



Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов

ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНА

Методические указания к выполнению практических работ
для обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 Строительство, профиль «Производство и применение
строительных материалов, изделий и конструкций»

Составители:
С.И. Баженова, О.Ю. Баженова

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2017

Москва
2017

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 691
ББК 38.3
330

Рецензент — кандидат технических наук, доцент *М.Г. Бруяко*,
доцент кафедры ТВВиБ НИУ МГСУ;
кандидат технических наук *А.Д. Жуков*, доцент кафедры СМ НИУ МГСУ

330 **Заполнители для бетона** [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению практических работ для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / сост. : С.И. Баженова, О.Ю. Баженова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т, каф. технологии вяжущих веществ и бетонов. — Электрон. дан. и прогр. (0,64 Мб). — Москва : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2017. — Режим доступа: http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS. — Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены сведения об источниках сырья для получения заполнителей, технологии их производства. Уделено внимание более доступным и дешевым заполнителям, а также производству их из местного сырья и отходов промышленности. Дан список рекомендуемой учебной и научной литературы.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2017

Редактор, корректор *В.К. Чупрова*
Компьютерная верстка *О.В. Суховой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2007, ПО Adobe Reader

Подписано к использованию 12.09.2017 г. Объем данных 0,64 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ—МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1. ЗАПОЛНИТЕЛИ ИЗ ПРИРОДНЫХ ПЛОТНЫХ КАМЕННЫХ ПОРОД	6
1.1. Сырьевая база.....	6
1.2. Классификация заполнителей.....	9
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОИЗВОДСТВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ	13
2.1. Общие принципы и положения	13
2.2. Выбор и обоснование технологической схемы	15
2.2.1. Производство щебня, гравия и песка.....	15
2.2.2. Приготовление дробленого песка	16
2.2.3. Алгоритм добычи каменного бута и производство щебня	17
2.2.4. Производство искусственных пористых заполнителей	19
2.3. Производство заполнителей из плотных горных пород.....	20
2.3.1. Расчет эффективности грохочения и выхода продуктов	20
2.3.2. Расчет качественно-количественной схемы	21
2.4. Производство искусственных пористых заполнителей.....	26
2.4.1. Расчет мощности предприятия и обжиговых агрегатов	26
2.4.2. Расчет производительности по переделам производства	28
3. ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ	30
3.1. Пример технологических расчетов дробильно-сортировочного узла.....	30
3.2. Пример технологических расчетов цеха керамического гравия	34
4. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	36

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данные методические указания к выполнению практических работ составлены в соответствии с дисциплиной «Технология заполнителей бетона» для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

Методические указания предназначены для освоения студентами технологических схем производства инертных заполнителей для бетона (песка, щебня, пористых заполнителей) различного происхождения и назначения. Освоение студентами данного курса практических работ позволит получить практические навыки, необходимые инженеру-технологу при работе на предприятиях по производству строительных материалов и изделий.

В методических указаниях рассмотрены сведения об источниках сырья для получения заполнителей, технологии их производства; технологические требования к заполнителям.

Уделяется внимание более доступным и дешевым заполнителям, а также производству их из местного сырья и отходов промышленности. Рассматриваются основные вопросы снижения материалоемкости, экономии топливноэнергетических ресурсов и повышения качества заполнителей.

Приведены методы и порядок расчетов с примерами при разработке технологии производства плотных и искусственных пористых заполнителей.

1. ЗАПОЛНИТЕЛИ ИЗ ПРИРОДНЫХ ПЛОТНЫХ КАМЕННЫХ ПОРОД

Заполнители, производимые из плотных горных пород, используются для получения обычных тяжелых бетонов, а также в ряде случаев для бетонов специального назначения.

1.1. Сырьевая база

По происхождению, определяющему важнейшие отличительные свойства, горные породы подразделяются на три класса: изверженные, осадочные и метаморфические.

Изверженные горные породы образовались в результате застывания расплавленной магмы. Их структура и свойства зависят от условий, в которых остывала магма. Глубинные (интрузивные) изверженные породы, образовавшиеся при медленном остывании магмы, отличаются зернисто-кристаллической структурой, тогда как излившиеся (эффузивные) породы, образовавшиеся при сравнительно быстром остывании магмы на поверхности, застыли, не успев закристаллизоваться, и имеют стекловатую, скрытокристаллическую или порфиловую (с кристаллическими включениями) структуру.

По химическому составу изверженные породы подразделяются на кислые (SiO_2 более 65 %), средние (55–65 %) и основные (менее 55 %). К кислым относятся граниты — глубинные породы зернисто-кристаллической структуры. Породообразующие минералы гранита: полевые шпаты (в основном ортоклаз $\text{K(AlSi}_3\text{O}_8)$) — до 70 %, кварц (кристаллический кремнезем SiO_2) — более 20 %, слюды (гидроалюмосиликаты: светлая калиевая слюда — мусковит, темная железистомагнезиальная — биотит) и др. — около 5 %. Из изверженных пород граниты наиболее широко используются для производства заполнителей.

Граниты имеют плотность 2600–2700 кг/м^3 , близкую к плотности составляющего их вещества, поскольку пористость гранитов мала. Водопоглощение обычно не превышает 0,5 %. Предел прочности при сжатии, как правило, более 100 МПа, часто достигает 200–250 МПа. Прочность при растяжении примерно в 50 раз меньше. Цвет обычно красноватый или серый.

К средним изверженным породам относятся глубинные породы (диорит, сиенит) и их излившиеся аналоги (андезит, трахит). По-

следние весьма активно взаимодействуют со щелочами, поэтому возможности их применения в цементных бетонах ограничены. Они кислотостойки и применяются в качестве заполнителей в кислотостойких бетонах на жидком стекле.

Диорит и сиенит отличаются от гранитов отсутствием кварца. Встречаются они реже. Преобладает зеленоватая окраска — темная у диорита, светлая у сиенита. Предел прочности при сжатии диорита — до 250 МПа, сиенита — до 180 МПа. Для производства заполнителей могут применяться наравне с гранитами.

К изверженным горным породам с малым содержанием кремнезема (основным) относятся глубинная порода габбро и излившиеся базальт и диабаз. Эти породы отличаются особо высокой прочностью (предел прочности при сжатии до 300–500 МПа) и большой плотностью (более 3000 кг/м³). Габбро — порода преимущественно крупнокристаллическая, базальт и диабаз — мелко- или скрытокристаллические. Цвет этих пород — от серого до черного, иногда с зеленым оттенком. В значительных объемах используются для производства заполнителей.

Осадочные горные породы образовались в природе как результат разрушения первичных пород. Под действием воды, ветра, переменных температур, химической и биохимической коррозии горные породы постепенно разрушались, распадались, образуя материал для новых, вторичных отложений.

Обломочные осадочные породы образовали залежи песка и гравия — самых доступных, дешевых и широко применяемых заполнителей для бетонов. Это рыхлые породы, представляющие собой скопление обломков материнской горной породы, чаще всего зерен кварца как наиболее стойких (менее стойкие минералы горных пород, в частности гранитные, явились исходными реагентами для образования глинистых минералов).

Кварцевыми называют пески с содержанием кварца более 60 % (нередко до 95 %). Пески с содержанием зерен полевого шпата до 50 % называют кварцево-полевошпатовыми, а при большем содержании таких зерен — полевошпатовыми.

