

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЗАПОЛНИТЕЛИ БЕТОНА

Методические указания
к лабораторным работам по курсу
“Заполнители бетона”
для студентов специальности 1-70 01 01
“Производство строительных изделий и конструкций”

Брест 2016

УДК 691(076.5)
ББК 38.3
П12

Рецензент:

Басов В.С., директор Филиала БрГТУ Политехнический колледж, к.т.н.

И.П. Павлова, Т.В. Каленюк
П12 **Заполнители бетона: Методические указания к лабораторным работам по курсу “Заполнители бетона” для студентов специальности 1 – 70 01 01 “Производство строительных изделий и конструкций”. – Брест: Изд-во БГТУ, 2016. – 43 с.**

Приводятся общие понятия и классификация заполнителей, различные методики испытания мелких и крупных заполнителей для изготовления бетона, а также требования ГОСТ, предъявляемые к ним. Дана оценка качества глинистого сырья для производства неорганических пористых заполнителей и изложены основные требования, предъявляемые к нему.

Методические указания предназначены для студентов специальности 1–70 01 01 “Производство строительных изделий и конструкций”.

Первая, вторая лабораторные работы написаны И.П. Павловой, третья и четвертая – Т.В. Каленюк.

Табл. 27. Ил. 9. Библиогр.: 21 назв.

УДК 691(076.5)
ББК 38.3

ISBN 978-985-493-362-7

© Павлова И.П., 2016
© Каленюк Т.В., 2016
© Издательство БрГТУ, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ	4
Лабораторная работа № 1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ	5
1 Определение влажности песка	6
2 Определение зернового состава и модуля крупности песка	6
3 Определение содержания пылевидных, глинистых частиц и глины в комках	9
4 Определение наличия органических примесей в песке	11
5 Определение истинной, насыпной плотности и пустотности песка	12
Лабораторная работа № 2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЩЕБНЯ И ГРАВИЯ ИЗ ПЛОТНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД	14
1 Определение зернового состава крупного заполнителя	15
2 Определение содержания пылевидных, глинистых частиц и глины в комках	17
3 Определение содержания дробленых зерен в щебне из гравия	18
4 Определение содержания зерен пластинчатой и игловатой формы	19
5 Определение дробимости крупного заполнителя из плотных пород	20
6 Определение содержания зерен слабых пород в щебне (гравии)	22
7 Определение средней плотности и пористости зерен щебня	24
8 Определение насыпной плотности и пустотности	25
Лабораторная работа № 3. ОЦЕНКА СВОЙСТВ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ДЛЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ	26
1 Определение пластичности глины	28
2 Определение нормальной формовочной влажности и коэффициента вспучиваемости гранул	29
Лабораторная работа № 4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ	32
1 Определение насыпной плотности	33
2 Определение средней плотности зерен крупного заполнителя и межзерновых пустот	34
3 Определение водопоглощения крупного заполнителя	35
4 Определение зернового состава пористых заполнителей	36
5 Определение коэффициента формы зерен крупного заполнителя	37
6 Определение прочности заполнителя сдавливанием в цилиндре	38
7 Определение средней плотности зерен заполнителя в цементном тесте	40
Библиографический список	42

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Заполнители – это природные или искусственные материалы определенного зернового состава, которые в рационально составленной смеси с раствором вяжущего вещества образуют бетон.

Основной активной частью бетона является вяжущее, которое, реагируя с водой, способно схватываться и твердеть, переходя из пластичного тестообразного состояния в твердое и превращая бетонную смесь в бетон.

Заполнители занимают в бетоне до 80% объема и, следовательно, позволяют резко сократить расход цемента или других вяжущих, являющихся наиболее дорогой 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 трещины. Заполнитель создает в бетоне жесткий скелет, воспринимает усадочные напряжения и уменьшает усадку обычного бетона примерно в 10 раз по сравнению с усадкой цементного камня.

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

Легкие пористые заполнители уменьшают среднюю плотность бетона и его теплопроводность, делая возможным применение такого бетона в ограждающих теплоизоляционных конструкциях.

Специально особо тяжелые заполнители делают бетон надежной защитой от проникающей радиации (на атомных электростанциях и т.д.).

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

Заполнители классифицируют по размерам зерен, насыпной плотности, структуре, назначению, источникам получения и методам производства.

По размерам зерен заполнители подразделяют на мелкие и крупные. Мелкий заполнитель – песок с размером зерен до 5 мм, крупный – с зернами свыше 5 мм. Крупный заполнитель, в свою очередь, подразделяют по форме зерен на гравий и щебень. Гравий в основном состоит из зерен окатанной формы, щебень – угловатой.

По насыпной плотности крупные заполнители делятся на тяжелые (свыше 1000 кг/м³) и легкие (до 1000 кг/м³). Граница между тяжелым и легким песком – 1200 кг/м³.

По структуре заполнители могут быть плотными и пористыми. К пористым относят зерна, пористость которых не менее 10%.

По источникам получения и методам производства заполнители подразделяют на два основных класса.

1. Природные (естественные) заполнители:

- добываемые непосредственно в месторождениях и сразу пригодные к применению (например, песок вторичных отложений);
- сортированные (песок и гравий, получаемые сортировкой природных песчано-гравийных смесей);

- дробленые (щебень и песок, получаемые дроблением горных пород).

2. Искусственные заполнители:

- из отходов промышленности, пригодных к применению непосредственно или после механической (дробление, рассев) обработки (например, золы, топливные шлаки, отвальные металлургические шлаки, отходы от переработки древесины);

- получаемые специальной переработкой промышленных отходов (шлаковая пемза, зольный гравий);

- получаемые из природного сырья путем вспучивания или спекания при обжиге (керамзит, аглопорит).

По назначению заполнители используют для приготовления тяжелого, легкого, специального (жаростойкого, кислотостойкого, щелочестойкого, для защиты от радиации, декоративного и т.д.) бетонов.

