Краткий курс лекций по курсу

«Технология заполнителей бетона»

Составил: к.т.н., доцент кафедры
ТИЭС Шляхова Е.А.

2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие разработано в соответствии с учебным планом и программой дисциплины «Технология заполнителей бетона» и предназначено для студентов очной формы обучения по направлению 08.03.01 «Строительство», дисциплина относится к циклу профессиональных дисциплин.

В учебном пособии рассмотрены следующие вопросы: классификация заполнителей, организация технического контроля качества производства заполнителей, основы технологии производства и экспертизы качества заполнителей, особенности оценки параметров качества в соответствии с требованиями Российских и международных нормативных документов.

В настоящее время без использования заполнителей не может изготавливаться ни один композиционный материал. Таким образом, именно эти материалы относятся к категории важнейших видов продукции народного хозяйства, объем выпуска и качество которых определяет во многом экономический потенциал страны и уровень технического прогресса в ней.

Изучение технологии производства заполнителей имеет своей целью установить, как влияют отдельные технологические операции на формирование качества продукции, как изменяются свойства исходных материалов в зависимости от режимов обработки, какие дефекты могут возникнуть при нарушении технологии производства, какие имеются возможности улучшения качества продукции и ее ассортимента при использовании новейшей технологии и передовой техники. Для осуществления последней задачи технолог должен быть вооружен знаниями о современном техническом уровне промышленности, ее возможностях.

Дисциплина близко соприкасается с материаловедением, которое занимается изучением строения и свойств материалов. При этом основное внимание в материаловедении обращается на исследование технологических свойств материалов с целью установления возможных воздействий на них в процессе технологической обработки.

1. Общие сведения

Заполнители – природные или искусственные материалы определенного зернового состава, которые в рационально составленной смеси в сочетании с вяжущим веществом образуют бетон или раствор. Они занимают в бетоне до 80-90 % общего объема, оказывая большое влияние на технологические свойства бетонной смеси и на качество затвердевшего бетона. Стоимость заполнителей достигает 30 – 50 % стоимости бетонных и железобетонных конструкций, а иногда и более.

Рациональное применение заполнителей позволяет уменьшить расход вяжущего, снизить усадку цементных бетонов, увеличить за счет применения высокопрочных заполнителей прочность и модуль упругости бетона, снизить плотность бетона и его теплопроводность используя легкие пористые заполнители, производить специальные бетоны на особо тяжелых и гидратных заполнителях для надежной защиты от проникающей радиации.

В соответствии с требованиями ГОСТ 25137 заполнители классифицируют по происхождению, крупности зерен, форме зерен и плотности. В обобщенном виде подразделение заполнителей на разновидности в соответствии с этой классификацией представлено на рисунке 1.

По характеру формы зерен различают:

- заполнители, имеющие угловатую, шероховатую форму зерен, получаемые путем дробления горных пород, гравия или искусственных материалов (щебень, песок из отсевов дробления, аглопорит и др.);
- заполнители, имеющие округлую форму зерен (гравий, природный песок и др.).

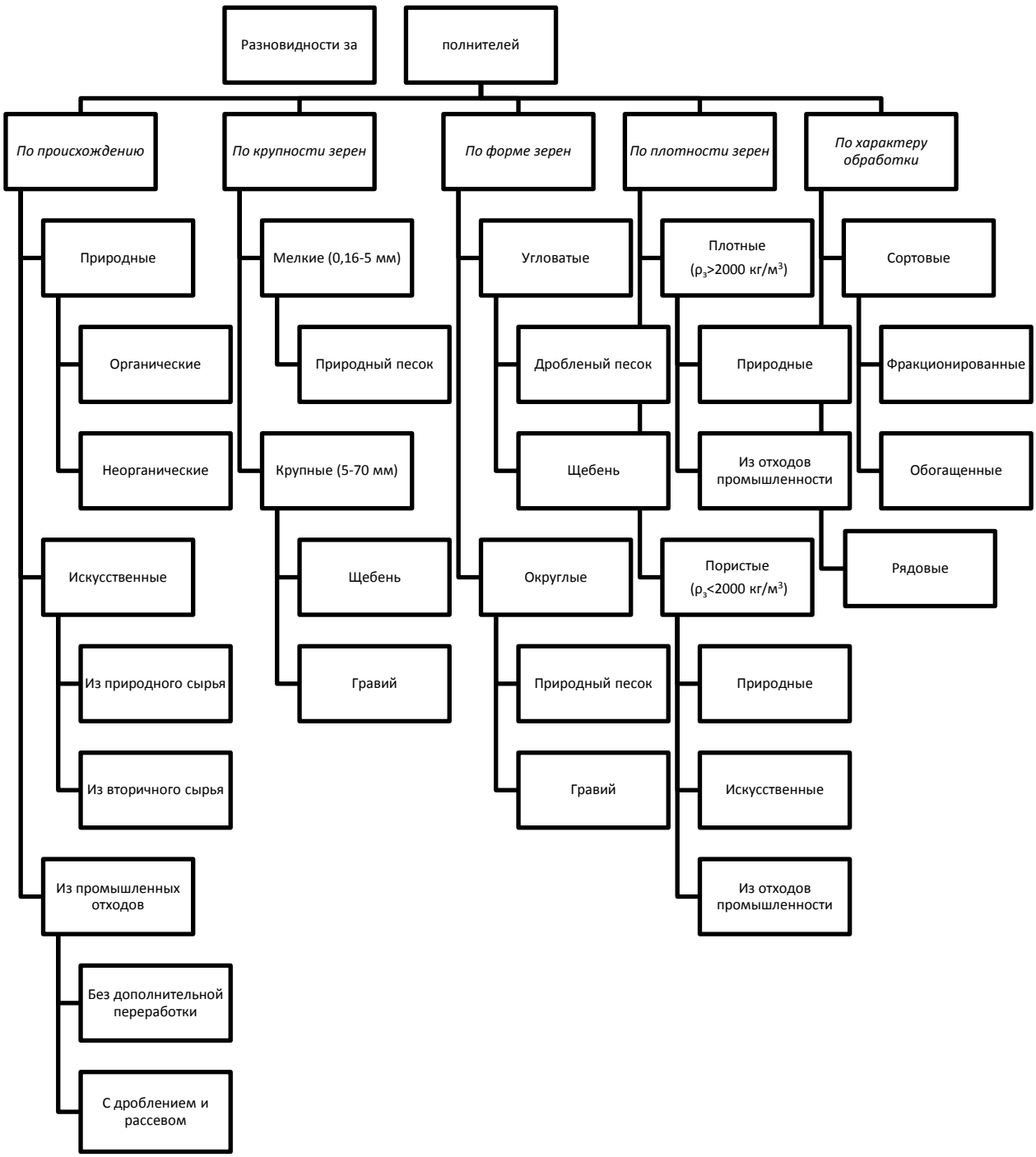


Рисунок 1 - Классификация заполнителей

Форма зерен заполнителя влияет, прежде всего, на удобоукладываемость бетонной и растворной смеси. Пластинчатые, удлиненные (лещадные)

зерна заполнителя укладываются в строго ориентированном, горизонтальном положении. Это делает структуру бетона неоднородной, а его свойства - неодинаковыми (анизотропными) в разных направлениях. Поэтому содержание зерен лещадной формы ограничивается стандартами.

Зерновой состав заполнителей определяют по результатам просеивания пробы через стандартный набор, включающий в себя 10 сит с отверстиями 80(70), 40, 20, 10, 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 и 0,16 мм. Граница раздела между крупным и мелким заполнителем проходит по зерну 5 мм. При лабораторном рассеве пробы заполнителя на ситах между двумя соседними ситами, например 10 и 20 мм или 1,25 и 2,5 мм, задержатся зерна различной крупности в указанных пределах, что составляет соответственно фракцию 10…20мм или фракцию 1,25…2,5 мм. Нередко зерновой состав заполнителя называют фракционным.

Фракционный состав является непрерывным, если содержатся все фракции, на которые рассеивается заполнитель с помощью стандартного набора сит. Фракционный состав – прерывистый, если в заполнителе отсутствует одна или две фракции.

Заполнители подразделяются по крупности на мелкие (*песок*) с размером зерна 0,16-5 мм и крупные (*гравий или щебень*) с размером зерен 5-80(70) мм. При бетонировании массивных конструкций применяют щебень или гравий крупностью до 150 мм.

По происхождению заполнители подразделяют на три основные группы:

– природные;
– искусственные;
– из отходов промышленности.

Природные заполнители могут быть органического и неорганического происхождения.

Неорганические природные заполнители представляют собой материалы, которые получают без изменения их химического и фазового состава и характеризуемые происхождением и петрографическим наименованием горных пород из которых они образованы. К таким заполнителям относятся разновидности, получаемые путем дробления и рассева горных пород (гранита, диабаза, диорита, известняка, вулканического туфа, пемзы, кварцита, мрамора) или только рассева (гравий, кварцевый песок).

Минералогический состав заполнителей оценивают с помощью петрографической характеристики, которая включает: наименование и происхождение горной породы, оценку трещиностойкости и степени выравнивания, данные о наличии вредных примесей, радиационно – гигиеническую оценку и др.

Органические заполнители представляют собой отходы заготовки и переработки древесины (опилки, стружки, древесные волокна и др.); отходы переработки сельскохозяйственной продукции (стебли камыша, хлопчатника, лузга семечек, волокна льняных и конопляных культур и т.д.); отходы и продукты промышленности полимерных материалов (пластики, полимерные волокна, частицы резины и др.). На основе этих заполнителей выпускаются разнообразные виды строительных материалов, цементный фибролит (заполнитель – древесная шерсть), полимербетон (заполнитель – низкомолекулярный полиэтилен).

Искусственные заполнители представляют большой класс материалов, получаемых из природного сырья и отходов промышленности путем термической или иной обработки. К ним относятся керамзит (обжиг со вспучиванием глинистого сырья), шлаковая пемза (поризация расплавов шлаков), безобжиговый зольный гравий (гидратационное твердение гранул из подготовленной смеси золы и вяжущего), аглопорит (обжиг до спекания топливосодержащих песчано-глинистых смесей).

Заполнители получаемые из отходов промышленности производят без изменения их химического состава. В эту группу входят как плотный, так

и пористые щебень и песок из металлургических и топливных шлаков, золы ТЭС, золошлаковые смеси, кирпичный бой.

В последнее время в подгруппу данной группы заполнителей выделяются, так называемые, «вторичные заполнители», которые представляют собой материалы, выделяемые из отслуживших свой срок эксплуатации бетонных, железобетонных и кладочных конструкций. Данное направление является весьма актуальным с точки зрения ресурсосбережения природных запасов и утилизации промышленных отходов.

Схема установки по переработке некондиционных бетонных и железобетонных изделий представлена на рисунке 4.