Большинство эксплуатируемых месторождений песка и гравия — аллювиального происхождения. Они образованы речными отложениями. Как известно, вода в зависимости от скорости течения может переносить более или менее крупные зерна горных пород. Когда при выходе в широкое русло или по иным причинам скорость потока

уменьшается, из воды выпадают более крупные частицы горных пород, при дальнейшем уменьшении скорости течения воды выпадают в осадок и менее крупные песчинки; лишь пылеватые, илистые и глинистые частицы как более мелкие обычно уносятся водой и отлагаются в последнюю очередь. Таким образом, вода не только переносит и переотлагает залежи песка и гравия, но одновременно промывает и сортирует их. Зерна песка и гравия в речных (а также морских, озерных) отложениях имеют более или менее окатанную форму.

Песок и гравий горные (овражные) ледникового происхождения не отсортированы, залегают в виде песчано-гравийных смесей и часто загрязнены глинистыми примесями. Более окатанными являются обычно крупные зерна гравия, мелкие же зерна могут иметь шероховатую поверхность. Среди окатанных зерен много менее прочных карбонатных (из обломков известняков).

Золотые залежи песков, образованные ветрами (дюнные, барханные и т.п.), в бетонах применяются ограниченно. Эти пески слишком мелки, а их зерна имеют очень гладкую, полированную поверхность, что ухудшает их сцепление с цементным камнем.

Обломочные горные породы могут быть цементированными. Так, песчаники образовались в результате уплотнения песков (преимущественно кварцевых) и склеивания их цементирующими веществами, принесенными просачивающимися водами. Отдельные разновидности песчаников прочны (предел прочности до 150 МПа) и применяются для производства заполнителей.

Значительное место в производстве заполнителей для бетона отводится карбонатным осадочным породам — известнякам и доломитам.

В природе встречаются известняки главным образом органогенного происхождения. Они представляют собой продукты жизнедеятельности и отмирания различных организмов в водных бассейнах, скопившиеся, уплотнившиеся и частично кристаллизовавшиеся в течение длительных геологических процессов. Плотные кристаллические известняки имеют плотность до 2700 кг/м^3 и предел прочности при сжатии до 200 МПа. Другие разновидности известняков могут быть неоднородны по плотности и прочности.

Основной породообразующий минерал известняков — кальцит CaCO_3 . Известняки стойки при воздействии щелочей в среде портландцементного камня, отличаются хорошим сцеплением с ним в

бетоне. Имеют преимущественно светло-серый или желтоватый цвет.

Доломит составлен одноименным минералом $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$. Эта горная порода также может быть весьма плотной и прочной. Распространены доломитизированные известняки с различной степенью замещения карбоната кальция карбонатом магния.

Метаморфические горные породы образовались в результате изменения изверженных или осадочных пород в толще земной коры под действием высоких давлений и температур, а также сдвигов. Из метаморфических пород для производства заполнителей используются гнейсы — метаморфизированные граниты. От гранитов гнейсы отличаются слоистым строением. Если слоистость (сланцеватость) сильно выражена, то при дроблении такой породы образуются пластинчатые зерна, что нежелательно.

Метаморфизированные кремнистые песчаники — кварциты, представляют высокопрочную горную породу из сросшихся между собой кристаллов кварца. Кварциты стойки к воздействию щелочей кислот. Однако сцепление их с цементным камнем недостаточное.

Мраморы образовались в результате перекристаллизации известняков, составлены кристаллами кальцита, часто с примесью доломита. Имеют высокий предел прочности (до 300 МПа), разнообразную окраску, при дроблении образуют зерна с шероховатой поверхностью, обеспечивающей хорошее сцепление с цементным камнем в бетоне.

При разработке месторождений природного сырья необходимо предварительно оценить возможные экологические последствия. Сырье необходимо добывать бережно, стремиться к его полному и экономному использованию, а после выработки месторождения производить работы по максимально возможному восстановлению ландшафта и рекультивации земель.

1.2. Классификация заполнителей

Основными признаками стандартизированной классификации разнообразных заполнителей для бетона являются: происхождение, крупность зерен, характер формы зерен, плотность (табл. 1).

По происхождению заполнители подразделяют на три группы: *природные*, в том числе из попутно добываемых пород и отходов обогащения; из *отходов промышленности*; *искусственные* (специально приготовленные).

Природные материалы и материалы из отходов промышленности, получаемые без изменения их химического состава и фазового состояния, характеризуются соответственно происхождением и петрографическим наименованием горных пород или видом отходов, например, изверженные глубинные (интрузивные) породы — гранит, сиенит, диорит; доменные отвальные шлаки. Искусственные заполнители характеризуются видом сырья (природное, из отходов или их смесь) и технологией производства (способ обработки), например, получаемый из природного сырья обжигом со вспучиванием — керамзит; получаемая поризацией расплава доменных шлаков — шлаковая пемза.

По крупности зерен заполнители подразделяют на: *крупные* — с зернами (кусками) свыше 5 мм (щебень, гравий, щебень из гравия); *мелкие* — с размером зерен 0,14–5,0 мм (песок).

По характеру формы зерен различают: заполнители, имеющие *угловатую (неправильную) форму*, получаемые дроблением (щебень, песок из отсеков дробления и др.); заполнители, имеющие *округлую форму зерен* (гравий, природный песок и др.).

Заполнители относят к *плотным* или *пористым* в зависимости от *плотности их зерен*, которая составляет до 2,0 г/см³.

Классификационной характеристикой заполнителя также может быть его *насыпная плотность*, которая для крупных пористых заполнителей не должна превышать 1100 кг/м³, а для пористых песков — 1400 кг/м³.

Вид заполнителей является одним из признаков классификации бетонов, в соответствии с которым различают бетоны на *плотных, пористых* и *специальных* заполнителях.

Сами же заполнители подразделяют в соответствии с основным *назначением*: для тяжелых, легких, мелкозернистых бетонов, для специальных бетонов (жаростойких, химически стойких, декоративных, радиационно-защитных, теплоизоляционных и др.).

Классификация заполнителей

Происхождение	Вид, крупность, характер формы зерен	Способ производства (обработки)
<i>Плотные (плотность зерен > 2,0 г/см</i>		
Природные	Щебень	Дробление и сортировка горных скальных пород
	Гравий	Сортировка гравийно-песчаной смеси
	Щебень из гравия	То же, и дробление
	Песок: обогащенный фракционированный, из отсеков дробления обогащенный	Гидромеханизированная или экскаваторная добыча: гидроклассификация, классификация, промывка, обезвоживание, классификация, промывка, обезвоживание
	Декоративные щебень и песок	Дробление, сортировка, промывка и обезвоживание
Из попутно добываемых пород и отходов обогащения (природные)	Щебень и песок	Дробление и сортировка
Из отходов промышленности	Щебень из доменного шлака	То же