Лабораторная работа № 1 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Цель работы – освоить методики оценки качества мелкого заполнителя, сравнить полученные данные с требованиями ГОСТа и дать заключение о пригодности его использования в бетонах и растворах.

Краткие теоретические сведения

К мелкому заполнителю относят песок с крупностью зерен до 5 мм, который подразделяют на природный, из отсевов дробления и дробленный, кроме того, песок может быть фракционированным.

Природный песок – неорганический сыпучий материал, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений без использования специального обогащительного оборудования.

Дробленный песок – песок, изготавливаемый из скальных горных пород и гравия с использованием специального дробильно-размольного оборудования.

Фракционированный песок – песок, разделенный на две или более фракций с использованием специального оборудования.

Песок из отсевов дробления – неорганический сыпучий материал, получаемый из отсевов дробления горных пород при производстве щебня и из отходов обогащения руд черных и цветных металлов и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности.

Пески для бетонов выбирают по зерновому составу, содержанию пылевидных и глинистых частиц, петрографическому составу, радиационно-гигиенической характеристике. При подборе состава бетона учитывают влажность, плотность и пустотность, а для песков из отсевов дробления – водопоглощение и прочность исходной горной породы на сжатие в насыщенном водой состоянии.

Приборы и оборудование:

- весы по ГОСТ 29329 или ГОСТ 24104 – 88;
- шкаф сушильный;

- противень;
- цилиндрическое ведро не менее 300 мм с сифоном или сосуд для отмучивания песка;
- набор сит по ГОСТ 6613 и сита с круглыми отверстиями диаметрами 10, 5 и 2,5 мм;
- лупа минералогическая по ГОСТ 25706;
- игла стальная;
- цилиндры стеклянные вместимостью 250 мл из прозрачного бесцветного стекла (внутренний диаметр 36 – 40 мм) по ГОСТ 1770;
- гидроксид натрия по ГОСТ 4328, 3%-й раствор; танин, 2%-й раствор в 1%-м этаноле;
- прибор Ле-Шателье;
- эксикатор по ГОСТ 25336;
- сосуды мерные цилиндрические металлические вместимостью 1 л (диаметр и высота 108 мм).

Порядок выполнения работы

Студенты делятся на три – четыре бригады. Каждая бригада получает индивидуальное задание на испытание одного из видов песка (например, природного различной крупности, из отсевов дробления) согласно ГОСТ 8735 – 88.

В работе определяют следующие показатели:

- 1) влажность песка;
- 2) зерновой состав и модуль крупности песка;
- 3) содержание пылевидных, глинистых частиц и глины в комках;
- 4) наличие органических примесей;
- 5) истинную и насыпную плотность песка и его пустотность.

1 Определение влажности песка

Испытание заключается в сравнении массы песка в состоянии естественной влажности и после высушивания.

1.1. Порядок проведения испытания

Навеску песка массой 2000 г насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают в этом же противне до постоянной массы.

1.2. Обработка результатов

Влажность песка W в процентах вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \% \quad (1.1)$$

где m – масса навески в состоянии естественной влажности, г; m_1 – масса навески в сухом состоянии, г.

2 Определение зернового состава и модуля крупности песка

Сущность метода заключается в том, что зерновой состав определяют путем просева песка на стандартном наборе сит.

2.1. Порядок проведения испытания

Высушенную до постоянной массы пробу песка (не менее 2000 г) просеивают через сита с круглыми отверстиями диаметрами 10 и 5 мм. Остатки на ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций гравия с размером зерен от 5 до 10 мм (Gp_5) и св. 10 мм (Gp_{10}) в процентах по массе:

$$Gp_{10} = M_{10} \times 100 / M, \quad (1.2)$$

$$Gp_5 = M_5 \times 100 / M, \quad (1.3)$$

где M_{10} , M_5 – остатки на ситах с круглыми отверстиями соответственно диаметром 10 и 5 мм, г; M – масса пробы, г.

Из пробы песка, прошедшего через указанные выше сита, отбирают навеску массой не менее 1000 г и просеивают через набор сит 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм механическим или ручным способом.

Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1% общей массы просеиваемой навески. Окончание процесса при ручном просеивании определяют, интенсивно встряхивая каждое сито над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падения зерен песка.

2.2. Обработка результатов

По результатам просеивания вычисляют:

- частный остаток на каждом сите (a_i) в процентах по формуле:

$$a_i = m_i \times 100 / m, \quad (1.4)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г; m – масса просеиваемой навески, г;

- полный остаток на каждом сите (A_i) по формуле:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (1.5)$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, a_i – частные остатки на соответствующих ситах;

- модуль крупности песка (M_K) по формуле:

$$M_K = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) / 100, \quad (1.6)$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,16}$ – полные остатки на ситах с отверстиями 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм, %.

Результат определения зернового состава песка оформляют в соответствии с табл. 1.1 и изображают графически в виде кривой просеивания согласно рис. 1.1.

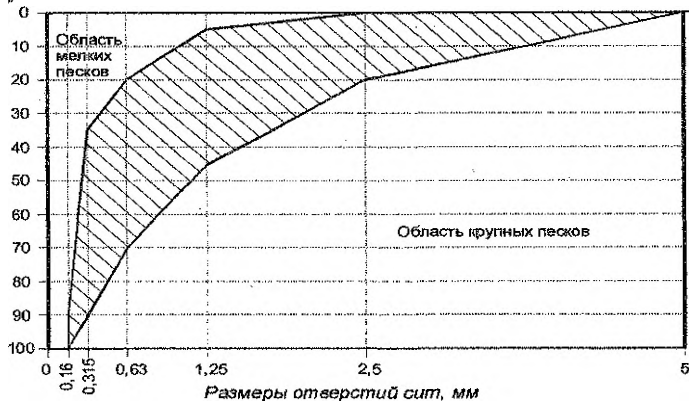
В зависимости от зернового состава песок подразделяют на следующие группы по крупности:

- Высший класс – повышенной крупности, крупный и средний
- I класс – повышенной крупности, крупный, средний и мелкий;
- II класс – повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Таблица 1.1 – Зерновой состав песка

Остаток	Остатки на ситах, % по массе					Проход через сито с сеткой № 0,16, % по массе
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частный	$a_{2,5}$	$a_{1,25}$	$a_{0,63}$	$a_{0,315}$	$a_{0,16}$	
Полный	$A_{2,5}$	$A_{1,25}$	$A_{0,63}$	$A_{0,315}$	$A_{0,16}$	

Полные
остатки,
 A_i , %



A_i – полные остатки

Рисунок 1.1 – Кривая просеивания песков

Группа песка характеризуется значением модуля крупности, остатком на сите с сеткой № 0,63 и определяется по табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Группы песка в зависимости от модуля крупности

Модуль крупности M_k	Полный остаток на сите № 0,63, % по массе	Группа песка
3,0 – 3,5	65 – 75	Повышенной крупности
2,5 – 3,0	45 – 65	Крупный
2,0 – 2,5	30 – 45	Средний
1,5 – 2,0	10 – 30	Мелкий
1,0 – 1,5	До 10	Очень мелкий
0,7 – 1,0	Не нормируется	Тонкий
До 0,7	Не нормируется	Очень тонкий

Примечание. По согласованию предприятия-изготовителя с потребителем в песке II класса допускается отклонение полного остатка на сите № 0,63 от вышеуказанных, но не более чем на $\pm 5\%$; модуль крупности песков для тяжелых и мелкозернистых бетонов находится в пределах 1,5 – 3,25, причем для бетонов с прочностью от 20 до 35 МПа M_k должен быть не менее 2, а с прочностью 35 МПа и выше – не менее 2,5.

Содержание зерен крупностью свыше 10, 5 и менее 0,16 мм в соответствии с ГОСТ 8736 – 93 не должно превышать значений, указанных в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Содержание крупных включений и зерен размером менее 0,16 мм

Класс и группа песка	Содержание зерен крупностью, % по массе, не более		
	Св. 10 мм	Св. 5 мм	Менее 0,16 мм
Высший класс			
С крупностью зерен до 5 мм: повышенной крупности, крупный и средний	Не допускается	3	3
С крупностью зерен до 2,5 мм: средний и мелкий	Не допускается	Не допускается	5
С крупностью зерен до 1,25 мм: мелкий и очень мелкий	Не допускается	Не допускается	10
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 допускается	Не нормируется

3 Определение содержания пылевидных, глинистых частиц и глины в комках

Сущность методов заключается в том, что содержание пылевидных и глинистых частиц определяют по изменению массы песка после удаления частиц крупностью до 0,05 мм, а содержание глины в комках определяют путем отбора частиц, отличающихся от зерен песка вязкостью.

3.1. Порядок проведения испытания

Для определения количества отмучиваемых примесей высушенную до постоянной массы навеску песка массой 1000 г помещают в цилиндрическое ведро и заливают водой так, чтобы высота слоя воды над песком была около 200 мм. Залитый водой песок выдерживают в течение 2 ч, перемешивая его несколько раз и тщательно отмывают от приставших к зернам глинистых частиц.

После этого содержимое ведра снова энергично перемешивают и оставляют в покое на 2 мин. Через 2 мин сливают сифоном полученную при промывке суспензию, оставляя слой ее над песком высотой не менее 30 мм. Затем песок снова заливают водой до указанного выше уровня. Промывку песка в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки будет оставаться прозрачной. После отмучивания промывную навеску высушивают до постоянной массы m_1 .

При использовании сосуда для отмучивания испытание проводят в той же последовательности. При этом воду в сосуд наливают до верхнего сливного отверстия, а суспензию сливают через два нижних отверстия (рис. 1.2).

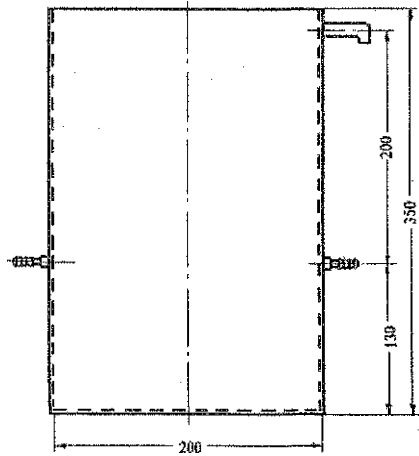


Рисунок 1.2 – Сосуд для отмучивания

Для определения содержания глины в комках навеску песка массой не менее 100 г рассеивают на ситах с отверстиями размером 2,5 и 1,25 мм. Из полученных фракций песка отбирают навески массой:

- 5,0 г – фракции св. 2,5 до 5 мм;
- 1,0 г – фракции от 1,25 до 2,5 мм.

Каждую навеску песка высыпают тонким слоем на стекло или металлический лист и увлажняют при помощи пипетки. Из навески стальной иглой выделяют комки глины, отличающиеся вязкостью от зерен песка, применяя в необходимых случаях лупу.

Оставшиеся после выделения комков зерна песка высушивают до постоянной массы и взвешивают.

3.2. Обработка результатов

Содержание в песке отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц ($\Pi_{отм}$) в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$\Pi_{отм} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \% , \quad (1.7)$$

где m , m_1 – массы высушенных навесок соответственно до и после отмучивания, г.

Содержание комков глины в каждой навеске песка ($\Gamma_{л_{2,5}}$, $\Gamma_{л_{1,25}}$) в процентах определяют по формулам:

$$\Gamma_{л_{2,5}} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 ; \quad (1.8)$$

$$\Gamma_{л_{1,25}} = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \cdot 100 , \quad (1.9)$$

где m, m_2 – массы навески песка фракции соответственно от 2,5 до 5 мм и от 1,25 до 2,5 мм до выделения глины, г; m_1, m_3 – массы зерен песка фракций соответственно от 2,5 до 5 мм и от 1,25 до 2,5 мм после выделения глины, г.