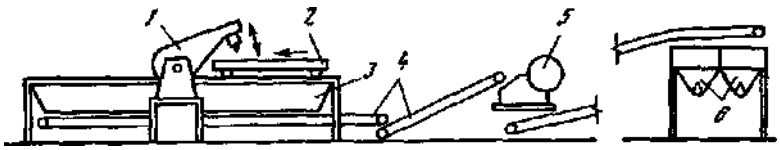


Рисунок 2 - Установка по переработке некондиционных железобетонных изделий и бетонных отходов производства:
1- гидравлический рычажный пресс; 2 - колосниковый стол; 3 - приемный бункер; 4 - конвейер ленточный; 5 - дробилка щековая; 5 - буккера-иакопнтели

Одним из важных показателей качества заполнителей является плотность их зерен ($\rho_з$). По этому признаку они подразделяются на: *плотные*, со средней плотностью свыше 2000 кг/м^3, предназначаемые для тяжелых (обычных) бетонов; и *пористые (легкие)*, имеющие пористую структуру зерен с $\rho_з$ менее 2000 кг/м^3 (обычно 1600…400 кг/м^3), и предназначаемые для использования в легких бетонах или в качестве теплоизоляционного материала.

Классификационной характеристикой может служить **насыпная плотность заполнителей,** которая для крупных пористых заполнителей не должна превышать 1200 кг/м^3, а для пористых песков – 1400 кг/м^3.

По **характеру обработки** заполнители подразделяются на *сортовые*, подвергавшиеся рассеиванию, и *рядовые*, не подвергающие таковому.

По назначению заполнители делят на *плотные* – для тяжелых бетонов, в том числе гидротехнических и дорожных; *пористые*– для легких бетонов и *специальные* – для кислото - и щелочестойких бетонов, для особотяжелых, рентгенозащитных, декоративных бетонов и др.

Физико–механические показатели пород, используемых для получения заполнителей характеризуют прочность, содержание зерен слабых пород (предел прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа), морозостойкость, пористость, водопоглощение и др.

Прочность заполнителей влияет на прочность бетона. Требования по прочности устанавливают только для крупного заполнителя. Прочность щебня из горных пород характеризуется маркой, соответствующей пределу прочности на сжатие образцов – цилиндров исходной горной породы в водонасыщенном состоянии (20-140 МПа). Косвенным показателем прочности щебня может служить его марка по дробимости. Прочность гравия характеризуется его маркой по дробимости, определяемой путем испытания пробы зерен на сжатие в стальном цилиндре под определенным усилием. Стандарт предусматривает возможность оценки прочности породы по показателям дробимости.

Морозостойкость заполнителя оценивают маркой, которая соответствует числу циклов замораживания и оттаивания, выдержанных пробой заполнителя. Марки заполнителя по морозостойкости устанавливаются для каждого вида заполнителя соответствующими стандартами (F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300, F400).

Вредными примесями в заполнителях являются органические, пылеватые и глинистые включения. Особенно вредны: глина, так как она препятствует сцеплению заполнителя с цементным камнем и снижает морозостойкость а также включения реакционноспособных минералов – сульфатов, сульфидов, аморфных разновидностей кремнезема (халцедон, опал, вулканическое стекло), так как они могут в процессе эксплуатации вызвать разрушение бетона. Количество вредных примесей регламентируется стандартами.

Радиационно – гигиеническая оценка содержания естественных радионуклидов является обязательной для всех видов заполнителей, и в особенности для получаемых из промышленных отходов (металлургических шлаков и т.п.).

К заполнителям для жаростойкого, кислотостойкого бетона, декоративного и других видов специальных бетонов предъявляются соответствующими стандартами дополнительные требования.

ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА МЕЛКИЙ – рыхлая смесь зерен материала природного или искусственного происхождения, размером 0,16-5 мм. В качестве мелкого заполнителя в бетоне используется песок.

В соответствии с ГОСТ 8736-93, **природный песок** – это неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений без использования или с использованием специального обогатительного оборудования.

По минералогическому составу различают кварцевые, полевошпатные, карбонатные и др. пески. Как правило, наилучшими по качеству песками являются кварцевые и они чаще используются, однако при производстве безобжиговых материалов (бетонов, асфальтобетонов) их заменяют и другими природными песками.

Среди природных песков встречаются горные (овражные), речные, морские, барханные, дюнные и другие разновидности. Каждый из них имеет положительные и отрицательные свойства, проявляющиеся при использовании их в качестве мелких заполнителей: горные пески содержат повышенное количество глинистых и органических примесей; морские кроме кварцевых зерен могут содержать обломки раковин, снижающие прочность некоторых конгломератов (цементных бетонов и др.); речные и морские имеют излишне отполированную поверхность, не обеспечивающую достаточного сцепления их с вяжущим веществом; дюнные и барханные пески сложены весьма мелкими частицами, не отвечающими требованиям стандарта. При тщательной

проверке качества песков предпочтение отдается той разновидности, качество которой отвечает требованиям стандарта при минимальной стоимости заполнителя.

В зависимости от значений нормируемых показателей качества (зернового состава, содержания пылевидных и глинистых частиц) песок подразделяется на два класса:

I класс - очень крупный (песок из отсевов дробления), повышенной крупности, крупный, средний и мелкий;

II класс – очень крупный (песок из отсевов дробления), повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Зерновой состав песка определяют на стандартном наборе сит с размерами ячеек: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Навеску сухого песка просеивают через набор сит и определяют сначала частные (%) остатки ($a_{2,5}$; $a_{1,25}$; $a_{0,63}$, и т.д.), а затем полные ($A_{2,5}$; $A_{1,25}$; $A_{0,63}$ и т.д.) остатки на каждом сите. Полный остаток на каждом сите равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера. Так, $A_{0,63} = a_{0,63} + a_{1,25} + a_{2,5}$. Размеры полных остатков характеризуют зерновой состав песка. На основании результатов зернового состава рассчитывают модуль крупности песка:

$$M_к = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})/100 \quad (1).$$

Каждую группу песка характеризуют значением модуля крупности, указанным в таблице 1. Это важно знать потому, что чем мельче песок, тем больше необходимо воды на его смачивание (водопотребность песка) и вяжущего, для обмазывания поверхности его частиц.

Для строительных растворов рекомендуется применять пески с $М_к$ не менее 1,2; для бетонов – не менее 2. Количество мелких зерен в песке, проходящих через сито N063, не должно превышать для песка, используемого в строительных растворах – 20%, а в бетонах – 10%. Чем больше в песке мелких зерен, тем больше его удельная поверхность. Для соединения зерен песка в бетоне или растворе необходимо, чтобы цементное тесто покрывало всю поверхность каждой песчинки. Таким образом, расход цемента будет возрас-

тать с увеличением удельной поверхности песка, т.е. с увеличением содержания в нем количества мелких фракций. Именно поэтому не рекомендуется использовать песок с $М_к$ ниже 2 для бетонов и ниже 1,2 – для растворов.

Таблица 1

Группа песка	Модуль крупности $М_к$	Полный остаток на сите № 063, % по массе
Очень крупный	Свыше 3,5	Свыше 75
Повышенной крупности	3,0 …3,5	65 … 75
Крупный	2,5 …3,0	45 … 65
Средний	2,0 … 2,5	30… 45
Мелкий	1,5 … 2,0	10 … 30
Очень мелкий	1,0 … 1,5	До 10
Тонкий	0,7 … 1,0	Не нормируется
Очень тонкий	До 0,7	Не нормируется

Примечание. По согласованию предприятия изготовителя с потребителем допускается в песке класса II отклонение полного остатка на сите № 063 от вышеуказанных, но не более чем на ± 5%.

В строительстве часто используют фракционированный песок, разделенный на крупную (5…1,25 мм) и мелкую (1,25…0,16 мм) фракции. Фракционирование применяют для повышения однородности зернового состава песка. Зерновой состав песка для бетонов нормируется ГОСТ 10268 – 80 по остаткам на всех ситах (рис. 1).

При правильно назначенном зерновом составе пустотность песка не превышает 38%. Всегда учитывается содержание воды в песке, так как влажность существенно влияет на его свойства. Если для других строительных материалов увлажнение, как правило, приводит к увеличению их плотности, то для песка ситуация обстоит иначе. Самый большой объем песок занимает при 4…7% влажности (по массе). Это связано с тем, что влажный песок не столь сыпуч, как сухой, так как каждая песчинка покрывается тонким слоем воды, насыпная плотность песка уменьшается и общий объем песка возрастает (рис. 2). Пленочная вода обладает свойствами клея: песчинки слипаются и агрегируются, занимая при укладке их в какую – либо емкость значительно

больший объем, чем занимал бы сухой песок. При дальнейшем увеличении влажности (порядка 20%) вода входит в межзерновые пустоты песка, вытесняя воздух, насыпная плотность песка снова увеличивается.

Изменение объема свободно засыпанного песка в зависимости от его влажности необходимо учитывать при дозировке песка для бетонной смеси и в других случаях, когда применяется влажный песок, в частности при его добыче или обогащении гидроспособом.

