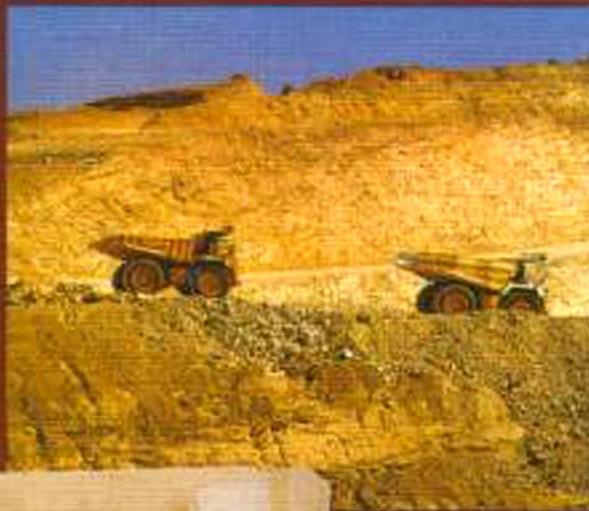


Л.Д. Чумаков



**ТЕХНОЛОГИЯ
ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ
БЕТОНА**

(ПРАКТИКУМ)



*К 50-летию работы
автора в МГСУ*

Л.Д. Чумаков

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ БЕТОНА

Рекомендовано Министерством общего профессионального образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по строительным специальностям

2-е издание, исправленное и дополненное



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2011

Рецензенты

действительный член Международной Педагогической Академии, доктор технических наук, профессор *В.Н. Соков*; заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии», д.т.н., профессор, член-корр. РАН, лауреат Государственных премий СССР и РФ *Б.В. Гусев*.

Чумаков Л.Д.

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ БЕТОНА: Учеб. пособие / Издательство АСВ. – 2-е изд., исправленное и дополненное. М.: 2011. – 264 с.

ISBN 978-5-93093-826-5

В учебном пособии рассмотрены сведения об источниках сырья для получения заполнителей, технологии их производства, технологические требования к заполнителям, их свойства и методы испытаний, особенности применения в бетонах. Уделяется внимание более доступным и дешевым заполнителям, а также производству их из местного сырья и отходов промышленности. Рассматриваются основные вопросы снижения материалоемкости, экономии топливно-энергетических ресурсов и повышения качества заполнителей.

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

ISBN 978-5-93093-826-5

© Издательство АСВ, 2011

© Чумаков Л.Д., 2011

Оглавление

Введение	5
ЧАСТЬ 1. Общие сведения	6
Глава 1. Назначение и классификация заполнителей	6
1.1. Назначение заполнителей	6
1.2. Классификация заполнителей	7
Глава 2. Основные свойства и методы испытаний заполнителей	11
2.1. Плотность, пористость и пустотность заполнителей	11
2.2. Форма зерен заполнителя, их взаимная укладка	16
2.3. Зерновой состав и удельная поверхность	18
2.4. Прочность заполнителя	26
2.5. Морозостойкость заполнителя	29
2.6. Технологические характеристики заполнителя	30
2.7. Показатели качества заполнителей	31
2.8. Требования экологической безопасности	40
Глава 3. Влияние заполнителей на свойства бетонной смеси и бетона	42
3.1. Содержание заполнителя в бетонной смеси и его водопотребность	42
3.2. Влияние заполнителя на приготовление, укладку и твердение бетонной смеси	45
3.3. Влияние заполнителей на плотность и прочность бетона	49
3.4. Влияние заполнителя на деформативные свойства бетона	55
3.5. Эффективность использования заполнителей в бетоне	57
ЧАСТЬ 2. Технология производства плотных заполнителей	60
Глава 4. Горные породы и разработка их месторождений	60
4.1. Горные породы для производства плотных заполнителей	60
4.2. Экскаваторный способ разработки месторождений	65
4.3. Гидромеханизированный способ разработки месторождений	70
4.4. Классификация добытых горных пород по технологическому назначению для переработки	73
Глава 5. Основные технологические процессы и оборудование для производства и обогащения плотных заполнителей	75
5.1. Дробление	75
5.2. Грохочение	78
5.3. Промывка	84
5.4. Гидравлическая классификация и обезвоживание	86
5.5. Обогащение	89
Глава 6. Технология производства щебня, гравия и песка	94
6.1. Типы заводов и установок	94
6.2. Особенности построения технологических схем переработки различных видов горных пород	94
6.3. Технологическая и качественно-количественные схемы	97
6.4. Оборудование и схема цепи аппаратов	101
6.5. Щебеночные заводы по переработке различных видов скаль- ных горных пород	102
6.6. Гравийно-песчаные и песчаные заводы	108