Происхождение	Вид, крупность, характер формы зерен	Способ производства (обработки)
<i>Пористые (плотность зерен < 2,0 г/см³)</i>		
А. Неорганические природные	Щебень и песок из пористых горных пород (вулканического, осадочного происхождения)	Дробление и сортировка
Из отходов промышленности	Щебень и песок из пористых шлаков, из кирпичного боя	Тоже
	Золошлаковые смеси, грубодисперсные золы — унос	Необработанные
Искусственные (специально приготовленные)	Керамзит: гравий, песок и его разновидности: глинозольный керамзит; шунгизит: гравий, песок; зольный гравий; вспученные аргиллит и трепел	Обжиг со вспучиванием подготовленных гранул (зерен) из природного сырья, отходов промышленности или их смеси
	Азерит	Подготовка шихты плавлением, быстрым охлаждением и помолом
	Безобжиговый зольный гравий (БЗГ)	Гидратационное твердение гранул из подготовленной смеси золы и вяжущего
	Термомолит: щебень, гравий	Обжиг без вспучивания
	Аглопорит: щебень, гравий и песок	Спекание при обжиге подготовленных гранул песчано-глинистых пород, зол ТЭС, отходов углеобогащения
	Шлаковая пемза: щебень (гравий), песок	Поризация расплава шлаков и охлаждение
	Вспученный перлит, щебень (гравий), песок	Вспучивание при обжиге подготовленных зерен из вулканических водосодержащих пород

Происхождение	Вид, крупность, характер формы зерен	Способ производства (обработки)
Б. Органические отходы заготовки и переработки древесины	Куски, частицы дерева, опилки, стружка, древесные волокна	Измельчение, сортировка
От переработки сельскохозяйственной продукции и растений	Стебли хлопчатника, камыша, тростника, костра лубяных культур (льна, конопли) и др.	
От переработки в промышленности	Частицы пластиков, резины и др.	
Пенополистирол	Гранулы 0–10 (20) мм	Вспенивание полистирольного бисера

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОИЗВОДСТВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

2.1. Общие принципы и положения

Предприятия нерудных строительных материалов (н.с.м.), производящие заполнители для бетона, представляют производственный комплекс, включающий добычу сырья в карьере и его переработку на заводе.

Сырье добывают, применяя экскаваторный способ разработки месторождений или средства гидромеханизации, к последним относятся плавучие землесосные снаряды, используемые при разработке подводных и обводненных песчано-гравийных месторождений.

Технологические схемы заводов по производству заполнителей для бетона определяются поступающей на переработку исходной горной массой, номенклатурой и качеством готовой продукции, типом применяемого оборудования с учетом комплексности использования сырья, экономии сырьевых материальных и топливно-энергетических ресурсов.

Производство искусственных пористых заполнителей (и.п.з.), обеспечивает повышение эффективности бетонов различного назначения — от самых легких теплоизоляционных до высокопрочных конструкционных классов по прочности на сжатие от В0,5 до В40, марок по средней плотности от D300 до D1900.

Предприятия по производству искусственных пористых заполнителей создаются там, где в них есть потребность, и базируются они, как правило, на местных источниках сырья.

Из искусственных пористых заполнителей наиболее распространены керамзит и его разновидности (глинозольный керамзит, шунгизит и др.). Их получают обжигом со вспучиванием подготовленных гранул (зерен) из природного сырья, отходов промышленности или их смеси.

В состав производства керамзита, как правило, входят следующие основные технологические переделы:

- карьер глинистого сырья;
- отделение приема, переработки сырья и добавок, формование гранул;
- сушильно-обжиговое отделение;
- отделение сортировки и складирования готовой продукции.

При проектировании производства первостепенное значение имеет применение ресурсо- и энергосберегающих технологий и оборудования. Так, повышение вспучиваемости глинистого сырья может быть достигнуто введением корректирующих добавок (органических, минеральных), что позволяет увеличить выпуск керамзита и повысить его качество. Типы обжиговых агрегатов и режимы обжига в них также способствуют этому и определяют расход условного топлива — важнейший показатель экономичности производства.

Ресурсо-и энергозатраты являются критериями оценки вариантов конкурирующих технологий. Закономерность изменения энергозатрат при различных вариантах технологий обычно совпадает с изменением стоимостных показателей готовой продукции.

2.2. Выбор и обоснование технологической схемы

2.2.1. Производство щебня, гравия и песка

Технологическую схему выбирают и обосновывают или составляют на основе принципиальных схем, разработанных применительно к переработке различных типов горных пород.

Выбранная технологическая схема должна быть конкретизирована, на ней необходимо указать:

- типы дробилок;
- размеры их разгрузочных щелей;
- наибольшую крупность продуктов питания и дробления;
- размеры отверстий сит грохотов.

При этом руководствуются следующими положениями:

1. Дробилки должны быть увязаны по производительности и обеспечить требуемую мощность ДСЗ. Для щебеночного завода она определяется производительностью дробилки крупного дробления (первая стадия дробления), а для гравийно-песчаного — производительностью дробилки мелкого дробления (последняя стадия дробления).

2. Дробилки должны быть увязаны по размеру куска в питании и продуктах дробления. Размер кусков, поступающих на дробление, не должен превышать $0,85B$ (B — ширина приемного отверстия дробилки).

3. Ширину разгрузочной щели дробилки следует принимать наибольшей для получения наименьшего отсева в процессе дробления, но при этом должна быть обеспечена допустимая крупность продукта дробления для питания следующей дробилки.

Для конусных дробилок среднего дробления, работающих в открытом цикле, отношение ширины разгрузочной щели (e_1) предыдущей дробилки первой стадии к ширине приемного отверстия дробилки второй стадии (B_2):

$$e_1/B_2 = 0,35 \dots 0,55. \quad (1)$$

При замкнутом цикле на последней стадии дробления отношение ширины разгрузочной щели конусной дробилки мелкого дробления к ширине приемного отверстия:

$$e_3/B_3 = 0,07 \dots 0,25. \quad (2)$$

4. Крупность материала, отбираемого на предварительном грохочении, рекомендуется принимать:

- для первой стадии дробления близкой к ширине разгрузочного отверстия дробилки;
- для второй и третьей стадий — равной наибольшей крупности получаемых продуктов.

2.2.2. Приготовление дробленого песка

Для строительных работ используют дробленый песок, приготовленный из скальных горных пород и гравия с применением специального дробильно-сортировочного оборудования; дробленый песок из отсева продуктов дробления горных пород при производстве щебня. Эти пески с улучшенным зерновым составом получают с использованием специального обогатительного оборудования и поставляют без разделения по размерам.

Применяемые для производства дробленых песков изверженные и метаморфические горные породы имеют предел прочности не менее 60 МПа. При приготовлении песка из продуктов дробления неоднородных плотных осадочных и метаморфических пород возможно применение только отсевов, получаемых после второй и последующей стадий дробления.

Массовая доля зерен крупнее 5 мм не должна превышать 10 %; пылевидных частиц, определяемых отмучиванием, — не более 1–2 %; глины в комках — не более 0,10–0,20 %. Дробленый песок применяют в беспесчаных районах и в качестве добавки при приготовлении цемента- и асфальтобетонных смесей.

Измельчение исходного материала осуществляют мокрым или сухим способом. Сухой способ эффективен при переработке горных пород, не содержащих глины. Измельчение производят в стержневых мельницах.

Техническая характеристика стержневых мельниц приведена в табл. 2.

Пески, полученные измельчением в стержневых мельницах, относят к средним или крупным. Если необходим сортовой песок, его готовят по схемам, аналогичным для песчано-гравийных заводов.