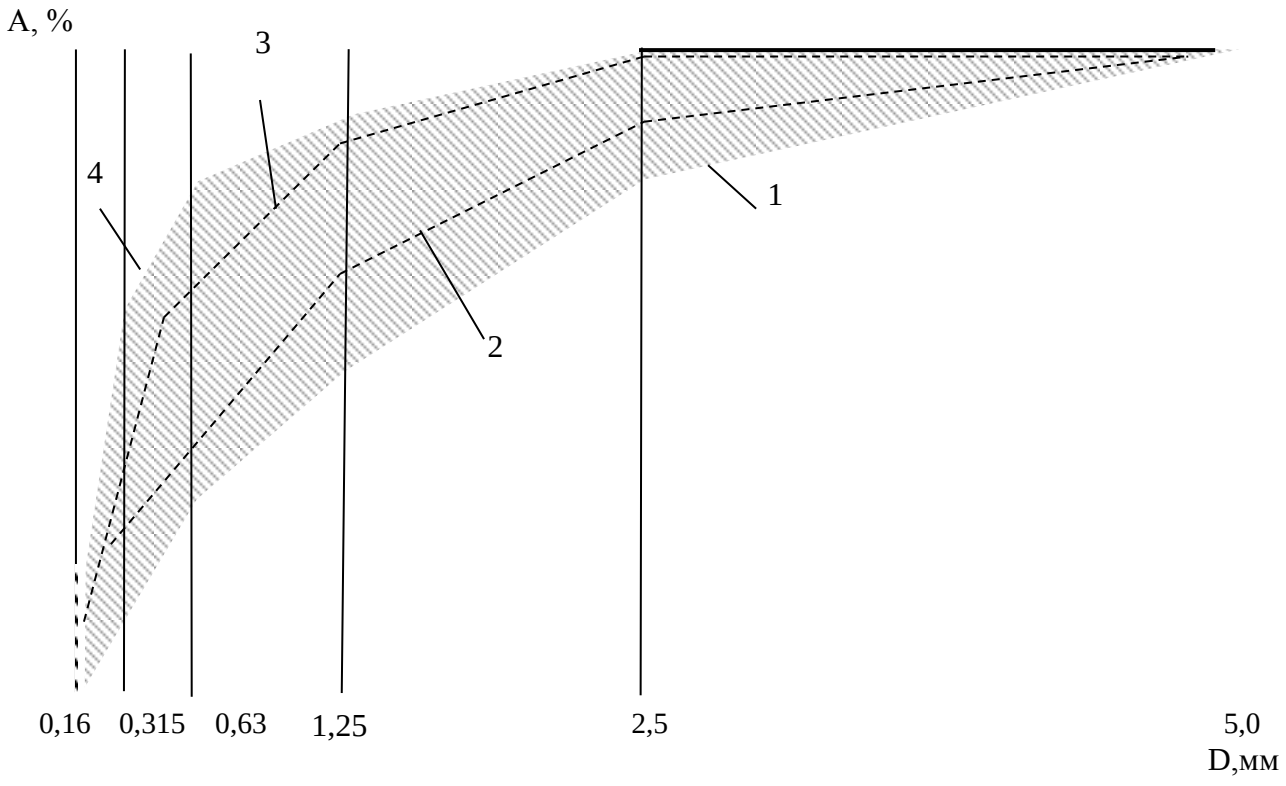


Рисунок 2 - Зерновой состав песка

1- допускаемая нижняя граница крупности песка ($М_к$ = 1,5); 2- рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($М_к$ = 2,0) для бетона класса В15 и выше; 3- рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($М_к$ = 2,5) для бетонов класса В25 и выше; 4 – допускаемая верхняя граница крупности песка ($М_к$ = 3,25) для растворов и бетонов (заштрихованная область – пески, допустимые для использования в растворах и бетонах)

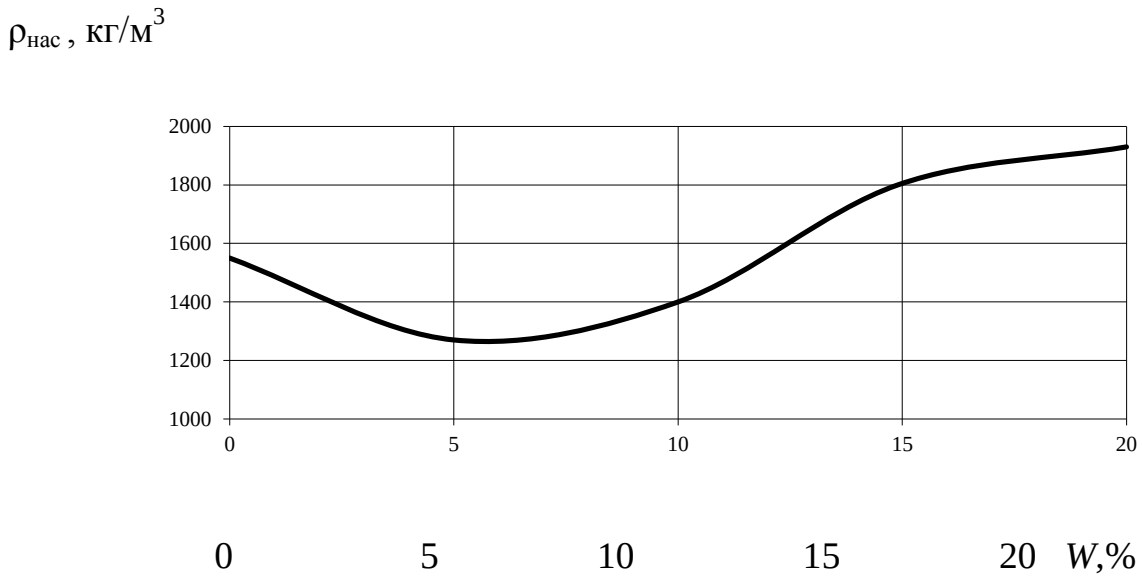


Рисунок 3 - Изменение насыпной плотности песка $\rho_{нас}$, кг/м^3, при изменении его влажности *W*,%.

Косвенной характеристикой пустотности песка служит его насыпная плотность, которая у сухого кварцевого песка в рыхлом состоянии колеблется в пределах 1500…1550 кг/м^3, а в уплотненном встряхиванием состоянии – в пределах 1600…1700 кг/м^3.

Содержание зерен крупностью свыше 10мм, 5мм и менее 0,16 мм по ГОСТ 8736-93 не должно превышать значений, указанных в таблице 2.

Таблица 2

Класс и группа песка	Содержание, в % по массе, не более зерен крупностью		
	Свыше 10 мм	Свыше 5 мм	Менее 0,16 мм
I класс			
Повышенной крупности, крупный и средний	0,5	5	5
Мелкий	0,5	5	10
II класс			
Очень крупный и повышенной крупности	5	20	10

Крупный и средний	5	15	15
Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20
Тонкий и очень тонкий	Не допускается		Не нормируется

Присутствие в песке пылеватых и особенно глинистых примесей снижает прочность и морозостойкость бетонов и растворов. Количество таких примесей определяют отмучиванием (многократной промывкой водой).

Загрязняющие примеси ухудшают качество сцепления зерен заполнителя с вяжущим, уменьшают прочность и однородность изготавливаемых изделий. Для улучшения качества заполнителей применяется их промывка водой или обработка сухими способами – с помощью плоских вибрационных или барабанных грохотов, а также пульсирующих обеспылевателей. В некоторых случаях, например при приготовлении бетонной смеси, заполнители промывают частью воды затворения и тогда загрязняющие примеси, входящие в водную суспензию, выполняют функции высокодисперсных заполнителей.

Содержание в песке пылевидных, глинистых частиц, а также глины в комках не должно превышать значений, регламентируемых ГОСТ 8736-93 и указанных в таблице 3.

Таблица 3

Класс и группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц		Содержание глины в комках	
	в природном песке	в песке из отсевов дробления	в природном песке	в песке из отсевов дробления
I класс				
Очень крупный	-	3	-	0,35
Повышенной крупности, крупный и средний	2	3	0,25	0,35
Мелкий	3	5	0,35	0,50
II класс				
Очень крупный	-	10	-	2

Повышенной крупности, крупный и средний	3	10	0,5	2
Мелкий и очень мелкий	5	10	0,5	2
Тонкий и очень тонкий	10	Не нормируется	1,0	0,1*
*Для песков, получаемых при обогащении руд и цветных металлов и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности.				

Присутствие в песке органических примесей замедляет схватывание и твердение цемента и тем самым снижает прочность бетона или раствора. Для оценки количества органических примесей пробу песка по ГОСТ 8735 обрабатывают раствором едкого натра NaOH и сравнивают цвет раствора с эталоном. Если цвет темнее эталона, песок нельзя использовать в качестве заполнителя, т.к. песок, предназначенный для применения в качестве заполнителя для бетонов, должен обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента.

В стандарте приводится перечень пород и минералов, относимых к вредным компонентам и примесям и их предельно допустимое содержание в песке.

Согласно ГОСТ, песку должна быть дана радиационно – гигиеническая оценка, по результатам которой устанавливают область его применения. Песок в зависимости от значений удельной эффективной активности естественных радионуклидов применяют $А_{эфф}$ применяют:

- при $А_{эфф}$ до 370 Бк/кг – во вновь строящихся жилых и общественных зданиях;
- при $А_{эфф}$ свыше 370 до 740 Бк/кг – для дорожного строительства в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки. а также при возведении производственных зданий и сооружений;
- при $А_{эфф}$ свыше 740 до 2800 бк/кг – в дорожном строительстве вне населенных пунктов.

Природный песок добывается в песчаных и песчано – гравийных карьерах. Песок в карьерах добывают открытым способом или подводной разработкой. Для добычи песка открытым способом используют разнообразные экскаваторы (одноковшовые экскаваторы с прямой лопатой, экскаваторы – драглайны, многоковшовые экскаваторы). Этот способ добычи в настоящее время получил наибольшее применение. Для добычи песка путем подводной разработки со дна водоемов применяют канатные скреперы, землечерпалки, экскаваторы – драглайны.

Искусственные пески получают путем дробления горных пород, некоторых отходов промышленности, например металлургических шлаков (тяжелые пески), либо крупных фракций (свыше 20 мм) искусственно обожженных пористых заполнителей или природных пористых пород (легкие пески), например пемзовый песок, аглопоритовый песок.

Также промышленностью выпускаются специально подготовленные пористые пески (керамзитовый, перлитовый и др.). Эти виды песков применяют для конструкционно – теплоизоляционных легких бетонов, а также акустических бетонов и растворов.

Тяжелые пески, получаемые путем дробления плотных пород, применяют для специальных целей – отделочные растворы, кислотостойкие растворы и бетоны.

ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА КРУПНЫЙ – рыхлая смесь зерен материала природного происхождения или искусственного, размером 5-80(70) мм. В качестве плотного (тяжелого) крупного заполнителя в бетоне используют гравий, щебень природного происхождения, а также щебень из гравия. Зерна щебня имеют более шероховатую, угловатую и более развитую, чем у гравия поверхность, благодаря чему сцепление с цементным камнем у щебня выше, чем у гравия. Для высокопрочного бетона предпочтительнее применять щебень. Плотный заполнитель имеет плотность $\rho_{нас}$ > 1200 кг/м^3 , а пористые заполнители, используемые для легкого бетона, имеют плотность $\rho_{нас} \leq 1200$ кг/м^3.

Природный гравий представляет собой рыхлую смесь окатанных обломков размером от 5 до 70 мм. Горный гравий по сравнению с речным, морским и ледниковым обладает более угловатыми с шероховатой поверхностью обломками и большим количеством пылевато – глинистых примесей. Обломки гравия, окатанные водой, имеют гладкую поверхность, что ухудшает ее сцепление с вяжущим веществом. Лучшей разновидностью гравия считается ледниковый, который менее окатан и имеет более равномерный зерновой состав. Все разновидности гравия (а также природного щебня и дресвы) характеризуются неоднородным петрографическим и минеральным составом, т.к. в их образовании участвуют разнообразные горные породы и минералы. Поэтому оценка их прочности производится на образцах средних проб с отбором из них зерен слабых и неморозостойких пород и определением их содержания по массе. Из-за недостаточного сцепления с цементным камнем в бетоне, гравий, как правило, не применяется в бетонах с пределом прочности выше 30 МПа.