6.7. Передвижные дробильно-сортировочные линии и установки	115
6.8. Склады промежуточные и готовой продукции.....	122
ЧАСТЬ 3. Технология пористых заполнителей.....	129
Глава 7. Природные пористые заполнители и техногенные отходы	129
7.1. Природные пористые заполнители.....	129
7.2. Золы и золошлаковые смеси	134
7.3. Безобжиговый зольный гравий	135
Глава 8. Искусственные пористые заполнители	139
8.1. Керамзитовый гравий	139
8.2. Керамзитовый песок	164
8.3. Шунгзит	167
8.4. Вспученный перлит.....	169
8.5. Аглопорит	173
8.6. Шлаковая пемза.....	178
8.7. Прогрессивные отечественные и зарубежные научно-технические разработки	182
Глава 9. Заполнители из органических и полимерных материалов	186
9.1. Древесные заполнители	186
9.2. Растительные заполнители	190
9.3. Вспученный полистирол.....	192
9.4. Отходы промышленности	194
ЧАСТЬ 4. Технологические расчеты (практикум).....	196
Глава 10. Технологические расчеты при проектировании производства плотных заполнителей	196
10.1. Фонды времени и режимы работы оборудования	196
10.2. Выход продуктов на операциях и производственная программа	197
10.3. Контроль производства и качества продукции.....	202
10.4. Охрана труда и окружающей среды	203
10.5. Примеры технологических расчетов	204
Глава 11. Технологические расчеты при проектировании производства искусственных пористых заполнителей	222
11.1. Фонды времени и режимы работы оборудования	222
11.2. Мощность предприятия и обжиговых агрегатов	223
11.3. Производительность по переделам производства	225
11.4. Нормы запасов и складирования сырья, добавок и готовой продукции.....	226
11.5. Удельные материало- и энергозатраты	228
11.6. Контроль производства и качества продукции.....	229
11.7. Охрана труда и окружающей среды	230
11.8. Примеры технологических расчетов	236
Задания и задачи с примерами ответов и решений.....	249
Библиографический список.....	255
Перечень государственных стандартов.....	255
Приложение 1. Характеристика сыпучих материалов	257
Приложение 2. Определение геометрических размеров складов различной формы	257
Приложение 3. Варианты заданий для курсовых работ.....	259

ВВЕДЕНИЕ

В современном строительстве одним из самых массовых строительных материалов является бетон. Это сложный композиционный искусственный материал, насчитывающий множество различных видов: от суперлегких теплоизоляционных до высокопрочных конструкционных. Важнейшим компонентом бетонов, занимающим наибольший объем в их составе и во многом определяющим их строительно-технические свойства и назначение, являются разнообразные заполнители от ультралегких до особо тяжелых.

Производство заполнителей требуемых видов и качества основывается как на технологиях добычи и переработки природного сырья, так и за счет наибольшего использования промышленных отходов, что способствует решению важных экологических и экономических вопросов.

Настоящее учебное пособие посвящено изучению разнообразных видов заполнителей и их свойств, ознакомлению с производством эффективных заполнителей применительно ко всем видам бетонов.

Изучение материала, излагаемого в учебном пособии, имеет целью сформировать у студентов правильное технологическое мышление, привить навыки решения конкретных практических задач, показать влияние исходного сырья и технологии его переработки на свойства заполнителей и их рациональное применение в бетонах.

Объединение в одном курсе всех сведений по разнообразным заполнителям, используемым в бетонах различного назначения, является итогом его логического развития и с методической точки зрения оптимально для формирования инженера-строителя-технолога.

Первое издание учебника вышло в 1991 г. и получило положительную оценку читателей. В предлагаемом втором издании отражены современные достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области технологии заполнителей, которые автор стремился обобщить и систематизировать для облегчения усвоения знаний студентами.

Автор выражает глубокую признательность рецензентам – зав. кафедрой строительных материалов и технологий МГУПС члену-корреспонденту РАН, доктору технических наук, профессору Б.В. Гусеву и доктору технических наук, профессору В.Н. Сокову (МГСУ) – за ценные замечания, сделанные при подготовке рукописи к печати.

