителя производят в течение 3 ч, затем контейнер с заполнителем вынимают из сосуда и погружают на 3 ч в воду комнатной температуры. Попеременное пропаривание и охлаждение до комнатной температуры повторяют три раза.

При испытании заполнителя методом автоклавной обработки (в среде насыщенного водяного пара) навеску заполнителя помещают в автоклав и в течение 30 мин давление в нем постепенно поднимают до 2 атм. Заполнитель выдерживают при этом давлении в течение 2 ч, после чего давление в течение 20 мин постепенно снижают до атмосферного. Испытание пробы заполнителя в автоклаве проводят один раз.

После окончания испытания в автоклаве или способом пропаривания пробу заполнителя высушивают до постоянной массы и просеивают сквозь сито, на котором она оставалась до испытания. Остаток на сите взвешивают и вычисляют потерю массы по формуле

$$Q = \frac{g_1 - g_2}{g_1} 100 \%, \quad (12.7)$$

где g_1 — масса навески заполнителя до испытания, г; g_2 — масса остатка на сите после испытания, г.

Определение стойкости пористого заполнителя против железистого распада

Предварительно высушенную до постоянной массы навеску заполнителя объемом 2 дм³ для фракций 5—10 и 10—20 мм и 4 дм³ — для фракции 20—40 мм помещают на 30 дней в контейнер (см. рис. 12.3) с дистиллированной водой. По окончании указанного срока

пробу щебня вынимают из воды, высушивают до постоянной массы и просеивают сквозь сито, на котором она оставалась до испытания. Остаток на сите взвешивают и вычисляют потерю массы по формуле:

$$Q_{ж} = \frac{g_1 - g_2}{g_1} 100 \%, \quad (12.8)$$

где g_1 — масса навески, высушенной до постоянной массы, до испытания, г; g_2 — масса остатка на сите, высушенного до постоянной массы, после испытания, г.

Определение количества расколотых зерен в заполнителях гравиеподобной формы

Пробу заполнителя объемом 1 дм³ — для фракции 5—10 мм, 2 дм³ — для фракции 10—20 мм и 4 дм³ — для фракции 20—40 мм делят на две равные части и взвешивают. Из каждой навески визуально выделяют обожженные зерна, расколотые пополам и поврежденные более чем на 50%. Расколотые зерна взвешивают и с точностью до 1% вычисляют содержание расколотых зерен по формуле

$$M_p = \frac{g_2}{g_1} 100 \%, \quad (12.9)$$

где g_1 — масса пробы, г; g_2 — масса расколотых зерен, г.

Определение потери массы крупного заполнителя при кипячении

Контейнер (см. рис. 12.3) с навеской заполнителя объемом 2 дм³ для фракции 5—10 мм и 10—20 мм и 4 дм³ — для фракции 20—40 мм помещают в цилиндрический сосуд с водой объемом 2 дм³ — для фракции 5—10 мм, 5 дм³ — для фракции 10—20 мм и 10 дм³ — для фракции 20—40 мм и выдерживают в нем 48 ч. Сосуд с контейнером нагревают, воду доводят в сосуде до кипения и кипятят 4 ч при постоянном уровне воды в сосуде (на 20 мм выше зерен заполнителя в контейнере). Контейнер с заполнителем вынимают из воды, выгружают заполнитель и сушат до постоянной массы. Заполнитель просеивают сквозь сито, на котором он оставался до испытания. Остаток на сите взвешивают. Потерю массы заполнителя при кипячении, M_k , вычисляют по формуле, %

$$M_k = \frac{g_1 - g_2}{g_1} 100, \quad (12.10)$$

где g_1 — масса заполнителя до испытания, г; g_2 — масса заполнителя на сите после испытания, г.

Определение содержания сернистых и сернокислых соединений в заполнителе

Пробу заполнителя в объеме 2 дм³ измельчают до крупности 2,5 мм и сокращают квартованием до 200 г, тщательно перемешивают и снова сокращают методом квартования до 40—50 г. Полученную пробу растирают пестиком в фарфоровой ступке до полного прохождения через сито с отверстиями 0,2 мм, высушивают при 105—110°C в течение 4—5 ч и затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над безводным хлористым кальцием.

Из подготовленной пробы отвешивают навеску 5 г, помещают ее в коническую колбу, наливают 50 мл дистиллированной воды (оптимальное соотношение между навеской и водой равно 1:10), закрывают пробкой, взбалтывают в течение 3 мин и отфильтровывают на сухой складчатый фильтр («белая лента»). Если первые порции фильтрата мутные, их возвращают на фильтр до образования прозрачного фильтрата. Из полученной вытяжки отбирают пипеткой 10—20 мл в стакан емкостью 100 мл, прибавляют 5—7 капель аммиака и 1—2 мл перекиси водорода. Раствор нагревают до 60—70°C и выдерживают при этой температуре в течение 3—5 мин. Затем щелочную среду нейтрализуют несколькими каплями концентрированной соляной кислоты, контролируя по метиловому оранжевому (до розового цвета) раствору и приливают дополнительно 0,5 мл кислоты.

Подкисленный раствор доводят до кипения и, помешивая, осторожно по стенкам приливают 10 мл 10%-ного кипящего раствора хлористого бария. Кипятят несколько минут и оставляют на 10—12 ч. Осадок сернокислого бария отфильтровывают на плотный фильтр («синяя лента») и промывают горячей водой до удаления ионов хлора (проба с 1%-ным раствором азотнокислого серебра). Фильтр с осадком помещают в фарфоровый тигель, озолотят и прокалывают в муфельной печи при 850—900°C в течение 40 мин. После охлаждения в эксикаторе тигель с осадком взвешивают. Осадок повторно прокалывают до постоянной массы. Испытание ведут на двух параллельных пробах.

Содержание водорастворимых сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃ в процентах вычисляют по формуле:

$$SO_3 = \frac{g \cdot 0,343}{g_1}, \quad (12.11)$$

где g — масса осадка сульфата бария, г; 0,343 — коэффициент пересчета сульфата бария на SO₃; g_1 — навеска пробы в аликвотной части вытяжки, г.

Определение потери массы при прокаливании заполнителя

Высушенную навеску заполнителя около 20—25 г молотого до тонины 0,14 мм помещают в предварительно прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель и прокаливают в течение 2 ч в муфельной печи при температуре $900 \pm 50^\circ\text{C}$. После прокаливания тигель охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Прокаливание повторяют до достижения постоянной массы. Потерю массы при прокаливании вычисляют по формуле:

$$\text{п. п. п.} = \frac{g - g_1}{g - g_2} 100 \%, \quad (12.12)$$

где g — масса порошка заполнителя с тигелем до прокаливания, g_1 — масса порошка заполнителя с тигелем после прокаливания, g_2 — масса прокаленного тигля, г.

Определение показателя неоднородности (коэффициента вариации) по насыпной плотности и прочности

Интервал рассеивания, например, значений насыпной плотности разбивается на 8—12 групп с равными интервалами. Величину интервала группы рекомендуется принимать кратной 5 кг/м^3 для насыпной плотности и $0,1 \text{ МПа}$ (1 кгс/см^2) для прочности. Значения результатов испытаний разносятся по группам в таблицу метода группировки, подсчитывается их количество в каждой группе m_j (табл. 12.2).

Таблица 12.2. Группировка и кодирование показателей качества при вычислении коэффициентов вариаций

Интервалы группировки показателя качества	Количество определений показателей качества, вошедших в данный интервал, m		Новая кодовая переменная, U	Математические выражения	
	условные обозначения	цифровые обозначения		$U_j m_j$	$U_j^2 m_j$
1	2	3	4	5	6

Вводится новая кодовая переменная U , вычисляемая по формуле

$$U = \bar{x}_j - \bar{x}_0 / K, \quad (12.13)$$

где \bar{x}_j — среднее значение показателя качества, например, насыпной плотности в X_j -й группе; \bar{x}_0 — среднее значение показателя качества в нулевой группе; K — величина интервала группы.