Обработка гравия заключается в сортировке по фракциям, промывка, иногда применяют дробление включений глыб и гальки, что приводит к повышению качества гравийного материала. При содержании в гравии природного песка от 25 до 40% материал называют песчано – гравийной смесью. Применения гравия и песчано – гравийной смеси в производстве строительных материалов производится после предварительных лабораторных проверок прочности, морозостойкости и других показателей качества в зависимости от конструктивных особенностей сооружения. Крупные фракции гравия используют для дробления на щебень.

Щебень – материал, получаемый дроблением горных пород, валунов, крупного гравия или искусственных камней. Для этого применяют различные по конструкции и мощности камнедробильные машины, от которых зависит качество получаемой продукции. Лучшей формой щебенок считается кубовидная или тетраэдрическая, размером в пределах 5…70 мм. Содержание щебенок лещадной и игловатой форм (когда один из размеров зерна мо-

жет превышать другой в три раза и более) не должно быть больше допускаемых стандартом, величины в зависимости от группы щебня приведены в таблице 4.

Таблица 4

Группа щебня	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, в процентах по массе
1	До 15 включительно
2	Свыше 15 до 25
3	Свыше 25 до 35
4	Свыше 35 до 50

Гравий не должен содержать зерен пластинчатой и игловатой форм более 35 % по массе. Эти требования вызваны главным образом тем, что подобные зерна ухудшают удобоукладываемость бетонных смесей. Для бетонов специального назначения могут вводиться дополнительные ограничения.

Щебень и гравий, как правило, применяют фракционированные: 5-10, 10-20, 20-40, 40- 80(70) мм и смеси фракций от 5(3) до 20 мм.

В соответствии с ГОСТ 8267 – 93, по согласованию с потребителем выпускают щебень и гравий в виде фракций от 10 до 15 мм; свыше 15 до 20 мм; свыше 80(70) до 120 мм и свыше 120 до 150мм. Полные остатки на контрольных ситах при рассеве щебня и гравия фракций от 5(3) до 10мм, свыше 10 до 20мм, свыше 20 до 40 мм, свыше 40 до 80(70)мм и смеси фракций от 5(3) до 20мм и от 5 до 15 мм должны соответствовать указанным в таблице 5, где d и D – наименьшие и наибольшие номинальные размеры зерен.

Таблица 5 - Требования к фракционному составу крупного заполнителя

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	d	$0,5(d + D)$	D	$1,25D$
Полные остатки на ситах, % по массе	От 90 до 100	От 30 до 80	До 10	До 0,5
Примечание – Для щебня и гравия фракций от 5(3) до 10 мм применяют соответственно сита 2,5 и 1,25 мм, полные остатки на которых должны быть от 95 до 100% по массе				

В строительстве для обычных бетонов применяют крупный заполнитель в виде смеси двух - трех фракций, что обеспечивает минимальную **межзерновую пустотность** и позволяет изготовлять бетон с минимальным расходом цемента.

Межзерновая пустотность показывает, какую долю составляют пустоты между зернами крупного заполнителя от его объема в рыхло-насыпном состоянии. Она может быть рассчитана по формуле, если известны насыпная плотность $\rho_{нас}$ заполнителя и плотность его зерен $\rho_з$:

$$V_{пуст} = (1 - \rho_{нас}/ 1000\rho_з)\ 100 \qquad (2).$$

Межзерновая пустотность обычно составляет 0,40…0,45. Это означает, что около половины объема крупного заполнителя заполняет воздух. При использовании в бетоне важно, чтобы межзерновая пустотность заполнителя была возможно меньше. В этом случае снижается расход вяжущего при сохранении требуемых свойств бетона. Уменьшить межзерновую пустотность можно правильным подбором зернового состава так, чтобы мелкие зерна занимали пустоты между крупными.

Для пористых крупных заполнителей в еще большей степени, чем для плотных, имеет значение правильный зерновой состав. Пористые заполнители выпускают в виде фракций размером 5-10, 10-20, 20-40 мм. При приготовлении бетонной смеси их смешивают в требуемом соотношении.

Прочность крупного заполнителя для тяжелых бетонов должна быть в 1,5 …2 раза выше прочности бетона. Оценка прочности заполнителя может производиться по прочности той горной породы, из которой получен заполнитель, путем испытания выбуренных из нее кернов (цилиндрических образцов) или путем оценки дробимости самого заполнителя. Дробимость оценивается по количеству мелочи, образующейся при сжатии (сдавливании) пробы заполнителя (гравия или щебня) в стальной форме под определенным усилием. По величине дробимости определяют марку заполнителя. По ГОСТ 8267 – 93 марки по дробимости должны соответствовать требованиям, приведенным в таблицах 6, 7.

Допускается определять марку щебня из осадочных и метаморфических пород как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии. При несовпадении марок по дробимости прочность оценивают по результатам испытаний в насыщенном водой состоянии. Это связано с тем, что насыщение материала водой, как правило, снижает его прочность. Данное явление объясняется тем, что вода в порах и микротрещинах оказывает расклинивающее действие, при этом ослабляются связи между частицами материала. Для большинства применяемых в строительстве заполнителей величины показателей прочности в насыщенном водой состоянии и ненасыщенном могут отличаться незначительно, но для некоторых видов заполнителей эта разница может оказаться весьма существенной.

Предел прочности на сжатие щебня из изверженных пород должен быть не ниже 80 МПа, из метаморфических пород – не ниже 60 МПа, из осадочных пород – не ниже 30 МПа. Принято, чтобы прочность заполнителя превосходила прочность конгломерата на 20 – 50%, но целесообразнее каждый раз обосновывать минимально допустимую прочность заполнителя по характеристике вяжущего вещества оптимальной структуры.

Таблица 6

Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород	Потеря массы при испытании щебня, %	
	в сухом состоянии	в насыщенном водой состоянии
1200	До 11 включительно	До 11 включительно
1000	Свыше 11 до 13	Свыше 11 до 13
800	Свыше 13 до 15	Свыше 13 до 15
600	Свыше 15 до 19	Свыше 15 до 20
400	Свыше 19 до 24	Свыше 20 до 28
300	Свыше 24 до 28	Свыше 28 до 38
200	Свыше 28 до 35	Свыше 38 до 54

Таблица 7

Марка по дробимости щебня из изверженных пород	Потеря массы при испытании щебня, %	
	из интрузивных пород	из эффузивных пород

1400	До 12 включительно	До 9 включительно
1200	Свыше 12 до 16	Свыше 9 до 11
1000	Свыше 16 до 20	Свыше 11 до 13
800	Свыше 20 до 25	Свыше 13 до 15
600	Свыше 25 до 34	Свыше 15 до 20

Щебень и гравий, предназначенные для строительства автомобильных дорог, характеризуются маркой по истираемости в полочном барабане, таблица 8.

Таблица 8

Марка по истираемости щебня и гравия	Потеря массы при испытании, %	
	щебня	гравия
И1	До 25 включительно	До 20 включительно
И2	Свыше 25 до 35	Свыше 20 до 30
И3	Свыше 35 до 45	Свыше 30 до 40
И4	Свыше 45 до 60	Свыше 40 до 50

В крупном заполнителе ограничивают содержание глинистых, илистых и пылевидных частиц, к которым относятся зерна размером не более 0,05 мм. Содержание таких частиц в процентах по массе, в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости, приведено в таблице 9.

Методы определения органических, пылевидных и глинистых примесей аналогичны методам их определений для песка. В крупном заполнителе не должно содержаться зерен активного кремнезема, т.к. они вступают во взаимодействие с щелочами цемента в бетоне, что может со временем вызвать его разрушение.

Таблица 9

Вид породы и марка по дробимости щебня и гравия	Содержание пылевидных и глинистых частиц
Щебень из изверженных и метаморфических пород марок:	
Свыше 800	1
Свыше 600 до 800 включительно	1
Щебень из осадочных пород марок:	
От 600 до 1200 включительно	2

200,400	3
Щебень из гравия и валунов и гравий марок:	
1000	1
800	1
600	2
400	3

Содержание глины в комках, в процентах по массе, не должно быть больше указанного в таблице 10.

Таблица 10

Марка по дробимости щебня и гравия	Содержание глины в комках
Щебень из изверженных, осадочных и метаморфических пород марок:	
400 и выше	0,25
300, 200	0,5
Щебень из гравия и валунов, гравий марок 1000, 800, 600, 400	0,25

Морозостойкость заполнителя должна быть выше проектной морозостойкости бетона. Согласно стандарту, морозостойкость щебня и гравия характеризуют по числу циклов замораживания и оттаивания, при котором потери в процентах по массе не превышают установленных значений, приведенных в таблице 11. Допускается оценивать морозостойкость по числу циклов ускоренных испытаний в растворе сернокислого натрия.

Таблица 11

Вид испытания	Марка по морозостойкости щебня и гравия							
	F15	F25	F50	F100	F150	F200	F300	F400
Замораживание-оттаивание:								
число циклов	15	25	50	100	150	200	300	400
потеря массы после испытания, %, не более	10	10	5	5	5	5	5	5
Насыщение в растворе сернокислого натрия – высушивание:								
число циклов	3	5	10	10	15	15	15	15

потеря массы после испытания, %, не более	10	10	10	5	5	3	2	1

Радиационно – гигиеническая оценка содержания естественных радионуклидов обязательна для всех видов крупного заполнителя, и в особенности для получаемых из промышленных отходов (металлургических шлаков и т.п.)

Производства щебня включает в себя следующие технологические процессы: добычу камня, дробление, сортировку (грохочение). Добыча камня осуществляется в основном в карьерах буровзрывным способом, затем сырье доставляется на дробильно – сортировочный завод. В ряде случаев целесообразно первичное дробление осуществлять непосредственно в карьере.