Предложения по дальнейшему совершенствованию учебного пособия будут приняты автором с благодарностью.

Часть 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Глава 1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

1.1. Назначение заполнителей

Заполнители – природные или искусственные материалы определенного зернового состава, которые в рационально составленной смеси с вяжущим веществом и водой образуют бетон. Стоимость заполнителей достигает 30...50% стоимости бетонных и железобетонных конструкций, а иногда и более. Поэтому изучение, правильный выбор заполнителей, рациональное их производство и применение имеют большое значение для успешной хозяйственной деятельности. Принципиальные взаимосвязи при производстве и применении заполнителей показаны ниже на *рис. 1.1*:

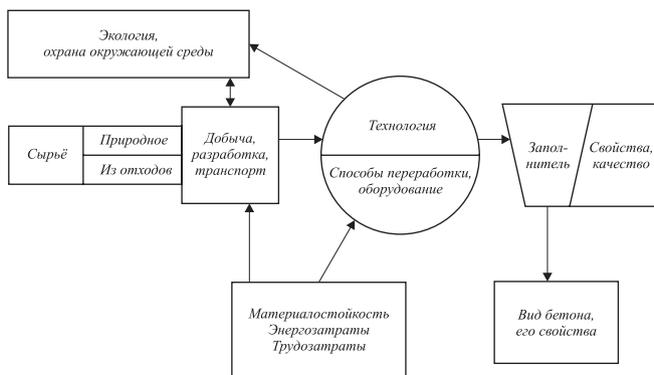


Рис. 1.1. Взаимосвязи при производстве и применении заполнителей

- Основная активная часть бетона – вяжущее, цемент. Именно вяжущее, реагируя с водой, способно схватываться и твердеть, переходя из пластичного тестообразного состояния в твердое и превращая бетонную смесь в бетон. Зачем же нужны заполнители?

- Заполнители занимают в бетоне до 80% объема и, следовательно, позволяют сформировать его рациональную структуру и резко сократить расход цемента или других вяжущих, являющихся наиболее дорогой и дефицитной составной частью бетона.

- Цементный камень при твердении претерпевает объемные деформации. Усадка его достигает 2 мм/м. Из-за неравномерности усадочных деформаций возникают внутренние напряжения и тре-

щины. Мелкие трещины могут быть невидимы невооруженным глазом, но они резко снижают прочность и долговечность цементного камня. Заполнитель создает в бетоне жесткий каркас, воспринимает усадочные напряжения и уменьшает усадку обычного бетона примерно в 10 раз по сравнению с усадкой цементного камня.

- Жесткий каркас из высокопрочного заполнителя увеличивает прочность и модуль упругости бетона, т.е. уменьшает деформации конструкций под нагрузкой, уменьшает ползучесть, т.е. пластические необратимые деформации бетона при длительном действии нагрузки.

- Легкие пористые заполнители уменьшают плотность бетона и его теплопроводность, делают возможным применение такого бетона в ограждающих конструкциях, для теплоизоляции.

- Специальные, например, особо тяжелые и гидратные заполнители делают бетон надежной защитой от проникающей радиации на атомных электростанциях и т.п.

Этот неполный перечень определяет назначение заполнителей, которые являются преобладающей составной частью бетонов, влияют на их свойства и технико-экономическую эффективность.

1.2. Классификация заполнителей

Основными признаками стандартизированной классификации разнообразных заполнителей для бетона являются: *происхождение, крупность зерен, характер формы зерен, плотность.*

По происхождению заполнители подразделяют на три группы:

1) *природные*, в том числе из попутно добываемых пород и отходов обогащения; 2) из *отходов промышленности*; 3) *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 шлаки. Искусственные заполнители характеризуются видом сырья (природное, из отходов или их смесь) и технологией производства (способ обработки). Например, получаемые из природного сырья обжигом со вспучиванием – керамзит; получаемые поризацией расплава доменных шлаков – шлаковая пемза.

По крупности зерен заполнители подразделяют на: 1) *крупные* – с зернами (кусками) свыше 5 мм (щебень, гравий); 2) *мелкие* – с размером зерен до 5 мм (песок).