Содержание комков глины в пробе песка ($\Gamma_{гл}$) вычисляют по формуле:

$$\Gamma_{гл} = \frac{\Gamma_{л_{2,5}} \cdot a_{2,5} + \Gamma_{л_{1,25}} \cdot a_{1,25}}{100}, \quad (1.10)$$

где $a_{2,5}, a_{1,25}$ – частные остатки в процентах по массе на ситах с отверстиями размером 2,5 и 1,25 мм, вычисленные по формуле (1.4).

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках в соответствии с ГОСТ 8736 – 93 не должно превышать значений, указанных в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Содержание примесей в песках различной крупности, % по массе, не более

Класс и группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц	Содержание глины в комках
Высший класс		
С крупностью зерен до 5 мм: повышенной крупности, крупный и средний	1	Не допускается
С крупностью зерен до 2,5 мм: средний и мелкий	2	0,25
С крупностью зерен до 1,25 мм: мелкий и очень мелкий	3	0,35
I класс		
Повышенной крупности, крупный и средний	2	0,25
Мелкий	3	0,35
II класс		
Повышенной крупности, крупный и средний	3	0,5
Мелкий и очень мелкий	5	0,5
Тонкий и очень тонкий	10	1,0

4 Определение наличия органических примесей в песке

Испытание заключается в сравнении окраски щелочного раствора над пробой песка с окраской эталона.

4.1 Порядок проведения испытания

Приготавливают эталонный раствор, растворяя 2,5 мл 2%-го раствора танина в 97,5 мл 3%-го раствора гидроксида натрия. Приготовленный раствор перемешивают и оставляют на 24 ч.

Навеску песка массой около 250 г засыпают в мерный цилиндр до уровня 130 мл и заливают его 3%-м раствором гидроксида натрия до уровня 200 мл.

Содержимое цилиндра перемешивают и оставляют на 24 ч, повторив перемешивание через 4 ч после первого перемешивания. Затем сравнивают окраску жидкости, оставшейся над пробой, с цветом эталонного раствора или стеклом, цвет которого идентичен цвету эталонного раствора.

Песок пригоден для использования в бетонах или растворах, если жидкость над пробой бесцветна или окрашена значительно слабее эталонного раствора. При окраске жидкости одинакового цвета или более темного, чем цвет эталонного раствора, проводят дополнительные испытания заполнителя в бетонах или растворах в специализированных лабораториях.

5 Определение истинной, насыпной плотности и пустотности песка

Сущность методов состоит в том, что истинную плотность определяют путем измерения массы единицы объема высушенных зерен песка с использованием прибора Ле-Шателье, а насыпную – путем взвешивания песка в мерных сосудах.

5.1 Порядок проведения испытания

Для определения истинной плотности пробу песка массой около 200 г просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм, насыпают в стаканчик для взвешивания или в фарфоровую чашку, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или над безводным хлоридом кальция. После этого отвешивают две навески массой по 75 г каждая.

Прибор Ле-Шателье наполняют водой до нижней нулевой риски, причем уровень воды определяют по нижнему мениску (рис. 1.3). Каждую навеску песка всыпают через воронку прибора небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не поднимется до риски с делением 20 мл (или другого деления 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 погрешностью до 0,01 г.

Расхождение между результатами двух определений истинной плотности не должно быть больше $0,02 \text{ г/см}^3$. В случаях больших расхождений проводят третье определение и вычисляют среднее арифметическое двух ближайших значений.

При определении насыпной плотности в стандартном неуплотненном состоянии испытания проводят в мерном цилиндрическом сосуде вместимостью 1 л, используя около 5 кг песка, высушенного до постоянной массы и просеянного через сито с отверстиями диаметром 5 мм.

Песок насыпают совком в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 10 см от верхнего края до образования конуса над верхом цилиндра. Конус без уплотнения песка снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с песком взвешивают.

Определение насыпной плотности песка проводят два раза, при этом каждый раз берут новую порцию песка.

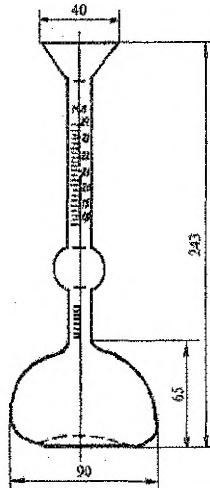


Рисунок 1.3 – Прибор Ле-Шателье

5.2 Обработка результатов

Истинную плотность песка (ρ) в г/см^3 вычисляют по формуле:

$$\rho = (m - m_1) / v, \quad (1.11)$$

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

Насыпную плотность песка (ρ_n) в кг/м^3 вычисляют по формуле:

$$\rho_n = (m_1 - m) / v, \quad (1.12)$$

где m – масса мерного сосуда, кг; m_1 – масса мерного сосуда с песком, кг; v – объем сосуда, м^3 .

5.3 Пустотность (объем межзерновых пустот) песка в стандартном уплотненном состоянии определяют на основании значений истинной и насыпной плотности песка.

Пустотность песка ($V_{п.н.}$) по объему вычисляют по формуле

$$V_{п.н.} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho \cdot 1000}\right) \cdot 100, \%, \quad (1.13)$$

где ρ – истинная плотность песка, г/см^3 ; ρ_n – насыпная плотность, кг/м^3 .

Результаты испытаний песка заносят в табл. 1.5.

В заключение делаются выводы о пригодности испытываемых песков для применения их в бетонах и растворах, дается сравнительная оценка качества песков.