Техническая характеристика стержневых мельниц

Показатели	Мельницы, марка		
	МСЦ 2100×2200	МСЦ 2100×3000	МСЦ 2700×3600
Диаметр барабана, мм	2100	2100	2700
Длина барабана, мм	2200	3000	3600
Нормативная вместимость мельницы, м ³	6,5	8,8	18,0
Мощность электродвигателя, кВт	160	200	400
Скорость вращения барабана, мин ⁻¹ /% от критической	18,7/61,6	19,7/64,9	15,6/58,4
Производительность (ориентировочная), т/ч	10-20	20-60	70-160
Рекомендуемая масса стержневой загрузки, т	15	20	41
Масса вращающихся частей со стержневой загрузкой, т	52	60	101
Общая масса, т	46	52	81

2.2.3. Алгоритм добычи каменного бута и производство щебня

Процесс производства щебня включает два этапа — *добыча каменного бута* и его *переработка*.

Посредством взрывных работ монолиты отделяют от массива. А затем при помощи спецтехники их раскалывают на мелкие камни, которые транспортируются на дробильно-сортировочный участок.

Переработка каменного бута включает следующие стадии:

1. *Первичное дробление* — на этой стадии каменный бут загружается в бункер питателя, где осуществляется равномерная подача горной массы в дробилку первичной обработки. Дробилка измельчает породу на куски среднего размера.

2. *Вторичное дробление* — измельченный бут при помощи ленточного транспортера поступает в дробилку вторичного дробления. Там горная масса измельчается на куски более мелкого размера.

3. *Сортировка раздробленной массы* — передробленная масса поступает на грохот, где сортируется на товарные фракции. С помощью выносных ленточных транспортеров все фракции щебня складываются по-отдельности.

Для производства цветного щебня отбирают фракции определенного размера. Обычно используется щебень размером более 10 мм.

В результате сортировки отсеиваются загрязнения и мусор. Далее щебень, который уже прошел сортировку, поступает в бетономешалку и заливается краской определенного цвета. Объем краски должен составлять 20 % от объема щебня.

Далее материал перемешивается на протяжении 40–60 мин. По завершении этой операции весь щебень покрывается цветной краской.

Для экономии краски извлекать щебень необходимо над приемным бункером, используя металлическую сетку. В этот бункер будут стекать излишки краски, которые можно будет использовать для повторной покраски.

В завершение покрашенный щебень высушивают. Для производства декоративного щебня в больших объемах лучше всего осуществлять сушку с помощью специальной камеры или бункера. Однако это оборудование стоит недешево, поэтому на первых этапах предпринимательской деятельности можно сушить щебень на открытом воздухе (рис. 1).



Рис. 1. Особенности технологии производства цветного щебня

Оборудование для производства щебня

Питатели. На предприятиях могут применяться два вида этого оборудования — вибрационные и пластинчатые.

Пластинчатый питатель — закольцованное полотно, которое состоит из пластин, что соединены шарнирно между собой. Каменный бут перемещается по движущемуся по кругу полотну.

Вибрационные питатели — это оборудование нового поколения. Оно имеет ряд преимуществ по сравнению с пластинчатыми питателями. Это оборудование осуществляет направленные и возвратно-поступательные движения при помощи электромагнитного вибратора.

Дробилки. Существуют дробилки щековые, конусные и центробежные. Для первичного дробления обычно используют щековые дробилки. Независимо от технических характеристик и модели, в щековых дробилках измельчение каменного бута происходит в результате раздавливания кусков между 2-х щек. Одна из них неподвижно закрепляется на станине дробилки, а вторая находится на маятнике. Это оборудование измельчает камни в 4–8 раз.

Остальные виды дробилок используются для измельчения горной массы и вторичного дробления.

Грохоты. Для разделения щебня на фракции применяются инерционные грохоты. Это оборудование оснащено вибратором, который активируется электродвигателем. Под воздействием вибратора короб выполняет круговые движения.

Весь щебень подается на верхнее сито, где благодаря колебаниям короба и наклонной установке он транспортируется к разгрузке, просеиваясь через отверстия. На грохоте могут быть два и более сит.

Для максимальной эффективности все оборудование линии для производства щебня должно работать с максимальной отдачей.

2.2.4. Производство искусственных пористых заполнителей

Выбор технологической схемы связан с определением способа переработки сырья и обоснованием типа обжигового агрегата.

Выбор способа переработки сырья зависит от свойств исходного сырья, а качество заполнителя — от режима термообработки, при котором создаются оптимальные условия вспучивания подготовленных сырцовых гранул (зерен).

В основе правильного выбора технологии лежит достаточно полная характеристика исходных материалов и учет их особенностей.

Химический, минеральный и гранулометрический составы сырья позволяют оценивать его пригодность с точки зрения формирования пористой структуры заполнителя, в частности, вспучиваемости глинистых пород.

От начальных физико-механических свойств применяемого сырья зависит набор перерабатывающего оборудования. Для широко распространенных рыхлых и пластичных глинистых пород при производстве керамзита применяют *пластический способ* переработки сырья.

2.3. Производство заполнителей из плотных горных пород

2.3.1. Расчет эффективности грохочения и выхода продуктов

Эффективность грохочения рассчитывают по формуле

$$E = \frac{100}{\beta_{и}^{-d}} \cdot \frac{\beta_{и}^{-d} - \beta_{м}^{-d}}{100 - \beta_{в}^{-d}} \quad (3)$$

где $\beta_{и}^{-d}$ — содержание в исходном материале зерен меньше размера отверстия сита, %;

$\beta_{м}^{-d}$ — допустимое замельчение надрешетного продукта подрешетным, %.

Для щебня крупностью 5–20 мм $\beta_{м}^{-5(10)} = 5$ %, а при крупности 20–40 мм $\beta_{м}^{-20} = 10$ %.

При допустимом замельчении до 10 % необходима эффективность грохочения 80 %, а при замельчении 5 % — 91–92 %.

При известной эффективности грохочения E , выраженной в относительных единицах, *величина замельчения*, %, на i -й операции:

$$\beta_{M(i)}^{-d} = \frac{100(1-E)}{\frac{100}{\beta_{i(100)}^{-d}} - E}, \quad (4)$$

где $\beta_{i(100)}^{-d}$ — процентное содержание в грохотимом материале, принимаемом за 100 %, зерен меньше размера отверстий сита d .

Исходя из зернового состава

$$\beta_{i(100)}^{-d} = \frac{\beta_i^{-d}}{\beta_i^{-d} + \beta_i^{+d}} 100 \%, \quad (5)$$

где β_i^{-d} — содержание в грохотимом материале зерен меньше размера отверстий сита d , %;

β_i^{+d} — то же, больше размера отверстий сита d , %.

Величина замельчения необходима при расчетах качественно-количественной схемы для определения выхода γ в % n -го продукта на i -й операции грохочения:

$$\gamma_{n(i)} = \frac{\beta_i^{+d}}{100 - \beta_{m(i)}^{-d}} 100. \quad (6)$$

2.3.2. Расчет качественно-количественной схемы

На основе принятой технологической схемы рассчитывают *качественно-количественную схему* с определением следующих показателей:

- выхода продуктов на отдельных операциях, % или доли единицы;
- выхода готовой продукции, % или доли единицы;
- производительности по исходной горной массе, т/ч и м³/ч.

Исходные данные для расчета

- заданная производительность по готовой продукции;
- гранулометрический состав исходной горной массы;
- граничные крупности разделения для операций грохочения (размеры отверстий сит) и классификации;
- общие эффективности операций грохочения, классификации и промывки (табл. 3.);
- размеры выпускных щелей дробилок, принятых в технологической схеме;
- характеристики крупности продуктов дробления (табл. 4–6);
- средняя насыпная плотность исходного сырья и готовой продукции, принимаемая ориентировочно по табл. 7.
- расходы воды и влажность продуктов операций промывки, классификации, обезвоживания, которые принимают в соответствии с практическими данными или установленными нормами.