По характеру формы зерен различают: 1) заполнители, имеющие угловатую (неправильную) форму, получаемые дроблением (щебень, песок из отсевов дробления и др.); 2) заполнители имеющие округлую форму зерен (гравий, природный песок и др.).

Заполнители относят к *плотным* или *пористым* в зависимости от *плотности их зерен*, которая составляет соответственно свыше и до $2,0 \text{ г/см}^3$.

Классификационной характеристикой заполнителя также может быть его *насыпная плотность*, которая для крупных пористых заполнителей не должна превышать 1100 кг/м^3 , а для пористых песков – 1400 кг/м^3 .

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 представлена в *табл. 1.1*.

Таблица 1.1

Классификация заполнителей

Происхождение	Вид, крупность, характер формы зерен	Способ производства (обработки)
1	2	3
<i>Плотные (плотность зерен $>2,0 \text{ г/см}^3$)</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 отсевов дробления обогащенный	Гидромеханизированная или экскаваторная добыча: гидроклассификация, рассев, классификация, обезвоживание; классификация, обезвоживание То же

Глава 2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Разнообразные заполнители для бетона отличаются теми или иными специфическими свойствами и особенностями, обуславливающими область их применения и технико-экономическую эффективность. В то же время все они как сыпучие зернистые материалы характеризуются едиными основными показателями свойств.

2.1. Плотность, пористость и пустотность заполнителей

Истинная плотность – это плотность вещества заполнителя (породы, зерен), представляющая отношение массы к объему вещества без пор.

Истинную плотность заполнителя ρ , г/см³, определяют путем измельчения пробы в тонкий порошок, пористостью частиц которого можно пренебречь, с последующим измерением абсолютного объема (V_a) навески порошка (m) в пикнометре по объему вытесненной порошком воды или другой жидкости (например, керосина):

$$\rho = \frac{m}{V_a}.$$

Средняя плотность зерен заполнителя представляет собой отношение массы пробы сухих зерен заполнителя к суммарному объему их зерен. Определение средней плотности имеет особенности в зависимости от вида и крупности зерен заполнителя.

Песок. Просеянный сквозь сито с размером отверстий 5 мм и высушенный до постоянной массы песок охлаждают до комнатной температуры в стаканчике или фарфоровой чашке, которые помещают в эксикатор над крепкой серной кислотой или над безводным хлористым кальцием.

Для определения плотности песка берут две навески массой по 75 г каждая. Прибор Ле-Шателье наполняют водой до нижней нулевой риски (по нижнему мениску). Каждую навеску песка через воронку прибора всыпают ложечкой небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе, определенный по нижнему мениску, не поднимается до риски с делением 20 мм (или другим делением в пределах верхней градуированной части прибора).

Для удаления пузырьков воздуха прибор поворачивают несколько раз вокруг его вертикальной оси.

Остаток песка, не вошедший в прибор, взвешивают; все взвешивания производят с точностью до 0,01 г.

Средняя плотность зерен песка, ρ_k , г/см³:

$$\rho_k = \frac{m - m_1}{V},$$

где m – масса навески песка; m_1 – масса остатка песка, г; V – объем воды, вытесненной песком, мл.

Расхождение между результатами двух определений плотности не должно быть больше 0,02 г/см³. В случаях больших расхождений производят третье определение и вычисляют среднее арифметическое двух больших определений.

Щебень и гравий: среднюю плотность зерен определяют как отношение массы пробы сухого щебня (гравия) к суммарному объему его зерен.

Объем зерен заполнителя определяют по разнице результатов взвешивания пробы на воздухе и в воде. Так как при взвешивании в воде возможно ее проникание в поры зерен заполнителя, последний должен быть заранее насыщен водой.

Для определения плотности зерен щебня (гравия) крупностью до 40 мм берут пробу массой около 2,5 кг, высушивают ее до постоянной массы, а затем просеивают через сито с размером отверстий, соответствующим d – данной фракции щебня (гравия). Из остатка на сите берут две навески до 1000 г каждая и насыщают их водой комнатной температуры в течение двух часов. При этом уровень воды в сосуде, в который помещают навеску, должен быть выше поверхности зерен заполнителя не менее чем на 20 мм.

Насыщенную пробу щебня (гравия) вынимают из воды, удаляют влагу с поверхности заполнителей мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают сначала на обычных, а затем на гидростатических весах.