Рекомендуется за нулевую группу принимать ту, в которой содержится наибольшее количество результатов определений показателя качества.

Значение новой кодовой переменной U записывается в графу 4. Для каждой группы подсчитываются математические выражения $U_j m_j$ и $U_j^2 m_j$, которые записываются в соответствующие графы табл. 12.2.

Среднее арифметическое отклонение показателя качества по методу группировки вычисляется по формуле

$$X_{\text{ср}} = \bar{x}_0 + K \frac{\sum_{j=1}^n U_j m_j}{\sum_{j=1}^n m_j}. \quad (12.14)$$

Среднее квадратичное отклонение показателя качества по методу группировки вычисляется по формуле:

$$S_x = K \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n U_j^2 m_j}{\sum_{j=1}^n m_j} - \left(\frac{\sum_{j=1}^n U_j m_j}{\sum_{j=1}^n m_j} \right)^2}, \quad (12.15)$$

где n — количество групп.

Коэффициент вариации определяют по формуле:

$$V_j = \frac{S_{\text{ср}}}{\bar{y}_{\text{ср}}} 100 \%. \quad (12.16)$$

Рассмотрим пример вычисления коэффициента вариации определяемого показателя качества методом группировки исходных результатов.

Метод группировки рассматривается на примере вычисления показателя неоднородности по насыпной плотности заполнителя. Приведем результаты определения насыпной плотности керамзитового гравия фракции 10—20 мм, полученные испытанием заполнителя при отпуске продукции постоянному потребителю, кг/м^3 .

575	550	561	490	543	540
548	475	528	520	508	560
335	483	532	520	486	498
490	458	537	535	505	510
475	483	540	470	550	483
538	492	563	500	535	480
511	458	508	480	486	490
511	480	540	510	518	535
533	490	483	525	530	573
595	462	471	515	578	490
493	498	510	505	520	538
525	420	523	460	535	525
515	500	478	548	550	480
543	533	453	533	485	490
525	553	528	543	520	535
483	508	478	533	486	500
505	533	493	460	548	528
500	493	578	488	588	508
528	543	543	535	528	515
518	500	505	535	520	490
533	548	533	523	525	475
510	528	498	548	525	495
490	535	558	513	520	520
528	543	500	578	528	508
500	520	453	498	550	498

Определение коэффициента размягчения крупного пористого заполнителя

Определение производят с применением аппаратуры, предусмотренной для установления прочности заполнителя сдавливанием в цилиндре. Пробу испытываемой фракции объемом 12 дм³ сушат до постоянной массы и делят на две навески так, чтобы показатели насыпной плотности и навесок отличались между собой не более чем на 5%. Одну из навесок насыщают водой в течение 1 ч. Заполнитель испытывают по прочности в сухом и насыщенном водой состоянии.

Коэффициент размягчения K_p вычисляют по формуле

$$K_p = \sigma'_{\text{ед.з}} / \sigma_{\text{ед.з}}, \quad (12.22)$$

где $\sigma_{\text{ед.з}}$ — прочность заполнителя в сухом состоянии, МПа; $\sigma'_{\text{ед.з}}$ — прочность заполнителя в водонасыщенном состоянии, МПа.

Определение объема межзерновых пустот в гравии или щебне

Фракцию или поставляемую смесь заполнителя укладывают в мерный сосуд. После укладки заполнителя сосуд покрывают мелко-решетчатой крышкой и полностью заливают водой. Через 25 ч из сосуда сливают воду, оставляя его опрокинутым в течение 30 мин. Затем сосуд с заполнителем взвешивают, наливают в него воду до тех пор, пока вода не заполнит его до краев, и вторично взвешивают.

Объем межзерновых пустот ($V_{\text{пуст}}$) вычисляют по формуле, %

$$V_{\text{пуст}} = (G/V) 100, \quad (12.23)$$

где G — масса долитой воды, кг; V — объем сосуда, л.

Объем межзерновых пустот можно определять также расчетным путем по насыпной плотности заполнителя в сухом состоянии и объемной плотности зерен.

Определение стойкости заполнителя в растворе сернокислого натрия

Навески испытываемого гравия или щебня в объеме 2 дм³ для фракций 5—10 и 10—20 мм и 4 дм³ — для фракции 20—40 мм очищают щеткой, сушат до постоянной массы, просеивают сквозь сито с отверстиями, соответствующими наибольшей и наименьшей крупности зерен испытываемой фракции и делят на 2 равные части по массе.

Всего за анализируемый период было выполнено 150 определений насыпной плотности керамзитового гравия.

В соответствии с рекомендациями по определению показателя неоднородности настоящего справочного пособия находим общий размах колебаний насыпной плотности $L = 595 - 395 = 200 \text{ кг/м}^3$. Делим его на 10 и находим интервал группировки, кг/м^3 ,

$$K = L/10 = 200/10 = 20. \quad (12.17)$$

Результаты определений насыпной плотности разносят по группам (табл. 12.3) условными обозначениями и числовым выражением количества определений, вошедших в каждую группу.

Таблица 12.3. Сгруппированное распределение насыпной плотности керамзитового гравия

Интервалы группировки насыпной плотности, кг/м^3	Количество определений насыпной плотности массы, вошедших в данный интервал, m	Новая переменная, U	Математическое выражение	
			$U m$	$U^2 m$
395—415	1	-6	-6	36
415—435	1	-5	-5	25
435—455	3	-4	-12	48
455—475	9	-2	-27	81
475—495	29	-2	-58	116
495—515	31	-1	-31	31
515—535	43	0	0	0
535—555	21	1	21	21
555—575	7	2	14	28
575—595	5	3	15	45
Итого	150	—	-89	431

В табл. 12.3 помещают значения новой кодовой переменной U , вычисленной по соответствующей формуле. Например, для первой группы:

$$U_1 = \frac{405 - 525}{20} = -6. \quad (12.18)$$

В последних двух графах табл. 12.3 помещают результаты перемножений третьей группы графы на четвертую и четвертой на пятую.

В итоге таблицы указываются $\Sigma m = 150$, $\Sigma U = -89$, $\Sigma U^2 m = 431$. Затем вычисляют среднее арифметическое значение насыпной плотности по формуле

$$\gamma_{\text{ср}} = \gamma_0 + K \frac{\Sigma U m}{\Sigma m} = 525 + 20 \cdot \left(\frac{-89}{150} \right) = 513 \text{ кг/м}^3 \quad (12.19)$$

Далее рассчитывают среднее квадратическое отношение насыпной плотности

$$S_j = K \sqrt{\frac{\Sigma U^2 m}{\Sigma m} - \left(\frac{\Sigma U m}{\Sigma m} \right)^2} = 20 \sqrt{\frac{431}{150} - \left(\frac{-89}{150} \right)^2} = 32 \text{ кг/м}^3. \quad (12.20)$$

Коэффициент вариации насыпной плотности определяют по формуле:

$$V_j = \frac{S_j}{\gamma_{\text{ср}}} 100 = \frac{32}{513} 100 = 6,2. \quad (12.21)$$

Отвешивают 250—300 г безводного сернокислого натрия или 700—1000 г кристаллического сернокислого натрия и растворяют в 1 дм³ подогретой дистиллированной воды путем постепенного добавления сернокислого натрия при тщательном перемешивании до насыщения раствора. Раствор охлаждают до комнатной температуры и проверяют ареометром его плотность, которая должна быть в пределах 1150—1170 кг/м³. Если плотность раствора меньше 1150 или больше 1170 кг/м³, то добавляют соответственно сернокислый натрий или дистиллированную воду. Приготовленный раствор сливают в бутылку и хранят, не взбалтывая, в течение 48 ч.

Контейнер с навеской заполнителя погружают в ванну с раствором сернокислого натрия так, чтобы заполнитель был погружен полностью в раствор. Пробу выдерживают в растворе при комнатной температуре в течение 18 ч. Затем контейнер с заполнителем вынимают из ванны, дают стечь раствору и помещают на 4 ч в сушильный электрошкаф, в котором поддерживают температуру 105—110°C. После этого материал охлаждают до комнатной температуры.