Расчет качественно-количественной схемы основан на выполнении условий материального баланса продуктов, поступающих на операции и выходящих после нее. Расчет следует производить по стадиям и относящимся к ним операциями грохочения (рис. 2).

Циркуляционную нагрузку на замкнутом цикле дробления (рис. 1, в) определяют по формуле

$$\gamma_{\text{ц}} = \frac{\gamma_{\text{д}}(1 - \beta_{\text{д}}^{-d} \cdot E)}{\beta_{\text{д}}^{-d} \cdot E}, \quad (7)$$

где $\gamma_{\text{д}}$ — выход продукта, поступающего на дробление с предыдущей операции;

$\beta_{\text{д}}^{-d}$ — относительное содержание готового продукта крупностью меньше d в продукте дробления дробилки, работающей в замкнутом цикле;

E — эффективность операций поверочного грохочения после последней стадии дробления.

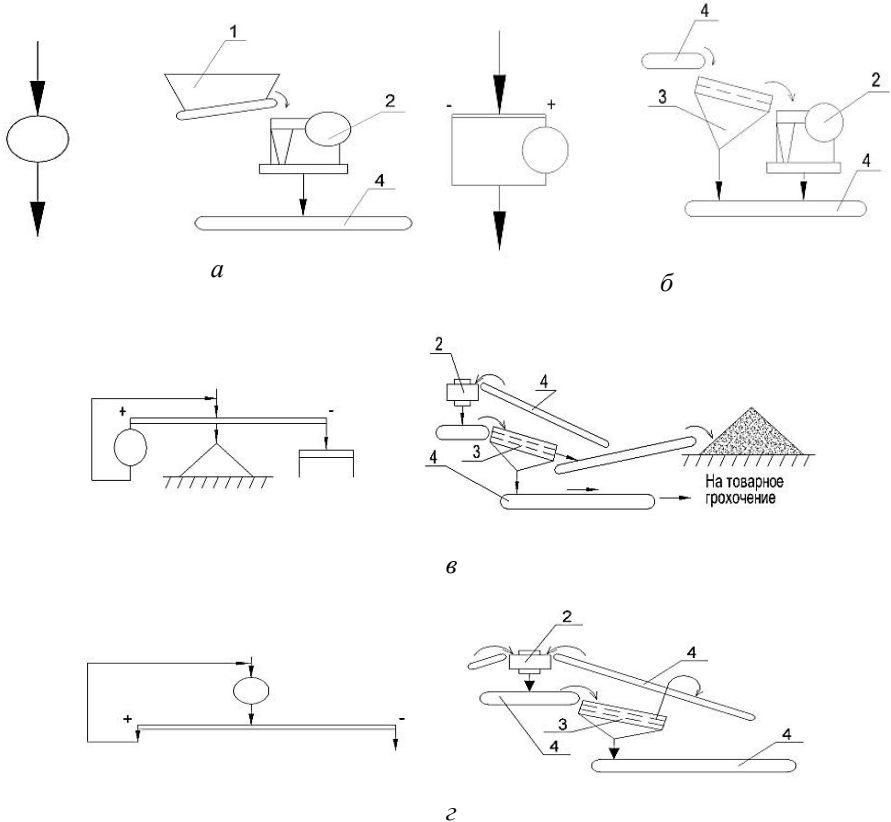


Рис. 2. Сочетание операций дробления и грохочения:

a — открытый цикл; *б* — открытый цикл с предварительным грохочением;

в — замкнутый цикл с предварительным и поверочным грохочением;

з — замкнутый цикл с поверочным грохочением;

1 — питатель (пластинчатый или ленточный конвейер); 2 — дробилка;

3 — грохот; 4 — ленточный конвейер

Таблица 3

Общая эффективность технологических операций

Операция	Тип оборудования	Общая эффективность E, %
Предварительное грохочение перед стадией дробления:	Неподвижный колосниковый грохот	60–70
	Инерционный грохот тяжелого типа	70–80
	Вибрационный грохот	85–90
Окончательное (товарное) грохочение, грохочение в замкнутом цикле с дробилками второй и третьей стадий дробления	Инерционный и вибрационный грохоты	90–98

Таблица 4

Усредненный гранулометрический состав продуктов дробления щековых дробилок с простым качанием щеки

Размер выпускной щели, мм	Содержание, % , по классам крупности, мм / суммарное							
	0–10	10–20	20–40	40–70	70–90	90–100	100–200	Более 200
Извержение породы								
100	3/3	2/5	9/14	16/30	15/45	10/55	45/100	—
110	3/3	1/4	4/10	18/28	10/38	8/50	46/96	4/100
120	2/2	1/3	7/10	10/20	14/34	6/40	53/93	7/100
130	1/1	1/2	6/8	10/18	12/30	5/35	44/89	11/100
140	1/1	1/2	7/9	10/19	9/28	4/32	52/84	16/100
150	1/1	1/2	2/4	11/15	7/22	6/28	54/82	18/100
Прочные известняки								
100	3/3	7/10	15/25	20/45	13/58	11/69	31/100	—
110	3/3	5/8	12/10	22/42	12/54	11/65	35/100	—
120	2/2	5/7	10/17	18/35	13/48	7/55	45/100	—
130	2/2	4/6	9/15	15/30	15/45	5/50	45/95	5/100
140	1/1	4/5	9/14	16/30	11/41	7/48	42/90	10/100
150	1/1	3/4	10/14	11/25	12/37	5/42	45/87	13/100

Таблица 5

Усредненный гранулометрический состав изверженных и прочных известняков после дробления в конусных дробилках среднего дробления

Размер выпускной щели, мм	Содержание, % по классам крупности, мм / суммарное						
	0–5	5–20	20–40	40–70	70–90	90–100	Более100
КСД-1750Гр и КСД-2200Гр							
25	14/14	31/35	27/72	21/93	6/99	1/100	—
30	8/8	30/38	25/63	25/88	8/96	2/98	2/100
35	2/2	33/35	24/59	24/83	9/91	7/98	2/100
КСД-1750Т и КСД-2200Т							
20	10/10	30/40	30/70	23/93	6/99	1/100	—
25	8/8	24/32	26/58	27/85	8/93	3/95	4/100
30	3/3	21/24	26/50	27/77	12/89	3/92	8/100

Таблица 6

Усредненный гранулометрический состав изверженных пород и прочных известняков после дробления в конусных дробилках мелкого дробления

Размер выпускной щели, мм	Содержание, % по классам крупности в мм / суммарное						
	0–5	5–10	10–20	20–40	40–70	70–90	Более100
КМД-Гр							
12	18/18	19/37	28/65	32/97	3/100	—	—
10	22/22	21/43	34/77	23/100	—	—	—
КМД- Т							
8	20/20	20/40	35/75	25/100	—	—	—
6	25/25	27/52	39/91	9/100	—	—	—

Таблица 7

**Расчетные значения насыпной плотности готовой продукции
в зависимости от типа перерабатываемой породы, т/м³**

Материал	Тип породы					
	Скальные			Валунно-гравийно-песчаные		Песчаные
	I	II	III	IV-I	IV-II	
Исходная горная масса	1,7–1,8	1,7	1,5–1,6	1,6	1,7	1,6
Щебень крупностью, мм: до 20 до 40	1,35–1,45	1,3–1,35	1,25–1,3	1,35–1,4	1,4–1,45	—
	1,45–1,5	1,4–1,45	1,3–1,4	1,4–1,45	1,6–1,55	—
Гравий крупностью до 20 мм	—	—	—	1,6	1,6	—
Песок природный или из отсевов дробления	1,45–1,5	1,45–1,5	—	—	—	1,6