Таблица 1.5 – Результаты испытаний песка

№ п/п	Вид песка	Влажность W , %	Содержание примесей			Модуль крупности $M_{кр}$	Средняя плотность, кг/м ³		Пустотность, %
			пылевидных, глинистых, %	глины в комках, %	органических		насыпная	истинная	

Лабораторная работа № 2 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЩЕБНЯ И ГРАВИЯ ИЗ ПЛОТНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы – освоить методики оценки качества крупного заполнителя для бетона, сопоставить полученные данные с требованиями ГОСТа и рекомендовать для применения с учетом прочности и назначения бетона.

Краткие теоретические сведения

Крупный заполнитель подразделяют на щебень, гравий и щебень из гравия.

Щебень – неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм, получаемый дроблением горных пород, попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород или некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд (черных, цветных и редких металлов металлургической промышленности) и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности и последующим рассевом продуктов дробления.

Характерной особенностью щебня является остроугольность кромок и шероховатость граней кусков.

Гравий – неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей.

Отличительной особенностью гравия является округлость форм его кусков (окатанность), отсутствие острых граней и малая шероховатость поверхности.

Щебень из гравия получают дроблением валунов и крупного гравия. Такой щебень характеризуется содержанием дробленых зерен (кусков),

которых должно быть не менее 80% по массе (в отдельных случаях допускается содержание дробленых зерен от 60 до 80 %).

Дроблеными называют зерна гравия, поверхность которых околота более чем наполовину.

Щебень и гравий выпускают в виде следующих основных фракций: от 5 (3) до 10 мм; от 10 до 20 мм; от 20 до 40 мм; от 40 до 80 (70) мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм. Также допускается использовать щебень и гравий в виде фракций от 10 до 15 мм; от 15 до 20 мм; от 80 (70) до 120 мм и от 120 до 150 мм, а также смеси фракций от 5 (3) до 15 мм; от 5 (3) до 40 мм; от 20 до 80 (70) мм.

Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ изготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 8267 – 93.

В качестве крупных заполнителей для тяжелых бетонов щебень и гравий должны отвечать требованиям СТБ 1544–2005 и СТБ 2221–2011. Крупный заполнитель в зависимости от предъявляемых к бетону требований выбирают по следующим показателям: зерновому составу и наибольшей крупности, содер-

жанию пылевидных и глинистых частиц, вредных примесей, форме зерен, прочности, содержанию зерен слабых пород, петрографическому составу и радиационно-гигиенической характеристике.

При подборе состава бетона учитывают также плотность, пористость, водопоглощение и пустотность заполнителя.

Приборы и оборудование:

• весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329 или лабораторные по ГОСТ 24104;

• шкаф сушильный;

• сосуд для отмучивания или цилиндрическое ведро высотой не менее 300 мм с сифоном;

• стандартный набор сит;

• лупа минералогическая по ГОСТ 25706;

• шаблон передвижной или штангенциркуль по ГОСТ 166;

• пресс гидравлический с максимальным усилием до 500 кН по ГОСТ 28840;

• цилиндры стальные с внутренними диаметрами 75 и 150 мм и высотой соответственно 75 и 150 мм со съемным дном и плунжером;

• индикатор прочности камня механический типа Т-3;

• игла стальная по ГОСТ 8030 и игла алюминиевая из проволоки по ГОСТ 14838;

• молоток столярный типа МСТ-3 по ГОСТ 11042.

• перфорированный сосуд для насыщения проб щебня (гравия) водой;

• цилиндры мерные.

Порядок выполнения работы

Студенты делятся на три – четыре бригады. Каждая бригада получает индивидуальное задание на испытание одного из видов крупного заполнителя (например, щебня из изверженных или из осадочных пород, гравия, щебня из гравия) или вариантов его зернового состава (щебня монофракционного или полифракционного состава).

В работе определяют следующие показатели:

1) зерновой состав;

2) содержание пылевидных, глинистых частиц и глины в комках;

3) содержание дробленых зерен в щебне из гравия;

4) наличие зерен пластинчатой и игловатой формы;

5) прочность;

6) содержание зерен слабых пород в щебне;

7) среднюю плотность и пористость зерен;

8) насыпную плотность и пустотность.

1 Определение зернового состава крупного заполнителя

Зерновой состав щебня (гравия) определяют путем отсева пробы на стандартном наборе сит.

1.1 Порядок проведения испытания

Навеску пробы, взятую по табл. 2.1 и высушенную до постоянной массы, просеивают ручным или механическим способом через сита с отверстиями, со-

ответствующими номинальным размерам зерен данной фракции: $1,25D$; D ; $0,5(D + d)$; d , а также 2,5 и 1,25 мм. При отсутствии сит с отверстиями, диаметр которых точно равен $1,25D$ и $0,5(D + d)$, разрешается пользоваться ситами стандартного набора, размеры отверстий которых наиболее близки требуемым.

Таблица 2.1 – Навеска пробы крупного заполнителя

Наибольший номинальный размер зерен D , мм	Масса пробы, кг
10	5
20	10
40	20
Свыше 40	40

При механическом просеивании продолжительность должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1% общей массы просеиваемой пробы.

При ручном просеивании окончание определяют следующим образом: каждое сито интенсивно трясут над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом не наблюдается падения зерен щебня (гравия).

1.2 Обработка результатов

По результатам просеивания определяют частный остаток на каждом сите a_i , %, по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г; m – масса пробы, г.

Полный остаток на каждом сите (A_i) определяют по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i \quad (2.2)$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, a_i – частные остатки на соответствующих ситах.

Результаты просева заносят в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты просеивания крупного заполнителя

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	$d =$	$0,5(d + D) =$	$D =$	$1,25D =$
Частный остаток на сите, % по массе				
Полный остаток на сите, % по массе				

Полные остатки на контрольных ситах при рассеве щебня и гравия фракций от 5 (3) до 10 мм, св. 10 до 15 мм; св. 10 до 20 мм, св. 15 до 20 мм;

св. 20 до 40 мм, св. 40 до 80 (70) мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм должны соответствовать требованиям ГОСТ 8267–93, указанным в табл. 2.3,

где d и D – наименьшие и наибольшие номинальные размеры зерен.