В указанной последовательности операцию насыщения заполнителя раствором сернокислого натрия и высушивания повторяют три раза. Затем навеску заполнителя промывают горячей водой (для удаления сернокислого натрия), высушивают и рассеивают на сите с отверстиями, соответствующими минимальному размеру испытываемой фракции. Остаток на сите взвешивают.

Потери массы $M_{сн}$ вычисляют по формуле, %

$$M_{сн} = [g_1 - g_2/g_1] 100, \quad (12.24)$$

где g_1 — навеска заполнителя до испытания, г; g_2 — масса остатка на сите после испытания, г.

Определение содержания слабообожженных частиц в пористом керамзитовом песке

От средней пробы сырьевой глинистой крошки, используемой для производства пористого песка, отбирают пробу объемом 0,5 дм³, помещают в фарфоровую чашу и прокаливают в печи при температуре 450—500°C в течение 1 ч. Прокаленную пробу измельчают до полного прохождения через сито с ячейками 0,315 мм и отсеивают фракцию 0,14—0,315 мм, используемую для испытания.

От партии испытываемого песка отбирают среднюю пробу объемом 2 дм³, от которой методом квартования отбирают две части пробы в объеме 0,2 и 1 дм³, используемые в дальнейшем соответственно для определения содержания слабообожженных частиц и построения градуировочного графика.

Пробу объемом 0,2 дм³ высушивают до постоянной массы в электрошкафу при температуре 105—110°C. Пробу объемом 1 дм³

помещают в фарфоровую чашу и прокаливают в печи при температуре 900°C в течение 1 ч.

После термообработки обе пробы измельчают по отдельности в фарфоровой ступке до полного прохождения через сито с ячейками 0,315 мм и из каждой пробы выделяют фракции 0,14—0,315 мм, предназначенные для испытаний.

Пробу песка, прокаленную при 900°C, разделяют на 8 частей, в каждую из них добавляют соответственно 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10% по массе глинистого сырья, прокаленного при температуре 450—500°C, и тщательно перемешивают. Затем от каждой из приготовленных смесей отбирают навеску по 2 г, помещают в градуированные пробирки и заливают 0,05%-ным раствором метиленового синего до отметки 50 мл.

Содержимое всех пробирок взбалтывают в течение 5 мин и оставляют отстаиваться на 24 ч. После отстаивания по показаниям фотоэлектрического колориметра определяют оптическую плотность раствора в каждой пробирке.

По показаниям восьми определений оптической плотности строят градуировочный график зависимости оптической плотности эталонных растворов от содержания слабообожженных частиц песка в процентах.

Из пробы песка, высушенного до постоянной массы, отбирают три навески по 2 г, помещают в стеклянные пробирки и заливают 0,05%-ным раствором метиленового синего до отметки 50 мл. После отстаивания по показаниям фотоэлектрического колориметра определяют оптическую плотность раствора в каждой пробирке.

По показаниям трех определений оптической плотности растворов с испытываемым песком вычисляют среднее арифметическое значение величины оптической плотности.

Среднее арифметическое значение оптической плотности раствора с испытываемым песком откладывают на оси ординат градуировочного графика; из полученной точки проводят линию, параллельную оси абсцисс до пересечения с эталонной кривой; из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс и получают точку, характеризующую содержание слабообожженных частиц пористого песка в процентах.

Определение теплопроводности искусственных пористых заполнителей (по ГОСТ 7076—78). Теплопроводность определяют по трем пробам пористого заполнителя. Отобранные пробы помещают в

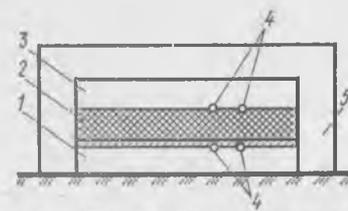


Рис. 12.4. Схема установки для определения теплопроводности пористого заполнителя. 1, 3 — термостатированные плиты; 2 — образец; 4 — термометры; 5 — теплоизолирующий кожух

рамку, размер которой 250×250×50 мм, изготовленную из асбестового картона или керамики. Плотность пробы, уложенной в рамку, должна быть равномерной по всему объему и соответствовать средней насыпной плотности испытуемого заполнителя, высушенного до постоянной массы при температуре 105—110°C. Схема установки для определения теплопроводности представлена на рис. 12.4. При испытании пористых заполнителей поток тепла следует направлять сверху вниз. Через 2 ч после включения установки каждые 30 мин производят измерение тепломера, а по окончании испытания снимают показания термопар и установку выключают.

Теплопроводность λ , Вт/(м·°C), вычисляют по соответствующей зависимости и относят к температуре испытаний, вычисленной по формуле

$$t = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / 2, \quad (12.25)$$

где $t_{\text{в}}$ — температуры верхней и нижней поверхности заполнителя, °C; $t_{\text{н}}$ — температура испытаний, °C.

ГЛАВА 13. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Проектирование предприятий в СССР осуществляется в соответствии со СНиП 1.02.01—85. Согласно утвержденным нормативным документам, передаваемый заказчиком проектной организации отчет НИИ или технологический регламент производства должен содержать:

полную характеристику сырья (химический и гранулометрический составы, физико-механические свойства, включая размокаемость, размалываемость, наличие включений);

при использовании в качестве сырья отходов промышленности — результаты их исследований в течение длительного времени, в том числе допускаемые технологией производства граничные характеристики отходов, экспресс-методы и приборы для их определения;

технологическую схему производства, учитывающую его полную механизацию и максимальную автоматизацию; сведения о патентной чистоте;

результаты полузаводских испытаний сырья или отходов;

состав шихты, расходы топлива, воды, пара, сырья, сжатого воздуха или методику их расчета, способ усреднения сырья;

рекомендуемое основное оборудование и его производительность на данном сырье;

для обжигового оборудования — рекомендуемый вид топлива и условия его сжигания, температурный режим процесса, температуру и полный состав отходящих газов; содержание пыли в отходящих

газах и ее гранулометрический состав; рекомендации по очистке газов и улавливанию пыли, по использованию отходящих газов и пыли;

полную характеристику заполнителей и бетонов на их основе (состав, плотность, термостойкость, марку по прочности);

физико-механические характеристики полуфабриката и продукции по отдельным переделам технологического процесса (влажность, плотность, прочность, гранулометрический состав, угол естественного откоса для сыпучих материалов, угол внутреннего трения для связанных материалов, абразивность);

вид рекомендуемых добавок, соответствие их ГОСТам и ТУ или полная их характеристика; условия получения, хранения и ввода добавок;

данные о выделяемых вредностях по переделам производства, рекомендации по их локализации и очистке;

требования к технологической воде и рекомендации по оборотному водоснабжению, составу стоков;

рекомендации по использованию вторичных тепловых ресурсов; параметры технологического процесса, подлежащие контролю и автоматическому регулированию; операции, требующие промышленного телевидения;

требуемое лабораторное оборудование;

рекомендуемую антикоррозионную защиту и виды стойких материалов при наличии агрессивной среды;

ориентировочные технико-экономические показатели производства, его материалоемкость и энергоемкость и их соответствие уровню передовых отечественных и зарубежных предприятий.

13.1. НОРМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Разработку норм технологического проектирования и их пересмотр осуществляют в соответствии с Инструкцией СН 470-75*.

Проектирование предприятий по производству керамзитовых гравия и песка осуществляют в соответствии с нормами технологического проектирования ОНТП 11—81.

При отсутствии норм технологического проектирования основные показатели и параметры принимают по типовым проектам или проектам с прогрессивной технологией предприятий по производству аналогичных пористых заполнителей.