Последовательные расчеты выходов продуктов на каждой операции завершаются определением выходов готовой продукции по технологической схеме и вычислением производительности по исходной горной массе, м³/год и т/год:

$$Q_{\text{исх}} = \frac{Q_{\text{гот}} \cdot \rho_{\text{гот}}^{\text{H}}}{\gamma_{\text{гот}} \cdot \rho_{\text{исх}}^{\text{H}}}, \quad (8)$$

$$Q_{\text{исх}} = \frac{Q_{\text{гот}} \cdot \rho_{\text{гот}}^{\text{H}}}{\gamma_{\text{гот}}}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{гот}}$ — заданная производительность по готовой продукции, м³/год;

$\gamma_{\text{гот}}$ — расчетный выход готовой продукции, доли единицы;

$\rho_{\text{исх}}^{\text{H}}$ — средняя насыпная плотность исходной горной массы, т/м³;

$\rho_{\text{гот}}^{\text{H}}$ — насыпная плотность готовой продукции, т/м³.

Для последующих расчетов оборудования определяют часовую производительность $Q_{\text{н}}$, т/ч, по продуктам переработки на каждой операции:

$$Q_n = \frac{\gamma_n \cdot Q_{\text{исх}}}{T_{\text{и}}}, \quad (10)$$

где γ_n — выход n -го продукта, доли единицы;

$Q_{\text{исх}}$ — производительность по исходной горной массе, т/ч;

$T_{\text{и}}$ — годовой фонд рабочего времени оборудования, ч.

Значения γ_n , %, и Q_n , т/ч записывают у соответствующих продуктов переработки на технологической схеме.

Расчет производственной программы, материального баланса и производительности предприятия по исходной горной массе и готовой продукции производят в соответствии с параметрами качественно-количественной схемы, заданной производительностью и установленным режимом работы предприятия или установки.

2.4. Производство искусственных пористых заполнителей

2.4.1. Расчет мощности предприятия и обжиговых агрегатов

Технологические расчеты при проектировании предприятий и цехов искусственных пористых заполнителей производят поэтапно. Сначала выбирают и обосновывают расчетом мощность обжиговых агрегатов, а затем на основе расчета расхода сырья и материального баланса определяют производительность технологических линий, обслуживающих обжиговые агрегаты (табл. 8).

Мощность предприятия M_n определяют мощностями обжиговых агрегатов $M_{\text{об}}$:

$$M_n = nM_{\text{об}}, \quad (11)$$

где n — количество обжиговых агрегатов.

Производственную мощность обжигового агрегата, м³/год, рассчитывают в зависимости от средней насыпной плотности готовой продукции:

$$M_{\text{об}} = Q_n \cdot T_{\text{и}} \cdot k_o, \quad (12)$$

где Q_n — часовая паспортная производительность агрегата при соответствующей насыпной плотности получаемого заполнителя, м³, принимаемая по табл. 7;

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

k_o — объемный коэффициент выхода продукции в зависимости от ее марки, для керамзита и его разновидностей принимается по табл. 9.

Таблица 8

Производительность обжиговых агрегатов

Характеристика заполнителя	Обжиговой агрегат	Производительность, м ³ /год
Гравий керамзитовый М500	Печь вращающаяся Ø2,5 × 40	10,8
	Агрегат обжиговой СМС-197	12,4
	То же, двух барабанный : Ø 2,5 × 20 = Ø 3,6 × 24	13,3
	Ø 3 × 24 = Ø 4,5 × 24	25,0
Песок:		
керамзитовый М600	Печь кипящего слоя СМС-139	6,7
	Печь вертикальная СМТ-177 с	15,0
перлитовый вспученный М100	Печь термopодготовки СМТ-178 и ПУВ НИИСМИ	
Щебень перлитовый вспученный М300	Печь вращающаяся СМТ-179 с	3,5
	Печь термopодготовки СМТ-178	

Таблица 9

Объемный коэффициент выхода продукции в зависимости от ее марки

Марка заполнителя	Производство	
	Керамзитового гравия и его разновидностей	Керамзитового песка в печах кипящего слоя
300	1,25	—
350	1,21	—
400	1,15	—
450	1,10	—
500	<u>1,00</u>	1,20
550	0,95	—
600	0,86	1,00
700	0,69	0,85
800	0,63	0,75
900	—	0,65
1000	—	0,60

2.4.2. Расчет производительности по переделам производства

Для расчетов необходимы следующие данные:

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

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

Удельный расход сырья H , т/м³, рассчитывают с учетом предусматриваемых потерь:

$$H = \frac{\rho_n}{\left(1 - \frac{\text{ппп}}{100}\right) \left(1 - \frac{W_0}{100}\right) \left(1 - \frac{n_T}{100}\right)}, \quad (13)$$

где ρ_n — средняя насыпная плотность заполнителя, т/м³;

ппп — потери массы при прокаливании, %;

W_0 — влажность сырья, поступающего в производство, %;

n_T — технологические потери сырья, %.

При производстве керамзита потери сырья согласно нормам принимаются: при транспортировании — 1 %; при сушке — 2 %, при обжиге — 2 %.

При использовании добавок (твердых и жидких) и опудривающих порошков их расходы рассчитывают для соответствующих переделов.

Производительность, т/ч или м³/ч, технологической линии по переработке сырья и подготовке гранул (зерен) к обжигу равна:

$$Q = Q_{\text{П}} \cdot k_{\text{и}} \cdot k_{\text{Г}}, \quad (14)$$

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

$$k_{\text{и}} = 0,95 \dots 0,97;$$

$k_{\text{Г}}$ — коэффициент готовности, учитывающий устранение случайных отказов оборудования, рассчитывают с учетом насыщенности технологической линии оборудованием (табл. 10):

$$k_{\text{Г}} = k_{\text{Г1}} \cdot k_{\text{Г2}} \cdot \dots \cdot k_{\text{Гn}}. \quad (15)$$

Для отдельных видов основного оборудования k_r принимают по табл. 9. Проектное решение должно обеспечивать значение k_r не менее 0,75.

Количество принимаемых к установке линий, обеспечивающих бесперебойную работу обжиговых агрегатов, рассчитывают по формуле

$$n = \frac{C}{Q}, \quad (16)$$

где C — потребность в сырье, т/ч или м³/ч.

Величину n округляют до большего целого числа.

Таблица 10

Коэффициенты готовности технологического оборудования

Наименование оборудования	k_r
Глинорыхлитель	0.97
Питатель ящичный	0.96
Вальцы (камневыделительные, грубого помола)	0,96
Вальцы тонкого помола	0,97
Бегуны	0,97
Смеситель лопастый	0.97
Глиномешалка с фильтрующей головкой	0.97
Пресс шнековый	0,96
Машина для сортировки материала	0,98
Сушильный барабан и вращающиеся печи	0,97
Конвейер ленточный	0,98
Элеватор ленточный	0,98

Нормативы в табл. 11 даны с учетом использования теплоты отходящих газов от печи или обжигового агрегата.

Расход условного топлива зависит от марки продукции:

$$Q_y = \frac{Q_{\text{табл}}}{k_0}, \quad (17)$$

где k_0 — принимают по табл. 10.