Технологические схемы щебеночных заводов различаются по назначению в зависимости от трех типов горных пород (I, II, III) приведенных в ОНТП – 18 – 85, а также по принципу их построения, стадийности дробления, поточности, структуре, видам основной и побочной продукции и др. (рисунок 4)

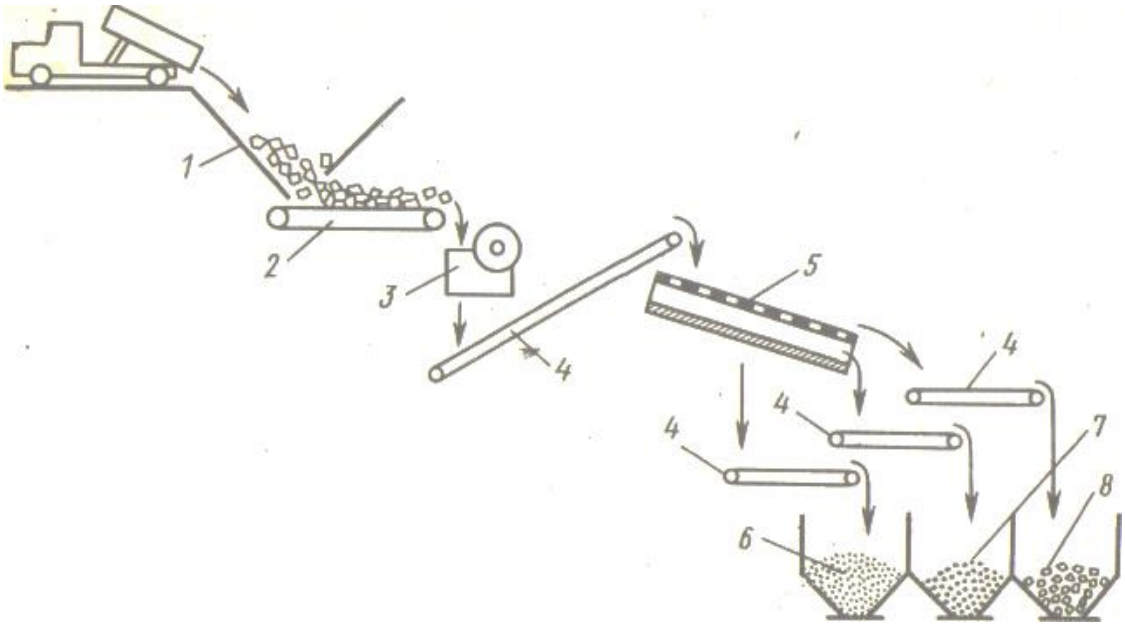


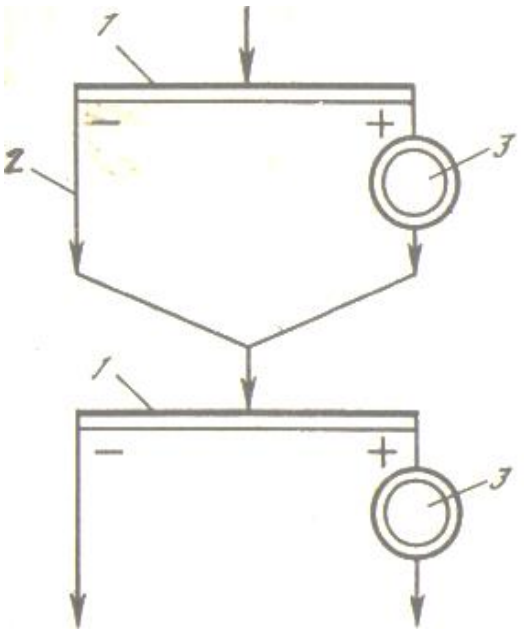
Рисунок 4 - Простейший дробильно-сортировочный завод:

1- приемный бункер; 2 - питатель; 3 - дробилка; 4 - ленточные транспортеры; 5 - грохот; *, 7, 8 - бункера для мелкого, среднего и крупного продуктов дробления

При проектировании щебеночных заводов чаще всего применяются две основные технологические схемы:

- технологическая схема с использованием принципа” не дробить ничего лишнего” предусматривает предварительное грохочение исходной горной массы перед ее поступлением на переработку в дробильное отделение для отделения мелких фракций;
- технологическая схема с использованием принципа” не транспортировать отдельно ничего лишнего” предусматривает поступление материала на дробление из одной дробилки в другую без применения грохочения.

Оба этих принципа могут быть использованы в технологических схемах на разных стадиях дробления (рисунок 5)



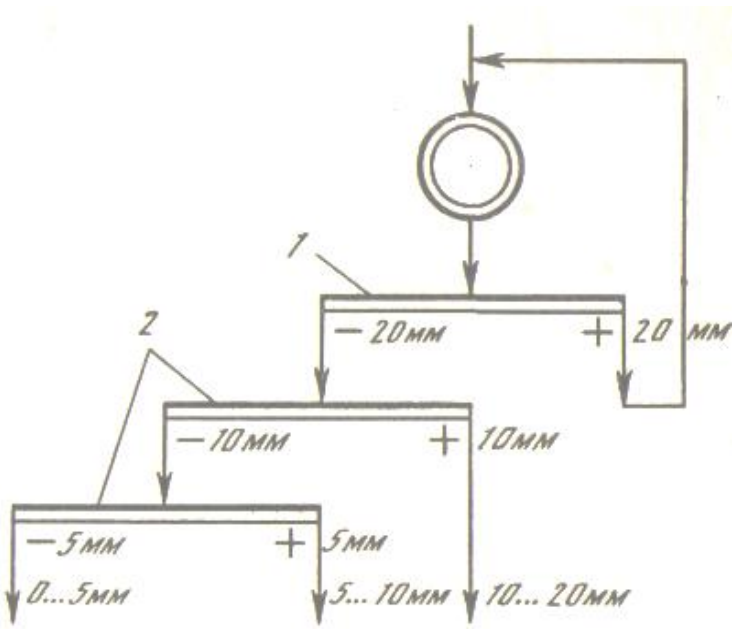


Рисунок 5.1 - Схема дробления с грохочением перед каждой стадией:

1 - грохот; 2 -транспортер в обход дробилки; 3 - дробилка; « + » и «—» - соответственно надрешетный и подрешетный (мелкие классы) продукты

Рисунок 5.2 - Схема замкнутого цикла на последней стадии дробления:

1- поверочное окончательное грохочение; 2-(товарное) грохочение

При разработке месторождений горных пород с малыми запасами используются передвижные дробильно-сортировочные установки малой (до 10 т/ч), средней (до 50 т/ч) и большой производительности (свыше 50 т/ч). Для повышения технико – экономических показателей производства имеет переход на малоотходную технологию добычи и на комплексное использование получаемого сырья.

Широкое распространение получили **пористые заполнители для бетона** – материал природного или искусственного происхождения с плотностью зерен не более 2000 кг/м^3. Такие заполнители применяют для легких бетонов, а также для теплоизоляционных засыпок, дренирующих устройств и т.д. Пористые заполнители изготавливают преимущественно из неорганического сырья. Для теплоизоляционных и некоторых видов конструкционно - теплоизоляционных легких бетонов применяют и органические пористые заполнители. Например, изготавливаемые на основе отходов переработки древесины, продуктов сельскохозяйственного производства (стебли хлопчатника), полистирола (пенополистирольный гравий) и т.п.

Неорганические пористые заполнители отличаются большим разнообразием, их подразделяют на природные и искусственные. Природные пористые заполнители получают путем частичного дробления и рассевом или только рассевом пористых горных пород (пемзы, вулканического туфа, известняка – ракушечника и др.). Искусственные пористые (легкие) заполнители в большинстве своем являются продуктами термической обработки минерального сырья и разделяются на специально изготавливаемые (керамзит, аглопорит) и получаемые как побочные продукты промышленности (топливные шлаки и золы, гранулированные металлургические шлаки и др.)

Природные пористые заполнители представляют собой в основном пористые горные породы вулканического (пемзы, шлаки, туфы, крупнопористые базальты) и осадочного происхождения (пористые известняки, извест-

няки – ракушечники, опоки), предназначенные для применения в качестве заполнителей для бетона и для теплоизоляции. К природным пористым заполнителям по ГОСТ 22263 – 76 относят щебень с насыпной плотностью не более 1200 кг/м^3 , и песок с плотностью не более 1400 кг/м^3 . Основная маркировка пористых заполнителей установлена по *насыпной плотности*. Если она составляет 400…500 кг/м^3, то заполнитель относится к марке 500. ГОСТ предусматривает марки щебня 300, 350, 400 и далее до 1200 с градацией через 100 кг/м^3, песка – 500…1400 кг/м^3.

По размеру зерен щебень подразделяется на следующие фракции: 5-10; 5 – 20; 5 – 40; 10-20 и 20 – 40 мм и песок – крупный, средний, мелкий. По содержанию зерен пластинчатой (лещадной) формы щебень должен удовлетворять требованиям таблицы 12.

Таблица 12

Группа щебня по форме зерен	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) формы, % по массе, не более
Обычная	30
Улучшенная	20
Кубовидная	15
Окатанная	10

Прочность пористых заполнителей определяется сдавливанием в цилиндре, согласно этим данным пористые заполнители подразделяются по прочности на марки, значения которых приведены в таблице 13.

Таблица 13

Марка щебня по прочности	Прочность щебня (при сдавливании в цилиндре), кгс/см^2	
	из пемз и шлаков	из туфов, крупнопористых базальтов, карбонатных и кремнеземистых пород
П 25	Свыше 2 до 3	Свыше 2 до 3
П 35	Свыше 3 до 4	Свыше 3 до 4
П 50	Свыше 5 до 8	Свыше 4 до 6
П 75	Свыше 8 до 10	Свыше 6 до 8

П 100	Свыше 10 до 12	Свыше 8 до 10
П 125	Свыше 12 до 15	Свыше 10 до 12
П 150	Свыше 15 до 20	Свыше 12 до 16
П 200	Свыше 20 до 25	Свыше 16 до 20
П 250	Свыше 25 до 30	Свыше 20 до 25
П 300	Свыше 30 до 35	Свыше 25 до 30
П 350	Свыше 35	Свыше 30

Марка щебня по прочности должна соответствовать установленным стандартом маркам по насыпной плотности, приведенным в таблице 14.

Таблица 14

Марка щебня по насыпной плотности	Марка щебня по прочности, не ниже	Марка щебня по насыпной плотности	Марка щебня по прочности, не ниже
300	П 25	700	П 100
350	П 25	800	П 150
400	П 35	900	П 200
500	П 50	1000	П 250
600	П 75	1100	П 300
		1200	П 350

В зависимости от заданной проектной марки бетона щебень должен иметь марку по прочности не менее указанной в ГОСТ 9757 – 90. Также требованиям ГОСТ должна соответствовать марка щебня по плотности в зависимости от назначения проектируемого бетона и его плотности в сухом состоянии. Коэффициенты вариации показателей качества пористого щебня должны быть не более 5% - по насыпной плотности и не более 15% по прочности зерен при сдавливании в цилиндре.

Коэффициент размягчения щебня из пористых горных пород, определяемый по формуле 3, должен быть не менее 0,6 при использовании в кон-

струкционно – теплоизоляционных легких бетонах и не менее 0,7 при использовании в конструкционных бетонах.

$$k_р = \sigma_{нас} / \sigma_{сух}, \qquad (3)$$

где $\sigma_{нас}$ - предел прочности заполнителя исходной горной породы в насыщенном водой состоянии;

$\sigma_{сух}$ – то же, в сухом состоянии;

Коэффициентом размягчения характеризуют *водостойкость* заполнителя. Водостойкость связана с *водопоглощением* и природой вещества заполнителя, водопоглощение, в свою очередь, связано с пористостью и структурой материала. Эти же факторы определяют и морозостойкость заполнителя. Щебень, применяемый для бетонов с маркой по морозостойкости более 150, по ГОСТ 22263, должен выдерживать не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания, при приготовлении бетонов с маркой по морозостойкости ниже 150, щебень должен выдержать не менее 15 циклов испытаний, при этом потеря в массе не должна превышать 8%.