Основные показатели материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости производства пористых заполнителей по основному производству (без учета вспомогательных цехов и местных условий) приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1. Материалоємкость, энергоємкость и трудоємкость производства искусственных пористых заполнителей

Наименование и марка по насыпной плотности заполнителя	На 1 м ³											
	Материалоємкость				Энергоємкость							
	сырье	кг	добавки	кг	технологическое топливо, кг	электроэнергия, кВт·ч	технологический пар, ГДж	энергоємкость, ГДж	Чел.-дн.	Вода, м ³	Трудоємкость, чел.-дн.	Трудоємкость, чел.-дн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12
Гравий керамзитовый 500 по пластическому способу	Глина	800	Жидкие опудривающие порошки	15	70	34	—	2,17	0,075	0,2	3300	3300
Гравий шунгизитовый 500	Щебень из шунгитовых пород	720	Опудривающие порошки	20	50	26	—	1,85	0,06	0,13	4100	4100
Песок керамзитовый 700	Гранулы подсушенные	640	—	—	120	72	—	3,78	0,09	0,2	2600	2600
Песок перлитовый вспученный 100	Перлитовое сырье 0,15—1,2 мм	115	—	—	18	5	—	0,54	0,037	0,43	6100	6100
Песок и щебень перлитовые, вспученные 300	Перлитовое сырье 1,2—5 мм	330	—	—	68	32	—	2,10	0,088	0,03	2600	2600
Щебень аглопоритовый 700 и песок из суглинков	Суглинки	720	Опилки	50	50 (60+30)	43	—	2,79	0,1	0,2	2300	2300
Щебень аглопоритовый 700 и песок из углесточков (W=8%)	Отходы углеобогащения (W=8%)	780	Глина	50	30	54	—	1,07	0,11	0,2	2100	2100

Продолжение табл. 13.1

Наименование и марка по насыпной плотности заполнителя	На 1 м ³											
	Материалоємкость				Энергоємкость							
	сырье	кг	добавки	кг	технологическое топливо, кг	электроэнергия, кВт·ч	технологический пар, ГДж	энергоємкость, ГДж	Чел.-дн.	Вода, м ³	Трудоємкость, чел.-дн.	Трудоємкость, чел.-дн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12
Аглопоритовый гравий 800 и песок из золы	Сухая зола С=10% Зольная пыльца С=10%	780 780	Суглинки То же	80 80	40 40	46 73	— —	1,34 1,43	0,077 0,093	0,2 —	3000 2500	3000 2500
Зольный гравий безобжиговый 900	Зола сухая	700	Цемент М 400	120	—	20	0,21	0,282 0,947 (с учетом энергоємкости цемента)	0,17	0,12	1400	1400
Шлаковая пемза (щебень и песок) 800	Шлаковый расплав	825	—	—	—	12—5	—	0,043—0,018	0,02	0,04	5500	5500
Гранулированный шлак мелкозернистый 1000	То же	1010	—	—	—	4	—	0,014	0,009	0,8	2500	2500

13.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Мощность предприятий по производству обжиговых заполнителей определяют суммой мощностей обжиговых агрегатов. Мощность обжигового агрегата определяют по формуле, м³/г,

$$M_{об} = TPK_nK_o, \quad (13.1)$$

где T — годовой фонд рабочего времени, ч; P — часовая паспортная или более высокая фактически достигнутая производительность агрегата при соответствующей насыпной плотности получаемого заполнителя, м³; K_n — коэффициент использования годового фонда рабочего времени; K_o — объемный коэффициент выхода продукции.

Производительность агломерационных машин определяют в соответствии с методикой, изложенной в гл. 5.

Таблица 13.2. Мощность обжиговых агрегатов для производства искусственных пористых заполнителей

Характеристика заполнителей и наименование обжиговых агрегатов	Коэффициент использования оборудования во времени	Производительность, м ³ /ч	Мощность, тыс. м ³ /г
Гравий керамзитовый 500			
Печь вращающаяся \varnothing 2,5×40	0,92	10,8	87
Агрегат СМС-197	0,92	12,4	100
Агрегат обжиговой двухбарабанный \varnothing 2,5×20+ + \varnothing 3,5×24	0,86	13,3	100
То же, \varnothing 3×24+ \varnothing 4,5×24			
Песок керамзитовый марки 600	0,92	25,0	200
Печь кипящего слоя СМС-139	0,85	6,7	50
Песок перлитовый вспученный марки 100			
Печь вертикальная СМТ-177 с печью термopодготовки СМТ-178	0,8	15	110
Печь вертикальная ПУВ-НИИСМИ	0,8	15	110
Щебень перлитовый вспученный марки 300			
Печь вращающаяся СМТ-179 с печью термopодготовки СМТ-178	0,8	3,5	25
Печь кипящего слоя	0,8	3,5	25
Щебень и песок аглопоритовые из суглинков и углеотходов марки 700			
Агломерационная машина СМС-117 (1,5×40 м) с барабанным охладителем, $U=5$ (U — вертикальная скорость спекания, мм/мин)	0,82	14	100
Агломерационная машина 2,5×60 м с чашевым охладителем $U=7$	0,82	56	400
Аглопоритовый гравий из золы марки 800			
Агломерационная машина СМС-117 без охладителя, $U=11$	0,82	21	150
Агломерационная машина типа АКМ-105 (2,5×42 м) с ленточным охладителем ОП4-125, $U=11$	0,9	76	550

Годовую мощность агломерационных машин определяют по формуле, м³/г,

$$M_{аг} = T P K_n \gamma_{ср}, \quad (13.2)$$

где P — расчетная производительность агломашин, т/ч; γ — средняя насыпная плотность продукции, соответствующая ее фракционному составу, т/м³.

В табл. 13.2 приведена примерная мощность обжиговых агрегатов.

Мощность предприятий или установок по производству шлаковой пемзы и гранулированного шлака из расплава, подаваемого шлаковозными ковшами, определяют по формуле, м³/г,

$$M_{ш} = \frac{T n \cdot V K_1 K_2 K_3 \gamma_p}{\tau \gamma_{ш}}, \quad (13.3)$$

где T — годовой фонд рабочего времени, ч; n — количество шлаковозных ковшей в одном составе (обычно 8—10); V — геометрический объем чаши шлаковозного ковша, м³; K_1 — коэффициент заполнения чаши ковша расплавом (0,80—0,85); K_2 — коэффициент опорожнения чаши (0,70—0,75); K_3 — коэффициент, учитывающий технологические потери (0,97—0,99); γ_p — плотность расплава, т/м³; $\gamma_{ш}$ — насыпная плотность продукции, т/м³; τ — периодичность поступления составов шлаковозных ковшей, ч.

13.3. РЕЖИМ РАБОТЫ

Режим работы предприятий искусственных пористых заполнителей непрерывный, круглогодичный, в три смены. Годовой фонд рабочего времени — 8760 ч. Коэффициенты использования рабочего времени основного обжигового оборудования приведены в табл. 13.2.

Для отделений приема сырья и отгрузки продукции может быть прерывный режим работы в зависимости от вместимости складов и условий поступления сырья и отгрузки продукции.

13.4. ПОДГОТОВКА И ТРАНСПОРТИРОВКА ОТХОДОВ

При проектировании предприятий по производству искусственных пористых заполнителей предусматривается максимальное использование отходов промышленности в качестве основного сырья или добавок. Технологические линии по подготовке и транспортировке отходов проектируются с учетом требований ОНТП 11—81, п. 2.6.

Данные по характеристике и рекомендуемому виду транспорта основных отходов промышленности, используемых для производства искусственных пористых заполнителей, приведены в табл. 13.3.

Таблица 13.3. Основные отходы промышленности и их транспортировка

Наименование	Плотность	Насыпная плотность	Влажность, %	Вид транспорта
	кг/м ³			
Сухая зола-унос	2300—2600	800—1100	—	Пневматический, конвейеры с погрузными скребками (КПС), автосамосвалы
Зола в зольной пульпе (Т:Ж=1:10—1:30)	2300—2600	1000—1200	—	Гидравлический
Золослаковая смесь из отвала	2400—2600	1200—1400	20—80	Автосамосвалы
Отходы гравитационного обогащения углей	2400—2800	1400—1500	6—12	Конвейерный, автосамосвалы

ГЛАВА 14. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ИХ ВИДОВ

Определяющим критерием развития промышленности пористых заполнителей является высокая экономическая эффективность их применения в легких бетонах различного назначения, в особенности высоких марок.