Таблица 2.3 – Полные остатки на контрольных ситах

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	d	$0,5(d + D)$	D	$1,25D$
Полные остатки на ситах, % по массе	90 – 100	30 – 60	До 10	До 0,5

Примечание. Для щебня и гравия фракций от 5 (3) до 10 мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм применяют дополнительно: нижние сита 2,5 мм (1,25), полный остаток на которых должен быть от 95 до 100 %; по согласованию изготовителя с потребителем допускается изготавливать щебень и гравий с полным остатком на сите $0,5(d + D)$ от 30 до 80 % по массе.

Для щебня и гравия фракций св. 80 (70) до 120 мм и св. 120 до 150 мм, а также для смеси фракций, выпускаемых по согласованию изготовителя с потребителем, полные остатки на контрольных ситах диаметром d , D , $1,25D$ должны удовлетворять указанным в табл. 8, а соотношения фракций в смесях устанавливаются по согласованию изготовителя с потребителем в соответствии с нормативными документами на применение этих смесей для строительных работ.

2 Определение содержания пылевидных, глинистых частиц и глины в комках

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне (гравии) определяют по изменению массы пробы после отмучивания частиц менее 0,05 мм, а содержание глины в комках определяют путем отбора из проб каждой фракции частиц, отличающихся пластичностью.

2.1 Порядок проведения испытания

Пробу щебня (гравия) массой не менее 5 кг, предварительно высушенную до постоянной массы, помещают в сосуд для отмучивания или ведро, заливают водой несколько выше уровня щебня и оставляют в таком состоянии до полного размокания глинистой пленки (определяется визуально) на зернах щебня (гравия) или комков глины.

После этого в сосуд или ведро со щебнем (гравием) доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя воды над щебнем была 200 мм; содержимое сосуда перемешивают деревянной мешалкой и оставляют в покое на 2 мин. Через 2 мин сливают полученную суспензию. При сливе суспензии необходимо оставлять слой ее над щебнем (гравием) высотой не менее 30 мм.

Затем щебень (гравий) вновь заливают водой до указанного выше уровня. Промывку щебня (гравия) в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки не будет оставаться прозрачной, после этого пробу высушивают до постоянной массы.

Для определения в щебне (гравии) глины в комках пробу берут из остатков на ситах, полученных рассевом пробы при определении зернового состава. Массу проб принимают не менее:

- 0,25 кг – для щебня с размером фракции от 5(3) до 10 мм;
- 1,0 кг – от 10 до 20 мм;
- 5,0 кг – от 20 до 40 мм;
- 10,0 кг – свыше 40 мм.

Каждую пробу щебня (гравия), высушенную до постоянной массы, насыпают тонким слоем на металлический лист и увлажняют с помощью пипетки. Из пробы выделяют комки глины, отличающиеся пластичностью от зерен щебня (гравия), применяя в необходимых случаях лупу.

Выделенные комки глины высушивают до постоянной массы и взвешивают.

2.2 Обработка результатов

Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц $\Pi_{\text{омм}}$, % по массе, определяют с точностью до 0,1 % по формуле:

$$\Pi_{\text{омм}} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \quad (2.3)$$

где m – первоначальная масса пробы, г; m_1 – масса пробы после отмучивания, г.

Содержание комков глины в каждой пробе щебня (гравия) $\Pi_{\text{гн}}$, %, определяют по формуле:

$$\Pi_{\text{гн}} = \frac{m_1}{m} \cdot 100 \quad (2.4)$$

где m – масса пробы щебня (гравия), кг; m_1 – масса глины в комках, высушенной до постоянной массы, кг.

Содержание пылевидных, глинистых частиц (размером менее 0,05 мм) и комков глины в щебне и гравии в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости должно соответствовать указанному в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Содержание примесей в щебне и гравии

Марка по дробимости щебня и гравия	Содержание примесей, % по массе	
	пылевидных и глинистых частиц	глины в комках
Щебень из изверженных и метаморфических пород		
Свыше 800	1	0,25
От 600 до 800 включительно	1	0,25
Щебень из осадочных пород		
От 600 до 1200 включительно	2	0,25
200; 400	3	0,5
Щебень из гравия и валунов и гравий		
1000	1	0,25
800	1	0,25
600	2	0,25
400	3	0,25

3 Определение содержания дробленных зерен в щебне из гравия

Содержание дробленных зерен в щебне из гравия оценивают количеством зерен, поверхность которых околота более чем наполовину.

3.1 Порядок проведения испытания

От каждой фракции испытываемого щебня берут пробы массой, указанной в п. 2.1.

Пробу в воздушно-сухом состоянии просеивают через сита с отверстиями размерами, равными D и d , и взвешивают остаток на сите с отверстиями, равными d .

Визуальным осмотром (применяя в необходимых случаях лупу) определяют дробленные зерна, поверхность которых околота более чем наполовину.

3.2 Обработка результатов

Дробленые зерна взвешивают и определяют их содержание $Щ$, %, с точностью до 1 % по формуле:

$$Щ = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \% \quad (2.5)$$

где m_1 – масса дробленых зерен, г; m – масса остатка на сите с отверстиями, равными d , г.

Щебень из гравия должен содержать дробленые зерна в количестве не менее 80% по массе. По ГОСТ 8267 – 93 допускается выпуск щебня из гравия с содержанием дробленых зерен не менее 60%.

4 Определение содержания зерен пластинчатой и игловатой формы

Содержание в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы оценивают количеством зерен, толщина которых менее длины в три раза и более.

4.1 Порядок проведения испытания

Содержание зерен пластинчатой или игловатой формы определяют отдельно для каждой фракции щебня (гравия), от каждой фракции берут пробы массой, указанной в п. 2.1.