Пористые пески по зерновому составу в зависимости от назначения подразделяют на три группы – для теплоизоляционного, конструкционно – теплоизоляционного и конструкционного бетонов. Зерновой состав отдельных групп песка приведен в таблице 15.

Выбор той или иной фракции заполнителей или их соотношения при подборе состава бетона производят по ГОСТ 9757 – 90. Щебень и песок пористые, используемые для теплоизоляционных засыпок, должны иметь насыпную плотность не более 800 кг/м^3 и коэффициент теплопроводности, определяемый по ГОСТ 7076 –99, не более 0,15 ккал/м·ч·С°.(Вт/(м*К))

Таблица 15

Размер отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах (% по объему) для групп песка		
	крупного	среднего	мелкого
5,0	0 – 10	0 - 0	0 - 5
2,5	10 – 50	10 - 40	5 - 10

1,25	30 – 70	20 - 60	10 - 40
0,63	50 – 80	30 - 70	15 - 60
0,315	70 - 90	50 - 85	40 - 75
0,16	90 - 95	75 - 90	70 - 90
Проход через сито 0,16	10 - 5	25 - 10	30 - 10

Природные пористые заполнители не должны содержать загрязняющих примесей – растительного слоя почвы, мусора. щепы и т.д.

Характеристики некоторых природных пористых заполнителей приведены в таблице 16.

Таблица 16

Наименование горной породы	Средняя насыпная плотность, кг/м^3			Пористость в куске,%	Водопоглощение,% по массе	Предел прочности при сжатии, МПа
	в куске	щебня	песка			
Вулканические пемзы: Анийские	400… 500	300…600	500…900	68…85	60…80	2,5
Литоидные	1300…1500	700…900	900…1200	40…45	11…18	17…27
Вулканические шлаки: Кармрашенского типа		400…500	600…760		26…35	До 10
Аванского типа		650…950	950…1300		13…30	20…30 и более
Известняк Жирновского карьера (Рост.обл.)	2450	1400…1430		9,5	1.8	7,9
Известняк-ракушечник Константиновского р-на	1990	1103…1050		24	6	2,66

Из приведенной таблицы видно, что природные пористые заполнители различных месторождений отличаются друг от друга своими основными характеристиками и в связи с этим имеют соответствующую область применения в бетонах.

Искусственные пористые заполнители – заполнители, получаемые из природного сырья и отходов промышленности путем термической и других видов обработки и характеризуемые видом сырья и технологией производства. К их числу относят:

керамзит и его разновидности (шунгизит, зольный гравий, глинозольный керамзит, азерит, вспученные аргиллит и трепел). Керамзит представляет собой гранулы округлой формы с пористой сердцевиной и плотной спекшийся оболочкой. Благодаря такому строению прочность керамзита сравнительно высокая при небольшой насыпной плотности (250…600 кг/м^3). Получают керамзит быстрым обжигом во вращающихся печах до вспучивания легкоплавких хорошо вспучивающихся глинистых пород с большим содержанием оксидов железа и органических примесей. Керамзит выпускают в виде гравия и песка. Керамзитовый песок получают в специальных печах ”кипящего слоя”. Марки керамзита 250…600, керамзитового песка 500…1000, морозостойкость керамзита, по ГОСТ 9757 – 90, должна быть не менее F15. Свойства шунгитосодержащих пород регламентрованы ГОСТ 19221, а шунгизита – ГОСТ 9757;

аглопорит – заполнитель в виде щебня или гравия, получаемый спеканием (агломерацией) сырьевой шихты из глинистых пород и топливных отходов. Марки аглопорита от 400 до 900, межзерновая пустотность составляет 50…60%, пористость зерен 40…60%;

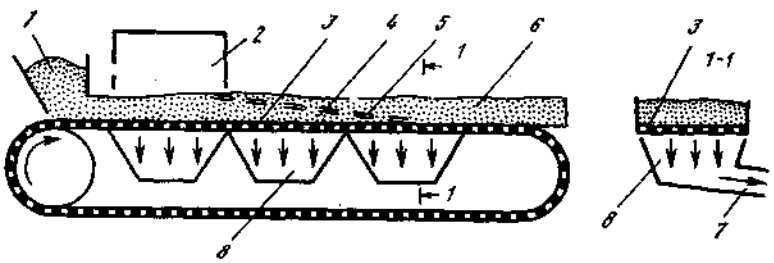
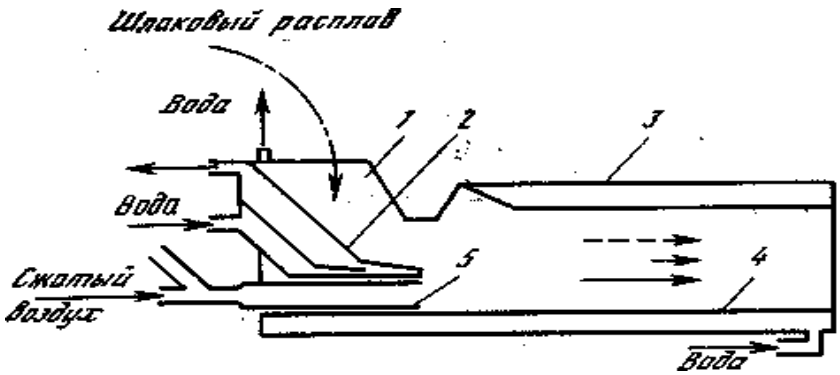


Рисунок 8 - Схема агромерационной машины:

1-загрузка шихты; 2- зажигательный горн; 3 - колосниковая решетка; 4-• слой спекаемой шихты; 5 - зона горения топлива; 6 - спекшийся корж; 7 - отсос газов; 8 - вакуум-камера

шлаковая пемза – пористый щебень, получаемый вспучиванием расплавленных металлургических шлаков путем их быстрого охлаждения водой или паром. Этот вид заполнителя экономически очень эффективен, так как его производство основано на использовании отходов металлургической промышленности. Марки шлаковой пемзы по ГОСТ 9757 от 400 до 900, пустотность фракционированного щебня не должна быть более 52%, среднее значение коэффициента формы не должно превышать 2,5. Используют шлаковую пемзу преимущественно в конструкционно – теплоизоляционных бетонах ограждающих конструкций;



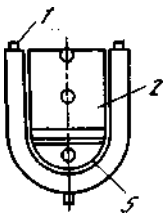


Рисунок 9-. Схема струйного вододутьевого аппарата:

1 - стенка приемной камеры; 2,- направляющий лоток; 3- водяная рубашка; 4 - камера смешения; 5-рабочее сегментное сопло

Получение пемзы округлой формы с замкнутыми порами представлено на рисунке 10.

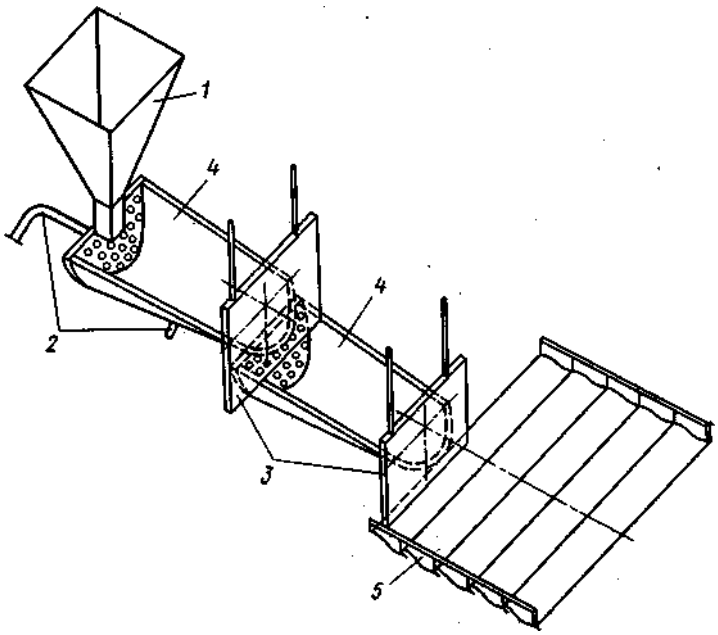


Рисунок 10 - Схема установки для гидроэкранного способа получения шлаковой пемзы:

1 - приемная воронка;2 - гидромониторная насадка; 3 - экран; 4 - желоб; 5 - пластинчатый перегружатель

термолит – продукт обжига без вспучивания щебня и гранул кренезе-мистых опаловых пород (диатомита, трепела, опоки и др.). Насыпная плотность термолитового гравия или щебня составляет 600…1200 кг/м^3, плотность зерен 1,0…1,9 г/см^3, пористость зерен 20…60%. Прочность при сдавливании термолитового щебня составляет 1.4…4 МПа, гравия – 2…7 МПа;

Вспученные перлитовые щебень и песок – пористые зерна белого или светло-серого цвета, получаемые путем быстрого (1…2 мин) нагрева до температуры 1000…1200 °С вулканических водосодержащих (3…5%) пород.

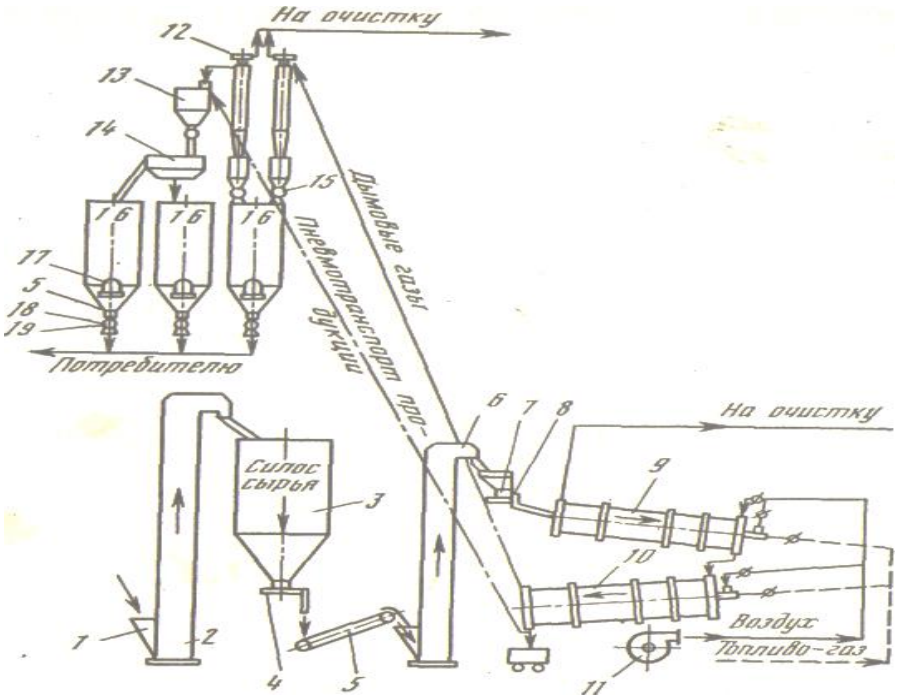


Рисунок 11- Технологическая схема производства перлитовых щебня и песка обжигом во вращающейся печи:

1 - загрузочное устройство для сырья; 2 - элеватор ленточный; 3 - силос сырья; 4 - питатель тарельчатый; 5 - конвейер ленточный передвижной; 6 - элеватор ленточный; 7- затвор реечный шиберный; 8- питатель дисковый; 9- печь термоподготовки СМТ-178; 10 - печь вспучивания вращающаяся СМТ-179; 11 - дутьевой вентилятор; 12 - циклон; 13 - осадитель; 14 - сито-бурат; 15 -затвор-питатель; 16 - силосы готовой продукции; 17 - затвор челюстной; 18 - питатель дисковый (производство щебня); 19 - питатель ячейковый (производство песка)

При обжиге исходная порода увеличивается в объеме в 5…15 раз, а пористость образующихся зерен достигает 85…90%. В соответствии с ГОСТ 10832 перлитовый песок выпускается марок 75…500, щебень – 200…500. Прочность щебня при сдавливании в цилиндре должна быть не менее 0,15…0,9 МПа.