Использование в строительстве легких бетонов приводит к уменьшению массы конструкций по сравнению с кирпичом или тяжелым бетоном на 0,8 т на каждый 1 м³ бетона, экономии стали на 5—8 кг, а в сейсмических районах — на 15—18 кг, снижению трудовых затрат на 0,3—0,5 чел.-дн.

Технология производства отдельных видов искусственных пористых заполнителей имеет свои особенности, что соответственно отражается на показателях основных свойств. Так, средняя плотность пористых заполнителей составляет: для керамзитовых заполнителей 516, шунгизитовых — 547, аглопоритовых из глинистых пород — 612, шлакопемзовых — 756, вспученных перлитовых — 94 кг/м³. Средние показатели прочности соответственно достигают: 2,3; 1,8; 1,1 и 0,7 МПа. Вспученный перлит по прочности не регламентируется.

14.1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ТРАДИЦИОННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Производство керамзитового гравия и песка. По выпуску керамзитового гравия СССР занимает 1-е место в мире. Объем производства керамзитового гравия в 1983 г. составил 34% всего количества искусственных пористых заполнителей.

Экономическая эффективность применения керамзитобетона классов В 3,5—В 5 в наружных стенах жилых зданий по сравнению с 3-слойными стеновыми панелями составляет 60—70% от затрат на изготовление 1 м³ заполнителя, а бетона классов В 15—В 25 в панелях перекрытий по сравнению с панелями из тяжелого бетона — 20% на 1 м³ заполнителя.

Экономия приведенных затрат от использования керамзитового гравия в легких бетонах различного назначения за все годы его выпуска составила около 1,5 млрд. руб., в том числе при изготовлении конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов — 1 млрд. руб.

Изменение технико-экономического уровня производства керамзитового гравия в 1983 г. по сравнению с 1975 г. характеризуется следующими основными показателями: объем производства увеличился на 129%, количество предприятий — на 129,7, насыпная плотность (средние показатели) — 102,5, прочность (при сдавливании в цилиндре, средние показатели) — 95,8, часовая производительность обжигового оборудования — 105,4, фондовооруженность на одного работающего — 121,5, удельный расход сырья — 100, топлива — 94,5, электроэнергии — 96,3%. Лучшие показатели в отрасли достигнуты на ПО «Стройиндустрия» (г. Волжский), Волгоградском заводе ЖБИ № 1, Лианозовском заводе керамзитового гравия и Бескудниковском КСМ (г. Москва), Витебском КСМ. Наиболее экономичным и прогрессивным видом обжиговых агрегатов являются двухбарабанные вращающиеся печи. Для повышения экономической эффективности производства керамзитового гравия и применения керамзитобетонных изделий в ближайшие годы целесообразно:

1. Повысить уровень концентрации производства. Осуществить строительство новых предприятий с использованием автоматизированных технологических процессов мощностью 200 тыс. м³ в год и более.
2. Развить производство керамзита с применением двухбарабанных вращающихся печей.
3. Осуществить техническое перевооружение действующих предприятий.

4. Снизить расходы топлива до уровня передовых заводов. Внедрять новые технологические процессы с низкими удельными расходами топлива.

5. Уменьшить среднюю насыпную плотность керамзитового гравия до 400 кг/м³.

6. Улучшить использование основных производственных фондов и увеличить их отдачу в 1,5—2 раза.

Производство глинозольного керамзита. Экономическая целесообразность организации производства глинозольного керамзита обусловлена применением в качестве одной из составляющих шихты — золы ТЭС, что обеспечивает снижение затрат на сырье и топливо и дает экономию дефицитного для ряда районов хорошо вспучивающегося пластичного глинистого сырья.

Производство глинозольного керамзита осуществлено на Дубровском заводе ЖБК, Алексинском ЖБИ и Верхнетагильском комбинате стройконструкций. Показатели действующих предприятий почти не отличаются от средних в производстве керамзитового гравия.

Производство шунгизитового гравия. Одним из мероприятий по расширению сырьевой базы искусственных пористых заполнителей явилась организация производства новой продукции — гравия из шунгитовых сланцев. Выпуск шунгизитового гравия осуществлялся в 1983 г. на 14 предприятиях.

Несмотря на большие расстояния перевозок шунгитовых сланцев, производство гравия является экономически целесообразным. Экономические показатели производства шунгизитового гравия можно улучшить, совершенствуя процессы добычи и перевозки шунгита с последующим пофракционным его обжигом на предприятиях.

Производство аглопоритовых щебня и песка из глинистых пород. Аглопорит из глинистых пород изготавливают на 15 предприятиях. Техничко-экономические показатели его производства следующие: насыпная плотность — 612 кг/м³, прочность — 1,1 МПа, удельный расход сырья — 0,75 м³, условного топлива — 88,3 кг, электроэнергии — 25,2 кВт·ч.

Показатели, достигнутые на лучших заводах, свидетельствуют о наличии существенных резервов в указанном производстве. Так, на Алмалыкском, Бухарском и Минском заводах уровень выработки в 1,5—2 раза превосходит среднеотраслевой. Для совершенствования работы действующих предприятий аглопоритовых щебня и песка из глинистых пород следует улучшить переработку сырья, подготовку топлива и наладить обогащение (рассев) аглопоритового щебня по фракциям.

Производство аглопоритовых щебня и песка из отходов углеобогащения. Ежегодный выход отходов углеобогащения достиг поряд-

ка 100 млн. м³. Для складирования отходов в отвалы ежегодно используется более 1100 га земли. Ежегодные народнохозяйственные затраты на удаление и складирование этих отходов, а также организацию отвалов составляют десятки миллионов рублей.

Организация производства аглопоритовых щебня и песка из углеотходов дает возможность расширить сырьевую базу искусственных пористых заполнителей, значительно снизить топливную емкость производства этих заполнителей, сохранить природные богатства и рационально использовать земельные ресурсы, сократить затраты на транспортирование и складирование отходов и снизить затраты углеобогажительных фабрик (УОФ) на 1 т угольного концентрата.

В соответствии с проработками проектных организаций оптимальная мощность предприятий по производству аглопоритового щебня из отходов УОФ может быть рекомендована в пределах от 300 до 600 тыс. м³ щебня в год.

По расчетам Южгипрострома (Минстройматериалов СССР), только на базе углеотходов Печорского, Карагандинского, Экибастузского, Южно-Якутского и Канско-Ачинского угольных бассейнов возможно организовать производство аглопорита в объеме более 2 млн. м³ в год и получить экономический эффект в сумме 6—8 млн. руб. Техничко-экономические данные производства аглопорита из отходов УОФ приведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1. Расчетные технико-экономические показатели производства аглопорита из отходов углеобогащения

Показатели	Цех мощностью	Цех мощностью
	300 тыс. м ³ в год	600 тыс. м ³ в год
Среднегодовая мощность одного предприятия, тыс. м ³	300	600
Насыпная плотность, кг/м ³	400—800	400—800
Прочность при сдвигании в цилиндре, МПа	0,3—1,0	0,3—1,0
Удельный расход материальных ресурсов: сырьем, кг		
топлива, кг усл. топлива	86	86
электроэнергии, кВт·ч	25—30	25—30
	58	73

Производство аглопоритового гравия из золы тепловых электростанций (ТЭС). Первое в мире действующее предприятие по производству аглопоритовых гравия и песка из зольной пульпы Молдавской ТЭС построено в пос. Днестровском Молдавской ССР. Годовая мощность завода — 300 тыс. м³, удельный расход топлива 35 кг/м³ заполнителя.