Средняя плотность зерен щебня (гравия) ρ_k , г/см³:

$$\rho_k = \frac{m \cdot \rho_v}{m_1 - m_2},$$

где m – масса пробы в сухом состоянии, г; m_1 – масса пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г; m_2 – масса пробы в насы-

щенном водой состоянии в воде, г; $\rho_в$ – плотность воды, равная 1 г/см³.

Среднюю плотность зерен щебня (гравия) вычисляют как среднее арифметическое результатов определения двух навесок. При этом расхождение между результатами двух определений плотности зерен щебня (гравия) не должно превышать 0,2 г/см³. При больших расхождениях производят третье определение и вычисляют среднее арифметическое двух ближайших значений.

Пористый заполнитель. Для испытаний отбирают пробу высушенного заполнителя испытываемой фракции объемом 3 дм³, встряхивают в течение 2 мин на сите с отверстием диаметром 5 мм для удаления частиц менее 5 мм, затем перемешивают на противне. Испытание выполняется в специальном контейнере на весах с приспособлением для гидростатического взвешивания.

Предварительно сухой контейнер с крышкой взвешивают на воздухе (m_1), а затем в воде на весах с приспособлением для гидростатического взвешивания (m_2). Часть пробы заполнителя объемом до 1 дм³ насыпают в сухой контейнер и взвешивают (m_3). Затем контейнер с заполнителем погружают в сосуд с водой и встряхивают для удаления пузырьков воздуха. Сосуд с заполнителем должен находиться в воде 1 час, причем уровень воды должен быть выше крышки контейнера не менее чем на 20 мм. Контейнер с насыщенным водой заполнителем взвешивают (m_4) на весах с приспособлением для гидростатического взвешивания. Далее контейнер с заполнителем вынимают из сосуда с водой, в течение 10 мин дают излишку воды стечь и немедленно взвешивают на воздухе на других весах (m_5).

Среднюю плотность зерен пористого заполнителя $\rho_к$, г/см³ вычисляют как среднее арифметическое результатов двух определений, каждое из которых производят на новой порции заполнителя:

$$\rho_к = \frac{(m_3 - m_1) \cdot \rho_в}{(m_5 - m_1) - (m_4 - m_2)},$$

где $\rho_в$ – плотность воды, принимаемая 1 г/см³.

Главное в описанных испытаниях – определение объема зерен неправильной формы в пробе (навеске). Помимо технических затруднений и связанных с ними погрешностей измерения следует уяснить, какой именно объем необходимо измерить. Объем, занимаемый заполнителем в водной среде, может отличаться от его объема в иной среде.

При расчете состава бетона необходимо знать объем, который зерна заполнителя займут в бетоне. Для многих видов заполнителей, имеющих зерна с развитой поверхностью и большой открытой пористостью, этот объем значительно меньше определяемого вышеописанными методами, поскольку в бетонной смеси открытые поры зерен заполняются водой и цементом.

В связи с этим ГОСТ 9758 предусматривает методику определения плотности зерен заполнителя в цементной пасте. Навеску сухого пористого щебня или гравия объемом 3,5 л перемешивают на предварительно увлажненном противне с 1,7 кг цемента и 3,4 кг кварцевого песка. Затем вводят воду до получения бетонной смеси определенной консистенции. Перемешанную бетонную смесь выдерживают 15 мин для более полного насыщения пор заполнителя влагой и цементной пастой. Затем всю смесь укладывают в стандартный сосуд вместимостью 5 л, уплотняют вибрированием на лабораторной виброплощадке в течение 30...60 с и определяют плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии.

Плотность зерен крупного пористого заполнителя в цементной пасте, г/см³:

$$\rho_z^{у.п.} = \frac{\rho_{см} \cdot m_z}{M - \rho_{см} \left(\frac{m_ц}{\rho_ц} + \frac{m_п}{\rho_п} + m_в \right)},$$

где $\rho_{см}$ – плотность бетонной смеси, кг/л; m_z – масса сухой пробы пористого заполнителя, кг; M – суммарный расход всех материалов (включая воду) в замесе, кг; $m_ц$ – масса цемента в замесе, кг; $\rho_ц$ – плотность цемента, определяемая по ГОСТ 310.2 или принимаемая равной 3,1 г/см³; $m_п$ – масса кварцевого песка в замесе, кг; $\rho_п$ – плотность кварцевого песка, определяемая экспериментально или принимаемая равной 2,65 г/см³; $m_в$ – масса воды в замесе, кг.