Расход условного топлива при производстве других видов искусственного пористого заполнителя (ипз), кг усл. топл./м³: вспученных перлитовых щебня и песка — 30–34; аглопорита из глинистых пород — 86–89, термолита — 96–98.

Расход условного топлива на технологические нужды

Тип обжигового агрегата, вид производства	Расход условного топлива, кг/м ³ , при производстве				
	керамзита М500	шунгизита М500	керамзитового песка М600		
	Способ подготовки				
	Пластический	Сухой	Сухой	Пластический	Сухой
Печь вращ. 2,5×40 м	90	88	88	—	—
Агрегат обжиговый	65	62	—	—	—
Отдельное производство керамзитового песка	—	—	—	107	88
Совместное производ- ство песка в печах кипящего слоя и ке- рамзитового гравия в обжиговом агрегате или в печах Ø 2,5×40	—	—	—	86	83

3. ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

3.1. Пример технологических расчетов
дробильно-сортировочного узла

а) Исходные данные:

- производительность — 70 м³/ч;
- горная порода типа I (гранит), грансостав приведен в табл. 12.

Таблица 12

Гранулометрический состав испытываемой пробы

Содержание по фракциям, мм / суммарное, %				
0–5	5–10	10–20	20–40	40–70
10/10	15/25	25/50	40/90	10/100

Номенклатура продукции:

щебень из смеси 2-х фракций от 5 до 20 мм;

песок из отсевов дробления 0–5 мм.

Технология переработки: одностадийное дробление в замкнутом цикле с предварительным и поверочным грохочением.

Оборудование:

дробилка конусная мелко дробления (КМД-Гр; ширина выпускной цепи — 12 мм (по заданию);

грохот легкий, интенсивного типа (ГИЛ), двухситовой: верхнее сито 20 мм, нижнее — 5 мм.

б) Технологическая схема узла

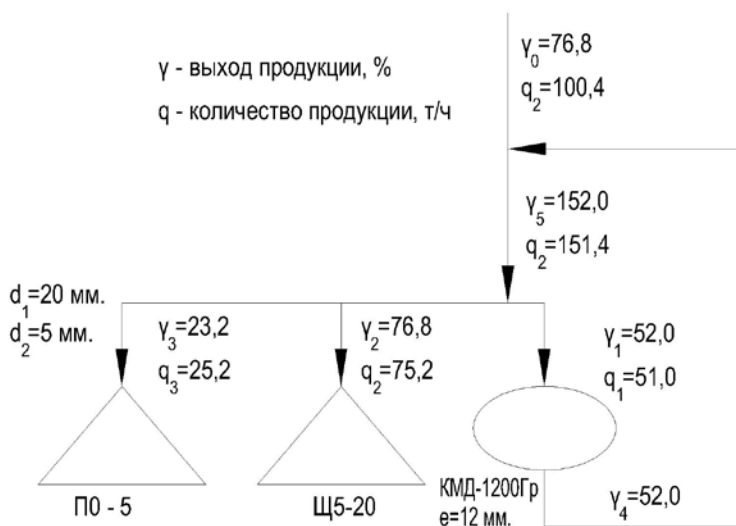


Рис. 3. Схема цепи аппаратов:

дробилка КМД-1200Гр; грохот ГИЛ-52; ленточные конвейеры, подающие на склад готовой продукции; конусный склад щебня (фр. 5–20 мм), песка из отсевов дробления

в) Расчет качественно-количественной схемы

Качественно-количественная схема рассчитывается на основе принятой технологической схемы. Расчетом определяется выход в % или в долях единицы продуктов на отдельных операциях схемы и готовой продукции.

Исходными данными для расчета являются:

- заданная производительность по готовой продукции — $70 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- грансостав перерабатываемого материала (см. табл. 12);
- размеры отверстий сит грохота, $d_1 = 20 \text{ мм}$, $d_2 = 5 \text{ мм}$;
- размер выпускной щели дробилки, $e = 12 \text{ мм}$;
- характеристика крупности продуктов дробления (см. табл. 5 или рис. 2);
- эффективность операции грохочения, $E = 95 \%$;
- средняя насыпная плотность материала, $\text{т}/\text{м}^3$, — 1,4 для щебня и 1,55 для песка.

Вводим обозначение продуктов:

- γ_0 — поступающий на грохочение 0–70 мм;
- γ_1 — поступающий на дробление с верхнего сита, крупностью свыше 20 мм;
- γ_2 — щебень 5–20 мм — готовый продукт, надрешетный материал нижнего сита;
- γ_3 — песок из отсевов дробления 0–5 мм, подрешетный продукт нижнего сита;
- γ_4 — продукт дробления в КМД-Гр;
- γ_5 — объединенные продукты, поступающие на грохочение.

Определение количества продукта γ_1 , поступающего с верхнего сита в дробилку

Процентное содержание зерен, меньших размера отверстия сита 20 мм, в грохотимом материале, принимаемом за 100 % (песок проходит полностью), определяется по его грансоставу:

$$\beta_i^{+d} = 10 + 40 = 50; \beta_i^{-d} = 15 + 25 = 40;$$

$$\beta_{100}^{-20} = \frac{40}{50 + 40} \approx 44,4 \%$$

Величина значения:

$$\beta_{M(i)}^{-d} = \frac{100(1 - E)}{(100/\beta_{i(100)}^{-d}) - E}; \quad \beta_M^{-20} = \frac{100(1 - 0,95)}{(100/44,4) - 0,95} \approx 3,8 \%$$

$$\gamma_{n(i)} = \frac{\beta_i^{+d}}{100 - \beta_{M(i)}^{-d}} 100; \quad \gamma_1 = \frac{50}{100 - 3,8} 100 = 52,0 \%$$

То есть к 50 % материала крупнее 20 мм добавится 2 % материала фракции 5–20 мм (или упрощенно $0,05 \cdot 40 = 2$).

На нижнее сито поступит:

$40 - 2 = 38$ % фракции 5–20 мм и 10 % песка, всего 48,0 %.

В конусную дробилку поступает материал крупностью 20–70 мм в количестве 52 % — γ_1 (без учета циркуляционной нагрузки).

Грансостав дробленого материала γ_4 определяется по характеристике крупности продуктов дробления при ширине разгрузочной щели 12 мм, он приведен в табл. 13.

Таблица 13

Характеристики крупности продуктов дробления при ширине разгрузочной щели 12 мм

Крупность, мм	0–5	5–10	10–20	20–40	40–70	Сумма
Относительный выход, % (см. табл. 5)	18	19	28	32	3	100
Содержание в продукте дробления, %	$18 \cdot 0,52 = 9,36$	9,88	14,56	16,64	1,56	52,0
Дробленый материал циркуляционной нагрузки, %	$(9,36 / (9,36 + 9,88 + 14,56)) \times 18,2 = 5,04$	5,32	7,84	—	—	18,2
Всего	14,4	15,2	22,4			52

Можно допустить, что дробленый материал циркуляционной нагрузки в количестве 18,2 % (фр. 20–70 мм) имеет грансостав, аналогичный дробленому материалу основного потока, и определяется из пропорциональных соотношений.

На нижнее сито ($d_2 = 5$ мм) поступает материал следующего грансостава:

фр. 0–5 мм — $10 + 14,4 = 24,4$;

фр. 5–20 мм — $38 + 15,2 + 22,4 = 75,6$, по грансоставу исходного с учетом заполнителя.