Производство щебня и песка из шлаковой пемзы. Технологический процесс изготовления шлаковой пемзы несложен, себестоимость в 4—5 раз меньше, чем при получении других искусственных заполнителей. Производительность труда на одного работающего в 3 раза превышает средние показатели по отрасли. Приведем основные тех-

нико-экономические показатели производства шлаковой пемзы за 1983 г.

Показатели	Шлаковая пемза
Среднегодовая мощность одного предприятия, тыс. м ³	360
Производительность труда одного работающего, м ³	3365
Насыпная плотность, кг/м ³	756
Удельный расход материальных ресурсов:	
сырье, м ³	0,70
электроэнергия, кВт·ч	5,6

Мощность предприятий колеблется от 200 тыс. м³ (трест «Магнитострой») до 1098 тыс. м³ (завод «Азовсталь»).

Одно из важных преимуществ шлаковой пемзы по сравнению с другими искусственными пористыми заполнителями состоит в полном отсутствии в процессе производства расходов технологического топлива. Для повышения эффективности производства и улучшения качества шлаковой пемзы необходимо:

развивать производство на предприятиях с применением гидроэкранных способов мощностью 400—600 тыс. м³ в год;

улучшить качество шлакопемзового щебня путем регулирования процесса охлаждения поризованной массы, предварительной окатки и рассева заполнителя, уменьшения его насыпной плотности и повышения прочности зерен;

пересмотреть нормативную документацию изделий и конструкций, получаемых на основе шлакопемзобетона, расширить их номенклатуру.

Производство вспученных перлитовых песка и щебня. По объему производства вспученного перлита СССР занимает 2-е место в мире. В 1983 г. выпуск вспученного перлита составил более 2 млн. м³. Основным преимуществом вспученного перлита как заполнителя для бетона является его низкая насыпная плотность, которая изменяется по отдельным заводам в пределах от 70 до 300 кг/м³. Применение перлитового песка в сочетании с крупными фракциями других более тяжелых искусственных заполнителей снижает среднюю плотность бетонов на 200—300 кг/м³, что дает экономический эффект как в производстве легкобетонных изделий, так и в строительстве. Рассмотрим основные технико-экономические показатели производства вспученных перлитовых песка и щебня за 1983 г.

Показатели	Перлитовые песок и щебень
Объем производства, тыс. м ³	2086,0
Насыпная плотность (средние показатели), кг/м ³	94,0
Удельный расход материальных ресурсов:	
сырье, м ³	0,10
топливо, кг усл. топлива	33,8
электроэнергия, кВт·ч	15,4

Основными путями повышения эффективности производства и применения вспученных перлитовых песка и щебня для бетонов яв-

ляются: строительство предприятий с использованием в качестве обжиговых агрегатов вращающихся печей или печей «кипящего слоя»; освоение и развитие производства крупномодульного перлитового песка с насыпной плотностью 300 кг/м³ и вспученного щебня; применение для обжига фракционированного сырья; вовлечение в эксплуатацию новых месторождений перлитового сырья.

Производство пористых заполнителей из опаловых пород. Ряд областей страны испытывает дефицит в заполнителях, пригодных для изготовления несущих бетонных конструкций. В число таких экономических районов входят Северо-Западный, Центральный, Центрально-Черноземный, Волго-Вятский, Поволжский, Уральский, Казахстанский, Прибалтийский. Указанные районы вынуждены перевозить инертные заполнители из отдаленных областей страны. Так, доставка более 100 млн. м³ гранитного и подобных видов щебня производится на расстояние 500—1000 км, а около 25 млн. м³ перевозятся ежегодно на расстояние более 1000 км. Это вызывает значительные капитальные вложения в подвижной состав и требует больших эксплуатационных расходов. В настоящее время межобластные перевозки щебня и гравия только в РСФСР превысили 50 млн. м³.

Перспективным видом минерального сырья, пригодным для изготовления заполнителей для высокопрочных легких бетонов классов В10—В40 (табл. 14.2), являются кремнистые опаловые породы (трепел, диатомит, опока). Эти породы широко распространены в нашей стране, особенно в Европейской части.

Таблица 14.2. Основные технико-экономические показатели предприятий по производству искусственных пористых заполнителей из кремнистых опаловых пород за 1983 г.

Показатели	Орловский завод «Стройиндустрия»	Шадринский завод керамзитобетонных изделий
Насыпная плотность (средние показатели), кг/м ³	600—800	—
Прочность при сдавливании в цилиндре (средние показатели), МПа	3,3	4,1
Удельный расход материальных ресурсов:		
сырье, м ³	0,75	0,71
топливо, кг усл. топлива	98,0	95,8
электроэнергия, кВт·ч	14,6	13,5

Величина прогнозируемого экономического эффекта в расчете на полный объем производства и применения искусственных пористых заполнителей из обожженных кремнистых пород превышает 4,0 млн. руб.

14.2. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НОВЫХ ВИДОВ ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Наряду с традиционными пористыми заполнителями должны получить широкое распространение такие заполнители, как аглопоритовый гравий из зол ТЭС, аглопоритовый щебень из топливосодержащих отходов углеобогащения, глинозольный керамзит, вспученные трепел, опока, диатомит, пористые пески, изготавливаемые обжигом в печах «кипящего слоя».

Важнейшими предпосылками для развития производства новых видов заполнителей являются: расширение сырьевой базы и номенклатуры выпускаемых заполнителей: организация выпуска заполнителей с заданными свойствами (повышенная прочность, особолегкие, стойкие к агрессивным воздействиям), необходимых для изготовления специальных видов бетонов; сохранение природных богатств страны в результате использования промышленных отходов; возможность организации производства в районах, применяющих привозные заполнители; расширение легкобетонного строительства.

14.3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Потребность в легких бетонах в нашей стране постоянно возрастает. Так, если их доля в общем объеме сборного железобетона в 1980 г. составляла 20%, то к 2000 г. она значительно возрастет.

Опережающими темпами намечается развитие производства искусственных заполнителей в осваиваемых районах Сибири, Дальнего Востока, Средней Азии. Рост объема производства на действующих предприятиях будет осуществляться за счет их расширения, реконструкции и технического перевооружения.

Для полного покрытия потребности объем производства искусственных пористых заполнителей к 2000 г. значительно превысит существующий.

Основное направление в развитии производства искусственных пористых заполнителей — широкое использование промышленных отходов и, в первую очередь, — зол и шлаков ТЭС, отходов обогащения угля, металлургического, химического и других производств.

Развитие промышленного производства аглопоритовых гравия и щебня из зол ТЭС, отходов углеобогащения, щебня и песка из шлаковой пемзы и глинозольного керамзита в районах расположения их сырьевых ресурсов позволит значительно повысить социально-эконо-

Таблица 14.3. Размещение предприятий искусственных пористых заполнителей

Исходное сырье	Вид заполнителя	Расположение предприятий и виды производства
Хорошо вспучивающиеся глинистые породы	Керамзитовые гравий, щебень и песок	Строительство предприятий в районах месторождений высокопучиваемых глинистых пород
Слабо вспучивающиеся глинистые породы	Аглопоритовые щебень и песок	Строительство предприятий в районах расположения слабопучиваемых глинистых пород
Кремнистые опаловые породы	Обоженные трепел, диатомит, опока	Строительство предприятий в районах расположения кремнистых опаловых пород
Перлит и другие водосодержащие вулканические горные породы	Вспученные перлитовые щебень и песок	Строительство предприятий в районах с экономически обоснованными расстояниями перевозок на районов добычи пород
Зона от пылеватого сжигания углей, отходы углеобогащения	Аглопоритовые гравий, щебень и песок из отходов ТЭС и УОФ	Строительство предприятий и цехов в районах расположения углеобогатительных фабрик и ТЭС
Шлаки металлургические и химического производства	Щебень и песок из шлаковой пемзы доменных и фосфорных шлаков	Строительство предприятий и цехов при металлургических и химических заводах

мическую эффективность в подотрасли и во многом будет способствовать решению комплекса таких коренных народнохозяйственных проблем, как: экономное использование природного сырья; сокращение выбросов промышленных отходов в отвалы — организация безотходных производств, возвращение в сельскохозяйственный оборот земель, занимаемых под отвалы; снижение стоимости конструкций и повышение эффективности строительства; рациональное использование и сокращение топливно-энергетических ресурсов; сокращение транспортных издержек на перевозку заполнителей на дальние расстояния; снижение эксплуатационных затрат на объектах энергетической, угольной, металлургической и химической промышленности.