Вспученный перлит отличается от других пористых заполнителей тем, что мелкие фракции вспученного перлита легче крупных. Это объясняется особенностями вспучивания стекловидных пород, так как исходная стекловидная порода удерживает газы, и чем лучше она прогревается в мелких гранулах, тем интенсивнее она вспучивается. При производстве же, например, керамзита глиняная крошка часто может вообще не вспучиться, так как

еще до перехода в пиропластическое состояние теряет вспучивающие ее газы. Особенности высокой поровой структуры объясняют требования стандарта по ограничению водопоглощения: для марки перлита 50 – не более 30%, для марки 400 – 50%, для марки 300 – 75%, для марки 250 – 100%, для марки 200 – 125% по массе.

Основная номенклатура природного сырья и побочных продуктов промышленности, используемых для производства искусственных пористых заполнителей, приведена в таблице 17, а требования к сырью по химическому составу – в таблице 18.

Исходными сырьевыми материалами для производства керамзитового гравия и песка служат легкоплавкие глинистые породы, сланцы, аргиллиты и другие, обладающие способностью к вспучиванию при обжиге при температуре 1050 - 1250°С. При этом образуется пористый материал ячеистого строения, степень вспучивания определяется *коэффициентом вспучивания* $К_{всп}$, определяемым по формуле 4:

$$К_{всп} = V_{кер} / V_с = \rho_с / \rho_{кер} (1 – п.п.п./100), \quad (4)$$

где $V_{кер}$, $\rho_{кер}$ – объем и плотность вспученного керамзита,

$V_с$ $\rho_с$ – объем и плотность сухой сырцовой гранулы,

п.п.п. – потери в массе сухой сырцовой гранулы при прокаливании.

Вспучиваемость глин оценивается по коэффициенту вспучивания и по плотности вспученной гранулы, которую можно получить из данной глины. По этим признакам глинистые породы условно можно разделить на четыре группы, данные приведены в таблице 19.

Таблица 17 - Номенклатура сырья для производства искусственных пористых заполнителей

Сырье	Характеристика	Вспучиваемость	Назначение
Природные глинистые породы			
Глина	Горная порода различной пластичности, содержит более 30% частиц размером менее 1 мкм	Вспучивается при быстром нагревании до 1250˚С	Керамзитовый гравий и песок
Суглинок и супесь	Малопластичная порода, содержит от 10 до 30% частиц	Не вспучивается или слабо вспучива-	Аглопоритовый щебень и

	менее 1 мкм	ется	песок или связующая добавка
Аргиллит	Камнеподобная порода, в воде не размокает	Вспучивается при быстром нагревании	Керамзитовый гравий и песок
Глинистые сланцы, в том числе шунгитовые	Камнеподобная порода, не размокает в воде, с четко выраженной слоистостью	Вспучивается при быстром нагревании; Не вспучивается или слабо вспучивается	Керамзитовый гравий и песок; Аглопоритовый щебень и песок
Природные неглинистые породы			
Опаловые (кремнистые) породы	Малопластичные с повышенным содержанием кремнезема	Вспучивается при быстром нагревании; Не вспучивается или слабо вспучивается	Керамзитовый гравий и песок; Термолитовый гравий и щебень
Вулканическое водосодержащее стекло (перлит, обсидиан и др.)	Изверженная горная порода (перлит, обсидиан, витрофир и др.) с содержанием вулканического стекла более 85%	Вспучивается при нагревании	Вспученный перлит
Гидратированные слюдистые сланцы	Содержат гидратированную магнезиально-железистую слюду (вермикулит) в количестве не менее 20-30%	Вспучивается при нагревании	Вспученный вермикулит
Побочные продукты промышленности			
Зола – уноса ТЭС	Тонкодисперсный сухой продукт пылеугольного сжигания топлива	Спекается или вспучивается при быстром нагревании	Аглопоритовый гравий, щебень, зольный гравий, глинозольный керамзит
Золошлаковая смесь отвалов ТЭС	Смесь золы и шлака гидроудаления	Спекается или вспучивается при быстром нагревании	Аглопоритовый гравий, щебень, зольный гравий, глинозольный керамзит
Глинистые отходы угледобычи и углеобогащения	Неоднородная грубообломочная смесь глины, глинистого сланца, углистого вещества и примесей (песчаников, песков, реже известняков)	В основном не вспучивается	Аглопоритовый щебень и песок

Таблица 18 - Содержание оксидов (%) в сырьевых материалах для производства пористых заполнителей

Оксид	Керамзит	Аглопорит	Перлит	Термолит	Аглопоритовый гравий
SiO_2	<70	60-85	65-76	60-84	45-65
Al_2O_3	10-25	5-16	12-15	5-17	15-35
$FeO + Fe_2O_3$	2,5-12	3-7	Не более 3	3-7	2-18
CaO	<6	<10	Не более 3	3-10	<12
MgO	<4	<3			
SO_3	<1,5	<3		<2	<1
$K_2O + Na_2O$	1,5-6	1,5-6	3-10	<5	-
Органическое вещество	<3	<15	1,5-10	-	10-12

Таблица 19- Классификация глинистого сырья по степени его вспучивания

Группа сырья	Плотность пористого черепка в куске в кг/м^3, которую способно давать при обжиге глинистое сырье	Коэффициент вспучивания
Высоковспучивающиеся	Не более 400	7 - 8
Средневспучивающиеся	400 – 750	4 - 5
Слабовспучивающиеся	750 – 1500	2 – 2,5
Невспучивающиеся	1500 и более	Менее 2

Для получения керамзитового гравия и песка с минимальной плотность и улучшения процесса обжига применяют минеральные и органические добавки. Корректирующие добавки способствуют снижению температуры начала перехода массы в пиропластическое состояние, расширению температурного интервала вспучивания, увеличению в грануле количества расплава оптимальной вязкости и объема выделяющихся газов в интервале температуры вспучивания.

В качестве минеральных корректирующих добавок используют тонкомолотую дисперсную железную руду, молотые пиритные огарки. Коэффициент вспучивания может быть повышен добавкой в исходное глинистое сырье примерно 1% мазута, солярового масла, нефти. Для расширения *температурного интервала вспучивания* используют опудривание сырцовых

гранул порошком огнеупорной глины, молотым кварцевым песком, что позволяет избежать оплавления гранул при обжиге.

Температурным интервалом вспучивания (Δt) называют разницу между *предельно возможной температурой* обжига и *температурой начала вспучивания сырья.* За температуру начала вспучивания ($t'_{всп}$) принимают температуру, при которой уже получается керамзит с плотностью гранулы 0,95 г/см^3. Предельно возможной температурой обжига ($t'_{обж}$)считается температура начала оплавления гранул. Следовательно,

$$\Delta t = t'_{обж} - t'_{всп} \qquad (5)$$

Чтобы обеспечить практическую возможность производства керамзита в промышленных условиях, интервал вспучивания сырья должен быть не менее 50 ºС.

Выбор технологической схемы производства искусственных заполнителей 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. Основные способы производства керамзитового гравия в зависимости от свойств исходного сырья приведены в таблице 20.

Таблица 20

Наименование способа производства	Вид исходного сырья	Влажность,%	Краткое описание способа подготовки сырья
Сухой способ	Твердое, камнеподобное хорошо вспучивающееся сырье (шунгиты, аргиллиты, глинистые сланцы)	До 8	Карьерная глина подвергается дроблению и рассеву. При карьерной влажности свыше 8% - гранулы сушат, затем отправляют на обжиг. Способ наиболее экономичен.
Пластический способ	Рыхлое глинистое сырье, хорошо намокающее в воде, с карьерной влажностью ниже	18…28	Глинистое сырье в увлажненном состоянии перерабатывается в вальцах, глиномешалках. Затем из пла-

	или равной их формовочной влажности		стичной массы формуют на шнековых прессах сырцовые гранулы в виде цилиндров с дальнейшем их окатыванием. При данном способе возможно увеличение коэффициента вспучивания.
Порошково-пластический способ	Неоднородное по составу глинистое сырье	Обязательная сушка при любой влажности	Сырье подвергают сушке и измельчению, получая порошок, из которого при добавлении воды формуют гранулы. Способ требует дополнительных затрат на сушку, но при этом качество подготовки неоднородного сырья значительно возрастает.
Мокрый (шликерный)	Глины с высокой формовочной влажностью, высоковязкие глины и с высоким содержанием каменистых включений (более 10%)	Свыше 28	Способ является бесформовочным. Сырье поступает в глиноболтушки, откуда с влажностью примерно 50% шликер (шлам) поступает во вращающиеся печи. Способ не получил широкого распространения из-за высоких энергозатрат.

Из общего объема выпуска искусственных пористых заполнителей более ¾ приходится на долю керамзита и его разновидностей, остальное - на вспученный перлит, вермикулит, аглопорит, шлаковую пемзу, термолит и др. Оптимальные мощности цехов керамзитового (шунгизитового) гравия и песка составляет 100…200 тыс.м^3 в год, заводов – от 200 до 400 тыс. м^3 в год. Схемы производства керамзита представлены на рисунке 12.