Выход готовых продуктов:

$$\gamma_2 + \gamma_3 = \gamma_5 - \gamma_1 = 100; \quad \gamma_1 = \gamma_4.$$

При принятой эффективности грохочения $E = 95$ %:

$$\gamma_2 = \beta^{5-20} + 0,05 \cdot \beta^{-5} = 75,6 + 0,05 \cdot 24,4 = 76,8 \text{ %};$$

$$\gamma_3 = 100 - \gamma_2 = 23,2 \%$$

Результаты расчетов записывают на технологической схеме.

Производительность ДСУ:

Щебень фр. от 5 до 20 мм — $70 \cdot 0,768 = 53,8 \text{ м}^3/\text{ч}$

или при $\rho_n = 1,4 \text{ т/м}^3$ — $75,2 \text{ т/ч}$.

Песок из отсевов дробления — $70 \cdot 0,232 = 16,2 \text{ м}^3/\text{ч}$

или при $\rho_n = 1,55 \text{ т/м}^3$ — $25,2 \text{ т/ч}$.

з) Выбор и характеристика оборудования

Д р о б и л к а — согласно заданию тип КМД-Гр.

Нагрузка на дробилку $\gamma_1 = 70 \cdot 0,52 = 36,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ или 51 т/ч .

Наибольшая нагрузка с учетом возможной неравномерности подачи материала:

$q_{\text{оп}} = q_n \cdot k_n$; $q = 36,4 \cdot 1,1 = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$ или 56 т/ч , принимается к установке дробилка КМД-1200Гр.

Далее приводится ее техническая характеристика.

Г р о х о т . Расчетная нагрузка:

согласно схеме $151,4 \text{ т/ч}$,

при $k_n = 1,1 \dots 166,5 \text{ т/ч}$.

Принимается к установке двухситовой грохот ГИЛ-52 и приводится его характеристика.

3.2. Пример технологических расчетов цеха керамического гравия

Исходные данные:

Режим работы — круглогодовой, непрерывный, в три смены по 8 ч.

Коэффициент использования оборудования во времени $k_n = 0,92$.

Номенклатура продукции — гравий керамзитовый марки 500 (ГОСТ 32496–2013), гранулометрический состав по СМС-197.

Технология производства — пластический способ формования гранул, обжиг в вращающейся печи $\varnothing 2,5 \times 40 \text{ м}$.

Средняя годовая карьерная влажность глины — 22 %, потери при прокаливании (ппп) — 8 %. Технологические потери принимаются по нормам СМС-197.

Производственная мощность обжигового агрегата:

$$M_{\text{общ}} = C \cdot T \cdot k_t \cdot k_{\text{об}} = 12,4 \cdot 8760 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \approx 100000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Выбор и описание технологической схемы производства

Приводится технологическая схема и дается ее краткое описание.

Производительность по переделам производства

Расчеты исходного сырья, полуфабрикатов и готовой продукции производят в порядке, обратном технологическому процессу, с определением производительности соответствующего передела на выходе и входе. За исходную величину принимают выход готовой продукции, поступающей на склад (заданная годовая производительность).

Результаты расчетов представляют в виде таблицы, приведенной далее (табл. 14).

Удельный расход сырья:

$$H = \frac{0,5}{\left(1 - \frac{8}{100}\right)\left(1 - \frac{22}{100}\right)\left(1 - \frac{5}{100}\right)} \approx 0,73 \text{ т/м}^3.$$

Его сопоставляют с предусмотренными нормами, а также приводят данные об энергозатратах, установленных этими нормами:

- удельный расход сырья, т/м³ — 0,75;
- расход условного топлива, кг/м³ — 65;
- расход электроэнергии, кВт·ч/м³ — 32.

Таблица 14

Производительность по переделам производства

Материал по переделам	Ед. изм.	Кол-во в год*
Поступление на склад готовой продукции (керамзит марки 500) по массе, в том числе по фракциям, мм:	м ³	100000
0–5	т	50000
5–10	м ³	10000
10–20	м ³	40000
20–40	м ³	40000
Поступление гравия на обжиг после подсушки: W = 18 %; ппп = 8 %; потери при обжиге — 2 % 50000 : [(1 – 0,18) · 1 – 0,08] · (1 – 0,02)] = = 50000 : (0,811 · 0,92 · 0,98)	т	67632
Поступление гранул на подсушку с формовочной влажностью 22 % (потери при сушке — 2 %) 67632 : {[1 – (22 – 18)/100] × (1 – 0,02)} = = 676 : 12 : (0,96 × 0,98)	т	71949
Поступление сырья на формовку с влажностью 22 % (потери при транспортировании 1 %) 71949:0,99	т	72676

В заключение дается характеристика обжигового аппарата (табл. 14) (по справочным данным).

4. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Олюнин В.В. Переработка нерудных строительных материалов. Москва : Недра, 1988. — 232 с.

Онацкий С.П. Производство керамзита. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва : Стройиздат, 1987. — 333 с.

Строительство, реконструкция, капитальный ремонт объектов капитального строительства. Нормативные документы на строительные материалы и изделия. Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций. Щебень, гравий и песок для строительных работ [Электронный ресурс] : сборник нормативных актов и документов. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2015. — 249 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30256>.

Организация, планирование и управление в строительстве [Электронный ресурс] : учеб. пособие. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 120 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/59122>.

Библиографический список

Баженова С.И., Чумаков Л.Д. Технология заполнителей бетона [Электронный ресурс] : методические указания для студентов бакалавриата. — Электрон. текстовые данные. — Москва : МГСУ, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2014. — 57 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/27892>.

Чумаков Л.Д. Нормирование и оценка качества строительных материалов и изделий : учеб. пособие. Москва : Изд-во АСВ, 2014. — 184 с.

Румянцев Б.М. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Б.М. Румянцев, Г.И. Горбунов, А.Д. Жуков. — Электрон. текстовые данные. — Москва : МГСУ, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2015. — 396 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/39666>.

Жуков А.Д. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.Д. Жуков, А.Э. Бегляров, В.А. Гусев. — Электрон. текстовые данные. — Москва : МГСУ, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2014. — 252 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/27038>.

Семакина О.К. Машины и аппараты для переработки минерального сырья [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О.К. Семакина, Д.А. Горлушко. — Электрон. текстовые данные. — Томск : Томский политехнический университет, 2014. — 91 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34677>.

Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород : монография / В.С. Лесовик. — Москва : Изд-во АСВ, 2006. — 525 с.

Автоматизация процессов дробления на основе модульного принципа формирования технологической структуры дробильно-сортировочного производства с учетом влияния случайных характеристик компонентов рецепта на качество бетонной смеси [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / С.Ю. Золотарев; науч. рук. Т.А. Суэтина. Москва : Моск. гос. академия коммунального хозяйства и строительства, 2010. — 196 с.

Технология и материаловедение пористых заполнителей и легких бетонов : монография / В.П. Петров [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Москва : Палеотип, РААСН, 2013. — 332 с.

Технология заполнителей бетона (практикум) : учеб. пособие для вузов / Л.Д. Чумаков. 2-е изд., доп. и перераб. — Москва : Изд-во АСВ, 2006. — 135 с.

Макаева А.А. Технология заполнителей бетона : учеб.-метод. пособие / А.А. Макаева. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург : ОГУ, ЭБС АСВ, 2012. — 100 с.