Рекомендации об экономически целесообразном размещении предприятий по производству искусственных пористых заполнителей приведены в табл. 14.3.

Согласно имеющимся решениям по вопросу повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в народном хозяйстве в ближайшей перспективе определено обеспечить на предприятиях, расположенных в районах со значительными ресурсами золы ТЭС и отходов добычи и обогащения угля, производство пористых заполнителей и керамических стеновых материалов с использованием промышленных отходов и довести выпуск этой продукции до 100% общего его производства в указанных районах, имея в виду снизить за счет этого расход топлива на производство на 50—70%.

Эффективное использование пористых заполнителей предусматривает также гармоничное сочетание крупного (щебень, гравий) и мелкого (песок) заполнителей. Потребность в пористом песке составит на 1990 г. 30% от общего количества заполнителей крупных фракций.

К 2000 г. намечено создать новое направление подотрасли — производство искусственных заполнителей из промышленных отходов. Наибольшее количество заполнителей из отходов будет выпускаться в Западной Сибири, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, в Центральном районе, Казахстане.

В районах Поволжья, Белоруссии и Закавказья пористые заполнители будут изготавливаться в основном на базе природного сырья.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ИСКУССТВЕННЫМ ПОРИСТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЯМ И СЫРЬЮ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

ГОСТ 9757—83 Заполнители пористые неорганические для легких бетонов. Общие технические условия.

ГОСТ 25137—82 Материалы нерудные строительные, щебень и песок плотные из отходов промышленности, заполнители для бетона пористые. Классификация.

ГОСТ 10832—83 Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия.

ГОСТ 9759—83 Гравий и песок керамзитовые. Технические условия.

ГОСТ 11991—83 Щебень и песок аглопоритовые. Технические условия.

ГОСТ 19345—83 Гравий и песок шунгизитовые. Технические условия

ГОСТ 19221—83 Щебень из шунгитосодержащих пород для производства шунгизита. Технические условия.

ГОСТ 25592—83 Смесь золошлаковая тепловых электростанций для бетона. Технические условия.

ГОСТ 25226—82 Сырье перлитовое для производства вспученного перлита. Технические условия.

ГОСТ 25264—82 Сырье глинистое для производства керамзитового гравия и песка. Технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 22263—76 Щебень и песок из пористых горных пород. Технические условия.

ГОСТ 9758—77 Заполнители пористые неорганические для бетона. Методы испытаний.

ГОСТ 9760—75 Щебень и песок пористые из металлургического шлака (шлаковая пемза).

ГОСТ 12865—67 Вермикулит вспученный.

ОСТ 34-70-542-81 Зола-унос тепловых электростанций основных месторождений топлива. Физико-химические свойства.

TU 479-126-73 Щебневидный керамзит.

TU 21 УССР 42-76 Щебень и песок из опоки.

TU 21-31-13-76 Аглопоритовый гравий из золы-уноса тепловых электростанций (ТЭС). Технические условия.

TU 21 МССР-81 Гравий, щебень и песок золоаглопоритовые из золы-уноса Молдавской ГРЭС. Технические условия.

TU 21-31-2-82 Зола тепловых электростанций как сырье для производства аглопоритового гравия, керамических кирпича и камней. Технические условия.

TU 21-81-29-80 Гравий и щебень термолитовые. Технические условия

РТУ 6012-65 Золошлаковые отходы ТЭС для производства зольного гравия. Технические условия.

РСТ ТССР 1-74 Щебень и песок из аргиллитов для производства пористых заполнителей.

Инструкция по текущему статистическому контролю качества керамзитового гравия в процессе его производства. — М.: НИИКерамзит, 1974.

Инструкция по опудриванию сырьевых гранул керамзитового гравия с целью уменьшения его объемной массы. — М.: НИИКерамзит, 1972.

Методические рекомендации по технологической оценке и испытанию шахтных пород Донбасса как сырья для производства керамзита. — М.: НИИКерамзит, 1982.

Рекомендации по технологии производства искусственного пористого заполнителя из трепельных пород. — М.: Госстрой СССР, 1978.

Технические условия на отходы углеобогащения как исходное сырье для производства аглопоритового щебня и песка. — М.: Минуглепром СССР, 1974.

Технологический регламент для проектирования установок (предприятий) по производству аглопорита из отходов углеобогащения. — М.: Минуглепром СССР, 1980.

Указания по испытанию глинистого сырья для производства керамзитового гравия и песка. — М.: ВНИИстром, НИИКерамзит, 1980.

Указания по испытанию зол ТЭС и глинистого сырья для производства глинозольного керамзита. — М.: НИИКерамзит, 1974.

Указания по технологии добычи золы из золоотвалов ТЭС для производства глинозольного керамзита. — М.: НИИКерамзит, 1978.

Указания по испытанию золы ТЭС для производства аглопоритового гравия. — М.: ВНИИстром, 1971.

Указания по технологии производства термолита из опок для конструктивных легких бетонов. Куйбышев, 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Общие сведения об искусственных пористых заполнителях	4
1.1. Классификация и свойства искусственных пористых заполнителей	4
1.2. Топливосодержащие отходы	13
1.3. Природное сырье для производства искусственных пористых заполнителей	15
Глава 2. Топливо и его сжигание	17
2.1. Характеристика топлива	17
Теплота сгорания топлива и формулы для пересчета его показателей с одной массы на другую	17
Характеристики твердых топлив	18
Характеристики жидкого и газообразного топлива	20
2.2. Горение топлива	21
Количество воздуха, необходимого для горения топлива	21
Состав и количество газообразных продуктов сгорания топлива	22
Энтальпия продуктов сгорания топлива	23
Топливоснабжение технологических тепловых агрегатов	24
Топливосжигающие устройства	24
2.2. Контроль качества топлива	24
Глава 3. Добыча ископаемого сырья для производства искусственных пористых заполнителей и его транспортирование	25
3.1. Добыча глинистых пород	25
Способы и содержание работ	25
Характеристики вскрышных пород и полезного ископаемого	26
3.2. Транспортирование ископаемого сырья	28
Перевозка сырья и вскрышных пород автомобильным транспортом	29
Перевозка сырья железнодорожным транспортом	29
Глава 4. Керамзитовые гравий и песок	29
4.1. Исходное сырье и корректирующие добавки	29
4.2. Производство керамзита	31
4.3. Обжиговый агрегат с кольцевой печью для производства керамзита в неподвижном монослое	66
4.4. Производство искусственных пористых заполнителей из шунгитосодержащих пород	75
Свойства сырья для производства шунгизитовых гравия и песка	75
Технологическая схема производства шунгизитовых гравия и песка	76
Технико-экономические показатели производства шунгизитового гравия	77
4.5. Глинозольные керамзитовые гравий и песок	77
Химический состав исходных материалов	77
Технические требования к исходным сырьевым материалам	78
Методы испытаний	79