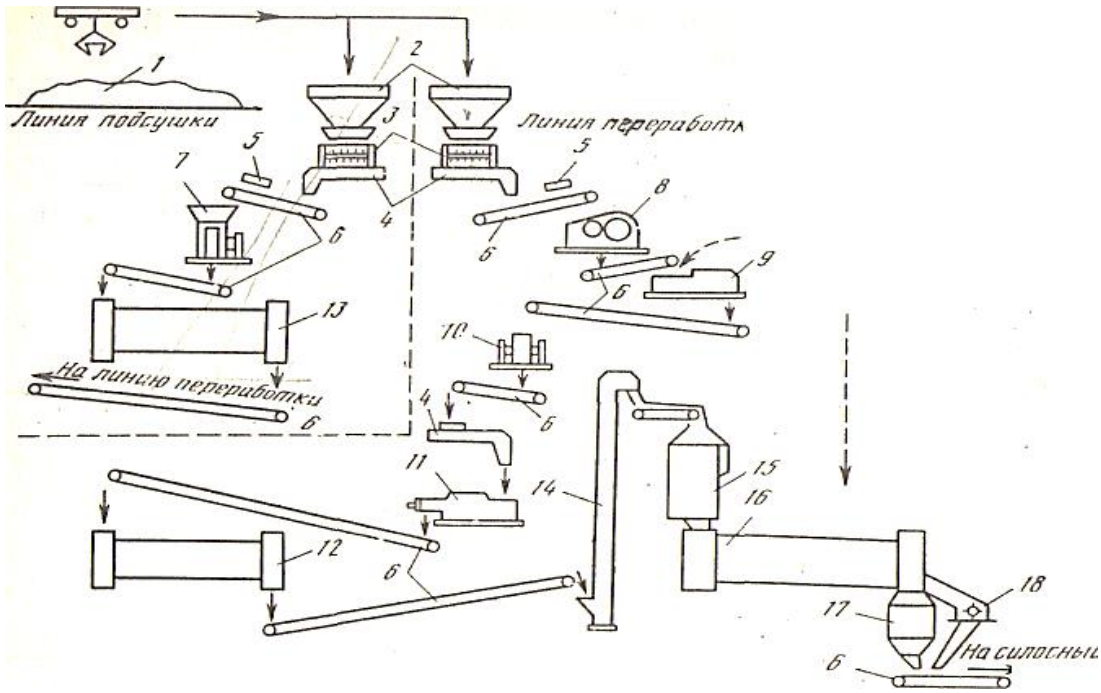


Рисунок 12 - Технологическая схема производства керамзита с подготовкой сырцовых гранул по пластическому способу обжигом в агрегате СМС-197:

1 - склад глины, оборудованный мостовым электрическим краном с грейфером- 2 - бункер приемный; 3- глинорыхлитель; 4 - питатель ящичный; 5 - железоотделитель' подвесной-6 -конвейер ленточный; 7 - вальцы дырчатые (или камневыделительные)- 8 - вальцы грубого помола (камневыделительные); 9 - пресс ленточный шнековый с камневыделительной приставкой (или смеситель с фильтрующей решеткой); 10 - вальцы тонкого помола- 11 - пресс ленточный шнековый с гранулирующей приставкой; 12 - барабан сушильный для подсушки гранул; 13 - барабан сушильный для подсушки глины; 14 - элеватор- 15 -подготовитель слоевой; 16-печь вращающаяся 2,8х20; 17 - холодильник слоевой- 18 - дробящее устройство (для спеков)

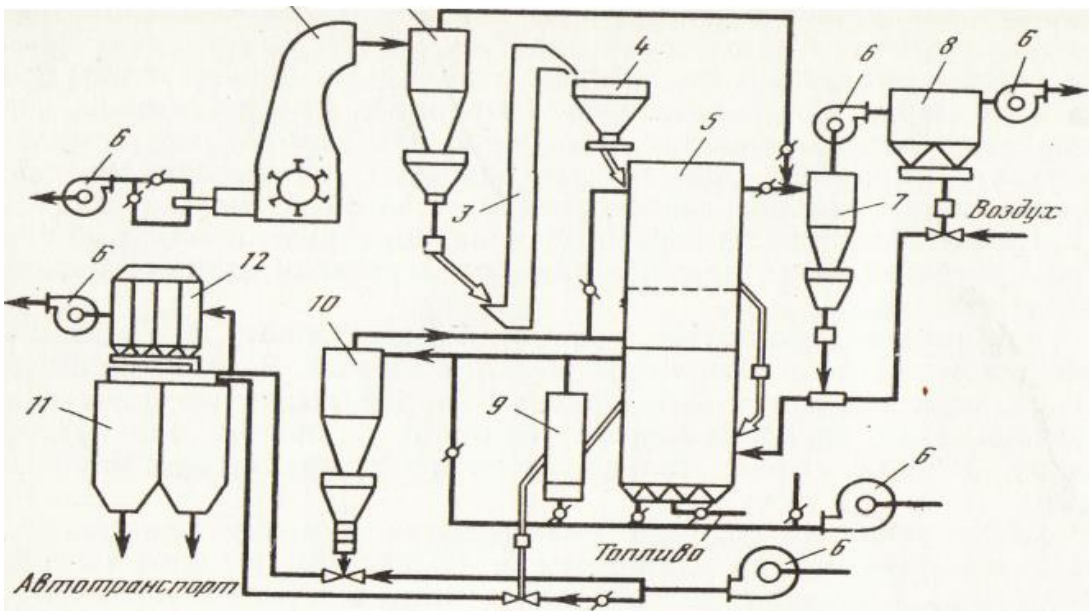


Рисунок 13 - Технологическая схема производства керамзитового песка: 1-молотковая мельница; 2 - осаднтельный циклон; 3 - элеватор- 4 – бункер; 5 –печь кипящего слоя СМС-139; 6-вентиляторы; 7- батарея циклонов; 8-электфильтр; 9- холодильник; 10 - футерованный циклон; 11- склад готовой продукции

При проектировании производства основными критериями оценки эффективности применяемых технологий служат показатели ресурсо – и энергозатрат, а также показатели стабильности качества выпускаемых искусственных пористых заполнителей.

Заполнители органические применяют для производства теплоизоляционных, а также теплоизоляционно – конструкционных и конструкционных материалов и изделий: арболита, цементного фибролита, ксилолита, камышебетона, торфоплит, теплоизоляционных плит из костры и льна, древесноволокнистых, древесностружечных плит и др.

В качестве древесных и других органических заполнителей используют отходы лесозаготовок (вершины, сучья, пни, корни и др.), лесопиления и деревообработки (щепу, стружки, опилки), сечку камыша, сельскохозяйственные отходы (рисовую соломку, льняную и конопляную костру, стебли

хлопчатника, подсолнечную лузгу), побочные продукты целлюлозной промышленности.

Сырьевая база для получения древесных заполнителей остается практически неограниченной, поскольку объем древесных отходов составляет примерно 150 млн. $м^3$ в год. Наиболее перспективными являются отходы деревообработки. Их подвергают предварительной подготовке с целью очистки от загрязняющих примесей и получения частиц нужной формы и размеров. В зависимости от формы отходы древесины подразделяют на:

- дробленку – длина 2-20 мм, толщина до 5 мм;
- стружку - длина 2-20 мм, минимальная толщина – 0,1…1 мм;
- древесную шерсть - длина 500 мм, толщина 0,2…0,7 мм, ширина 2…5 мм.

Качество древесных заполнителей зависит от свойств тех древесных пород, из которых получены заполнители. Например, показатель средней плотности различных пород древесины колеблется в весьма широких пределах – от 380 до 1100 $кг/м^3$ (в абсолютно сухом состоянии). Древесные заполнители обладают значительным водопоглощением, оно возрастает с уменьшением размера частиц.

Пористость древесины основных пород применяемых в строительстве – 50…70%. В качестве заполнителей желательно применять те, у которых пористость минимальна, так как от этого зависит конечная пористость изготавливаемого изделия.

Содержание хвои в заполнителях должно быть не более 5%, а коры – не более 15% массы абсолютно сухой древесины. Не допускаются заполнители, имеющие гнилостный запах и гнили.

З*аполнители из камыша и костры* применяют чаще всего для изготовления арболита и теплоизоляционных плит. Стебли камыша подвергают дроблению на молотковой дробилке и получают сечку с размером частиц длиной 7-35 мм, шириной 2-6 мм и толщиной 1-2 мм. Средняя плотность

сечки составляет 150…155 кг/м^3, насыпная плотность колеблется в широких пределах от 60 до 120 кг/м^3, а пустотность – от 77 до 88%.

Конопляная костра представляет собой мелкие частицы дробленой одревесневшей части стебля неправильной формы с длиной 10 – 70 мм и диаметром в поперечнике 2 – 2,5 мм. насыпная плотность костры 100 – 120 кг/м^3, влажность 17 – 22%. Льняная костра состоит из узких тонких пластин длиной до 50 мм, шириной до 3 мм и толщиной до 3мм. Насыпная плотность 110 – 120 кг/м^3, влажность (в отвалах) 15 – 20%, водопоглощением 220 – 240%.

Использование древесных и других растительных заполнителей для изготовления различных строительных материалов дает возможность получить большой экономический эффект; уменьшить загрязнение окружающей среды.

В последнее время увеличилось внимание к **полимерным заполнителям**, основным из которых является *пенополистирол* $[-CH_2-CH(C_6H_5)-]n$, получаемый из бисерного полистирола путем вспенивания сырцовых гранул при нагревании. Гранулы пенополистирола применяют для изготовления легких бетонов и эффективных теплоизоляционных материалов – пенопластов.

Требования к вспененому пенополистиролу (ПВГ) как к заполнителю для

полистиролбетона предъявляются в ГОСТ Р 51263 – 99. В зависимости от качества сырья (марки полистирола по ОСТ 301-05-202-92Е) и режима вспенивания пенополистирольный заполнитель может иметь марку по насыпной плотности 10, 15, 20, 25, 30 с фактическими значениями насыпной плотности, указанными в таблице 21.

По размерам зерен ПВГ подразделяют на крупный и мелкий. Фракционный состав крупного и мелкого ПВГ должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 22.

Таблица 21

Марка ПВГ по насыпной плотности	Насыпная плотность ПВГ, кг/м^3
10	Менее 10
15	11…15
20	16…20
25	21…25
30	26…30

Таблица 22

Размер фракции, мм	Содержание, % по объему в ПВГ	
	крупном	мелком
10 - 20	5-20	0-5
5- 10	70-30	30-50
2,5 - 5	20-50	40-60
0 - 2,5	0 -5	5-10

Наличие в ПВГ зерен крупностью более 20 мм не допускается, влажность ПВГ не должна превышать 15 % по массе.

Содержание остаточного мономера (стирола) в заполнителе не должно превышать 0,002 % по массе. Допускается применение ПВГ с большим содержанием остаточного мономера при условии обеспечения экологической безопасности полистиролбетона и изготовленных из него изделий.

Выбор крупности пенополистирольного заполнителя и его марки по насыпной плотности производят исходя из требований, предъявляемых к полистиролбетону по плотности и прочности в соответствии с утвержденным технологическим регламентом.