Таким образом, плотность крупного пористого заполнителя определяют, вычислив разность объемов бетонной и растворной смесей.

Насыпной плотностью заполнителя называют отношение его массы ко всему занимаемому объему, включая пространство между зернами.

Песок. Среднюю насыпную плотность определяют в стандартном неуплотненном состоянии. Для этого песок, высушенный до постоянной массы и просеянный сквозь сито с круглыми отверстиями

ми диаметром 5 мм, насыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндр вместимостью 1 л до образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения песка снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с песком взвешивают.

Средняя насыпная плотность песка ρ_n , кг/м³:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V},$$

где m – масса мерного сосуда, кг; m_1 – масса мерного сосуда с песком, кг; V – объем сосуда, м³.

Определение производят два раза, каждый раз беря новую порцию песка.

Среднюю насыпную плотность щебня (гравия) определяют аналогичным способом на высушенной до постоянной массы пробе, но при этом вместимость мерного цилиндра зависит от крупности щебня (гравия) и должна быть при $D = 10$ мм – 5 л, $D = 20$ мм – 10 л и $D = 40$ мм – 20 л.

Среднюю насыпную плотность щебня (гравия) ρ_n вычисляют с точностью до 10 кг/м³:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V},$$

где m – масса мерного цилиндра, кг; m_1 – масса мерного цилиндра со щебнем (гравием), кг; V – вместимость мерного цилиндра, м³.

Определение средней насыпной плотности производят два раза, при этом каждый раз берут новую порцию щебня (гравия).

Среднюю насыпную плотность пористых заполнителей определяют по вышеуказанной методике взвешиванием их в мерных сосудах вместимостью 1, 2, 5 и 10 л соответственно для заполнителя с наибольшей крупностью зерен 5, 10, 20 и 40 мм.

Иногда насыпную плотность заполнителя определяют в уплотненном состоянии. В этом случае мерный сосуд с заполнителем подвергают вибрации на лабораторной виброплощадке, заполнитель по мере уплотнения досыпают в сосуд доверху. Результаты превышают стандартную насыпную плотность заполнителя на 5...25% и отражают способность данного заполнителя к уплотнению (например, при вибрировании бетона) за счет более компактной укладки зерен.

Пористость представляет собой отношение суммарного объема всех пор в зерне заполнителя к объему зерна. Ее можно рассчитать в процентах, если известны плотность зерен ρ_k и плотность вещества заполнителя (его истинная плотность ρ , г/см³):

$$V_{пор} = \left(1 - \frac{\rho_k}{\rho}\right) \cdot 100.$$

Пустотностью, или межзерновой пустотностью, заполнителя называют выраженное в процентах отношение объема межзерновых пустот ко всему объему, занимаемому заполнителем в свободной засыпке (без уплотнения).

Объем межзерновых пустот в заполнителе или его пустотность входят в формулы для расчета состава бетона.

Пустотность заполнителя в процентах по объему V_n вычисляют, зная величины его средней насыпной плотности ρ_n (кг/м³) и средней плотности зерен ρ_k (г/см³):

$$V_n = \left(1 - \frac{\rho_n}{1000 \cdot \rho_k}\right) \cdot 100.$$

Если необходимо знать пустотность заполнителя в уплотненном состоянии, то при расчете вместо насыпной плотности принимают соответствующую плотность заполнителя в уплотненном состоянии.

Пустотность – очень важная характеристика заполнителя. В плотном конструкционном бетоне все пустоты должны быть заполнены цементной пастой. Поэтому чем меньше пустотность заполнителя, тем меньше расход цемента при получении бетона. В крупнопористом бетоне, наоборот, желательна повышенная пустотность заполнителя.

Как будет показано ниже, пустотность зависит от формы зерен заполнителя и зернового (гранулометрического) состава.

2.2. Форма зерен заполнителя, их взаимная укладка

Насыпная плотность, пустотность и другие характеристики заполнителя в значительной степени определяются *формой его зерен*.

Учебное пособие

Леонард Дмитриевич Чумаков

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ БЕТОНА

2-е издание, исправленное и дополненное

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Компьютерная правка и верстка: *Е.М. Лютова*

Компьютерный дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Компьютерная графика: *А.А. Шмаев*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Формат 60х90/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Усл. 16,5 п.л. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>