Физико-химические процессы вспучивания глинозольных гранул	79
Технология производства глинозольного керамзита	80
Физико-технические свойства глинозольных керамзитовых гравия и песка	80
4.6. Безобжиговый зольный гравий	81
Глава 5. Производство аглопоритового щебня, гравия и песка из глинистых пород, отходов углеобогащения и золы ТЭС	83
5.1. Свойства аглопоритового щебня, гравия и песка	83
5.2. Требования к аглопоритовым щебню, гравию и песку	84
5.3. Сырье для производства аглопоритовых щебня и гравия	85
5.4. Испытания сырья для производства аглопоритовых щебня и гравия	87
Определение химического состава и физико-механических свойств исходного сырья	87
Аппаратура для проведения технологических испытаний сырья	89
Подготовка сырьевых материалов к спеканию	89
Спекание шихты и сырцовых гранул	93
5.5. Технология производства аглопоритовых щебня, гравия и песка	96
Основные физико-химические процессы образования пористой структуры аглопоритовых гравия и щебня	98
Подготовка сырьевых материалов	100
Дозирование и смешивание составляющих шихты, грануляция и укладка шихты	103
Термическая обработка шихты	109
Охлаждение аглопорита	115
Дробление и рассев аглопорита	116
5.6. Контроль технологии производства аглопоритовых щебня и гравия	116
5.7. Оборудование для производства аглопоритовых щебня и гравия	121
5.8. Расчет производительности агломерационной машины	122
5.9. Теплотехнический расчет агломерационной машины	123
Исходные данные	124
Глава 6. Производство пористых щебня и песка (шлаковой пемзы) из расплава шлака	131
6.1. Свойства расплава доменных шлаков	131
Химический состав и структура	132
Вязкость	132
Поверхностное натяжение	133
Кристаллизационные свойства	133
Газовая фаза	133
Силикатный распад доменных шлаков	133
6.2. Производство шлаковой пемзы	133
Поризация шлаковых расплавов	133
Способы производства	134
6.3. Свойства шлаковой пемзы	141
6.4. Легкие бетоны на шлаковой пемзе	144
Конструкционно-теплоизоляционный бетон	144
Конструкционный шлакопемзобетон	146

Глава 7. Производство искусственных пористых заполнителей из водосодержащих стекловатных пород	148
7.1. Требования к сырью для производства вспученного перлитового заполнителя	148
7.2. Технологические схемы производства вспученного перлита	151
7.3. Термическая обработка перлита	151
7.4. Контроль производства вспученного перлита	159
Глава 8. Производство термолита	161
8.1. Требования к сырью для производства термолита	161
8.2. Технологические схемы производства термолита	165
8.3. Требования к физико-механическим свойствам термолита	169
8.4. Контроль производства термолитовых гравия и щебня	169
8.5. Легкие бетоны на основе термолита	172
8.6. Экономическая эффективность организации производства и применения термолита	172
Глава 9. Производство керамзитового песка	175
9.1. Методы испытания сырья и готового продукта	176
9.2. Технология производства керамзитового песка	180
Глава 10. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях	188
10.1. Общие сведения, классификация и основные виды легких бетонов	188
10.2. Основные свойства легких бетонов и их связь со свойствами пористых заполнителей	193
Плотность и прочность	193
Прочностные и деформативные свойства	197
Теплофизические свойства	200
Стойкость	203
10.3. Требования к пористым заполнителям для легких бетонов различного назначения	206
10.4. Проектирование составов легких бетонов	213
Общие положения	213
Проектирование составов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов	213
Расчет и назначение составов конструкционных легких бетонов	217
Глава 11. Производственное оборудование	220
11.1. Дробильное и сортировочное оборудование	220
Щековые дробилки	220
Конусные дробилки	220
Молотковые и роторные дробилки	220
Валковые дробилки	225
Грохоты для механической сортировки	225
Передвижные дробильно-сортировочные установки (ПДСУ)	228
11.2. Оборудование для внутрицехового транспорта	228
Конвейеры ленточные	228
Конвейеры пластинчатые	231
Конвейеры винтовые	232
Конвейеры скребковые с погружными скребками	232
Ковшовые элеваторы	234
Установки пневматического транспорта	235
Электротали, краны подвесные однобалочные и мостовые	237

11.3. Питатели, объемные дозаторы, весы и бункера	240
Пластинчатые питатели и ящичные подаватели	240
Глинорыхлитель	242
Питатели ленточные	242
Тарельчатые питатели	242
Питатели (дозаторы) ячейковые	243
Дозаторы весовые непрерывного действия	243
Весы	245
Оборудование для непрерывного учета выпуска и отпуска потребителям пористого заполнителя	246
Бункера и затворы	246
11.4. Оборудование для приготовления, транспортирования и обезвоживания зооглиняных суспензий	248
Ножевые глинорезки	248
Мельницы для мокрого измельчения глинистых материалов	249
Пропеллерные (винтовые) мешалки	249
Установка непрерывного действия для приготовления глиняной суспензии	250
Радиальный сгуститель	250
Насосы	251
Вакуум-фильтры дисковые	251
11.5. Смесительное и формовочное оборудование	252
Лопастные двухвальные смесители	252
Вальцы дырчатые для формования гранул	253
Формование сырьевых гранул на ленточных прессах	253
Тарельчатые грануляторы	253
11.6. Оборудование для очистки воздуха и газов от пыли и тягодутьевые машины	254
11.7. Погрузочно-разгрузочное оборудование	259
11.8. Эксплуатация и ремонт оборудования	262
Испытание оборудования и сдача его в эксплуатацию	262
Эксплуатация оборудования	262
Техническое обслуживание оборудования	263
Ремонт оборудования	263
Глава 12. Испытание пористых заполнителей	267
12.1. Подготовка и отбор проб искусственного пористого заполнителя	267
12.2. Испытания искусственных пористых заполнителей	268
Определение прочности пористого заполнителя	269
Определение зернового состава заполнителя	270
Определение морозостойкости крупного пористого заполнителя	271
Определение влажности пористого заполнителя	271
Определение коэффициента формы зерен крупного пористого заполнителя	272
Определение водопоглощения крупных пористых заполнителей	272
Определение стойкости крупного заполнителя против силикатного распада	273
Определение стойкости пористого заполнителя против железистого распада	273
Определение количества расколотых зерен в заполнителях гравиеподобной формы	274
Определение потери массы крупного заполнителя при кипячении	274

Определение содержания сернистых и сернокислых соединений в заполнителе	275
Определение потери массы при прокаливании заполнителя	276
Определение показателя неоднородности (коэффициента вариации) по насыпной плотности и прочности	276
Определение коэффициента размягчения крупного пористого заполнителя	279
Определение объема межзерновых пустот в гравии или щебне	279
Определение стойкости заполнителя в растворе сернокислого натрия	279
Определение содержания слабообожженных частиц в пористом керамзитовом песке	280
Глава 13. Основы проектирования предприятий по производству искусственных пористых заполнителей	282
13.1. Нормы технологического проектирования	283
13.2. Определение производственной мощности предприятия	286
13.3. Режим работы	287
13.4. Подготовка и транспортировка отходов	287
Глава 14. Сравнительная технико-экономическая эффективность производства искусственных пористых заполнителей и перспективы развития отдельных их видов	288
14.1. Эффективность производства отдельных видов традиционных искусственных пористых заполнителей	289
14.2. Сравнительные технико-экономические показатели новых видов искусственных пористых заполнителей	294
14.3. Основные направления развития производства искусственных пористых заполнителей	294
Приложение. Перечень нормативных документов по искусственным пористым заполнителям и сырью для их производства	296

Справочник специалиста

Савва Григорьевич Васильков
Степан Пантелеевич Онацкий
Марк Петрович Элинзон и др.

**ИСКУССТВЕННЫЕ ПОРИСТЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ
И ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

Редакция литературы по строительным материалам и конструкциям

Зав. редакцией *И. Х. Наназашвили*
Редакторы *Е. А. Волкова, Э. С. Шестопалова*
Технический редактор *Г. Н. Орлова*
Корректор *Е. А. Степанова*

ИБ № 3011

Сдано в набор 25.07.86. Подписано в печать 27.01.87. Т-06441
Формат 80×108/32 Бумага книжно-журнальная Гарнитура «Литературная»
Печать высокая Усл. печ. л. 15,96 Усл. кр.-отг. 16,17 Уч.-изд. л. 20,93
Тираж 13000 экз. Изд. № АХ—9615 Заказ 303 Цена 1 р. 20 к.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли, 142110, г. Подольск, ул. Кирова, д. 25