Пробу взвешивают и из нее выбирают зерна, толщина которых меньше длины в три раза и более. Соотношение размеров зерен определяют при помощи передвижного шаблона (рис. 2.1) или штангенциркуля.

При использовании шаблона измеряемое зерно вкладывают наибольшим размером между губками, положение шаблона фиксируют стопорным винтом и измеряют размер зерна, затем зерно пропускают наименьшим размером между губками шаблона, установленными на расстоянии, в три раза меньшем по сравнению с первоначальным положением. Если зерно пройдет между губками, то его относят к зернам пластинчатой и игловатой форм. Зерна пластинчатой и игловатой форм взвешивают.

4.2 Обработка результатов

Содержание в каждой фракции щебня (гравия) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм $П_{пл}$, %, определяют по формуле:

$$П_{пл} = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \% , \quad (2.6)$$

где m – масса пробы, г; m_1 – масса зерен пластинчатой и игловатой форм, г.

Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой форм подразделяют на пять групп, которые должны соответствовать требованиям ГОСТ 8267 – 93, указанным в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Содержание в щебне зерен пластинчатой и игловатой форм

Группа щебня	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % по массе
1	До 10 включительно
2	Свыше 10 до 15
3	Свыше 15 до 25
4	Свыше 25 до 35
5	Свыше 35 до 50

Примечание. По согласованию изготовителя с потребителем допускается выпуск щебня из изверженных горных пород, содержащего св. 50%, но не более 65% зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм. На территории Республики Беларусь, при соответствии 1 и 2 группы щебня требованиям СТБ 1311 в части содержания зерен кубовидной формы, допускается использование для данных групп наименования «щебень кубовидный».

Гравий не должен содержать зерен пластинчатой и игловатой форм более 35% по массе.

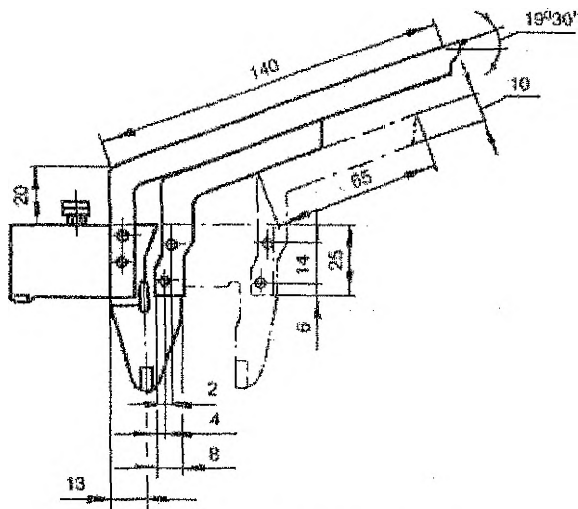


Рисунок 2.1 – Передвижной шаблон

5 Определение дробимости крупного заполнителя из плотных пород

Дробимость щебня (гравия) определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

5.1 Порядок проведения испытания

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, исходный материал рассеивают на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. Щебень (гравий) фракций 5 – 10, 10 – 20

или 20 – 40 мм просеивают через два сита с отверстиями, соответствующими наибольшей (D) и наименьшей (d) крупности испытываемой фракции. От остатков на сите с отверстиями размером, равным d , отбирают две пробы массой не менее 0,5 кг каждая при испытании в цилиндре диаметром 75 мм и не менее 4 кг при испытании в цилиндре диаметром 150 мм.

Пробу щебня (гравия), высушенную до постоянной массы, насыпают в цилиндр с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер так, чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра. Если верх плиты на плунжере не совпадает с краем цилиндра, то удаляют или добавляют несколько зерен щебня (гравия). После этого цилиндр помещают на нижнюю плиту пресса (рис. 2.2).

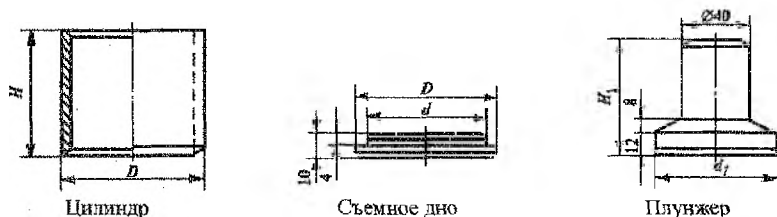


Рисунок 2.2 – Цилиндры стальные

Увеличивая силу нажатия пресса на 1–2 кН в секунду, доводят ее при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН, при испытании в цилиндре диаметром 150 мм – до 200 кН. После сжатия испытываемую пробу высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем ее просеивают в зависимости от размера испытываемой фракции через сито с отверстиями размером:

- 1,25 мм – для щебня (гравия) размером фракции от 5 до 10 мм;
- 2,5 мм – от 10 до 20 мм;
- 5,0 мм – от 20 до 40 мм.

Остаток щебня (гравия) на сите после просеивания взвешивают.

5.2 Обработка результатов

Дробимость D_p , %, определяют с точностью до 1 % по формуле:

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \% \quad (2.7)$$

где m – масса пробы щебня, г; m_1 – масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня, г.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Марки по дробимости щебня из осадочных, метаморфических и изверженных пород, а также гравия и щебня из гравия должны соответствовать требованиям ГОСТ 8267 – 93, указанным в табл. 2.6.

Таблица 2.6 – Потеря массы после испытания крупного заполнителя из плотных пород

Марка по дробности	Потеря массы при испытании, %				
	щебня из осадочных и метаморфических пород	щебня из изверженных пород		щебня из гравия	гравия
		интрузивных	эффузивных		
1400	–	До 12 включ.	До 9 включ.	–	–
1200	До 11 включ.	12 – 16	9 – 11	–	–
1000	11 – 13	16 – 20	11 – 13	До 10 включ.	До 8 включ.
800	13 – 15	20 – 25	13 – 15	10 – 14	8 – 12
600	15 – 19	25 – 34	15 – 20	14 – 18	12 – 16
400	19 – 24	–	–	18 – 26	16 – 24
300	24 – 28	–	–	–	–
200	28 – 35	–	–	–	–

ГОСТ 26633–91 устанавливает следующие минимальные марки крупных заполнителей для тяжелых бетонов:

- щебня из изверженных пород – 800;
- щебня из метаморфических пород, гравия и щебня из гравия – 600;
- щебня из осадочных пород – 300.

6 Определение содержания зерен слабых пород в щебне (гравии)

Содержание в щебне (гравии) зерен слабых пород определяют путем их выделения по характерным признакам.

6.1 Порядок проведения испытания.

От каждой фракции щебня берут пробу массой, указанной в п. 2.1.

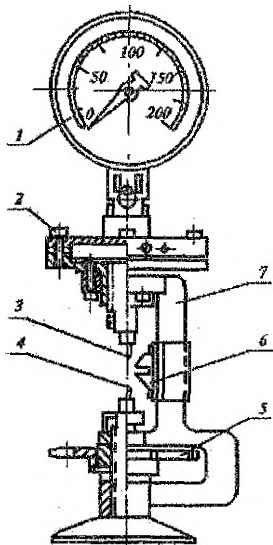
Разборку пробы проводят для каждой фракции щебня (гравия) отдельно, выделяя зерна слабых пород с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа.

При выделении зерен слабых пород руководствуются следующими отличительными признаками: зерна слабых пород легко разламываются руками и разрушаются легкими ударами молотка. При царапании иглой по поверхности зерна остается след (на поверхности зерен изверженных и метаморфических пород оставляет след стальная игла, на поверхности зерен осадочных карбонатных пород – алюминиевая).

В целях уточнения содержания зерен слабых пород в щебне используют механический индикатор прочности камня типа Т-3 (рис. 2.3).

В зависимости от размера испытываемой фракции щебня (гравия) на приборе устанавливают сменный щелевой упор с шириной щели 2,9 мм для зерен

фракции 10 – 20 мм, 4,2 мм – для более крупных зерен. При этом расстояние между краем ребер щелевого упора и осью, проходящей через острие зубьев прибора, должно быть равно ширине щели.



1 – манометр; 2 – гидравлическая мессдоза; 3 – верхний зуб; 4 – нижний зуб;
5 – диск винтового механизма; 6 – щелевой упор; 7 – корпус прибора
Рисунок 2.3 – Механический индикатор прочности камня (Т-3)

Каждое выделенное при разборке пробы щебня сомнительное по прочности зерно вставляют клиновидным концом между зубьями прибора до щелевого упора. После этого вращением диска винтового механизма прибора сжимают зубья и "откусывают" кусочек камня. По контрольной стрелке манометра определяют предел прочности камня. Шкала манометра градуирована для случая применения упора со щелью шириной 4,2 мм; при применении упора со щелью 2,9 мм показания манометра удваивают.

6.2 Обработка результатов

Выделенные из пробы зерна слабых пород взвешивают и определяют их содержание $X_{сз}$, %, по формуле:

$$X_{сз} = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \% , \quad (2.8)$$

где m – масса пробы, г; m_1 – масса зерен слабых пород, г.

Содержание зерен слабых пород в щебне и гравии в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости не должно быть более указанного в табл. 2.7.

Таблица 2.7 – Содержание зерен слабых пород в щебне и гравии

Марка по дробимости щебня и гравия	Содержание зерен слабых пород, % по массе
Щебень из изверженных, метаморфических и осадочных горных пород	
1400; 1200; 1000	5
800; 600; 400	10
300	15
Щебень из гравия и валунов и гравий	
1000; 800; 600	10
400	15

7 Определение средней плотности и пористости зерен щебня

Среднюю плотность зерен щебня (гравия) определяют путем измерения массы единицы объема зерен щебня (гравия) с использованием весов для гидростатического взвешивания.

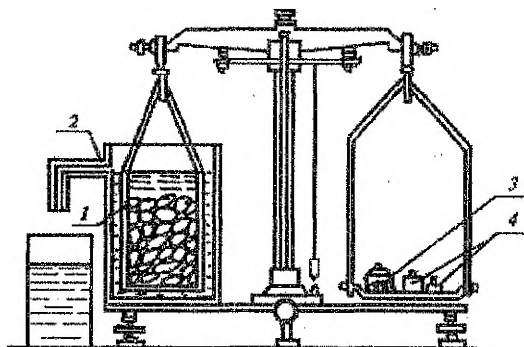
7.1 Порядок проведения испытания

Для определения средней плотности зерен щебня (гравия) фракции с наибольшим номинальным размером до 40 мм берут пробу массой не менее 2,5 кг.

Высушенную до постоянной массы пробу просеивают через сито с размером отверстий, соответствующим наименьшему номинальному размеру зерен данной фракции щебня (гравия), и из остатка на сите отвешивают две пробы по 1000 г каждая.

Навеску щебня (гравия) насыщают водой, погружают в воду комнатной температуры на 2 ч так, чтобы уровень воды в сосуде был выше щебня (гравия) не менее чем на 20 мм.

Насыщенную пробу щебня (гравия) вынимают из воды, удаляют влагу с поверхности мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают на настольных гирных или циферблатных, а затем на гидростатических весах, помещая пробу в сетчатый (перфорированный) стакан, погруженный в воду (рис. 2.4).



1 – сетчатый (перфорированный) стакан; 2 – сосуд со сливом для воды; 3 – стаканчик с дробью для уравновешивания массы сетчатого стакана в воде; 4 – разновесы

Рисунок 2.4 – Весы для гидростатического взвешивания

7.2 Обработка результатов

Среднюю плотность щебня (гравия) ρ_c , г/см³, определяют по формуле:

$$\rho_c = \frac{m}{m_1 - m_2} \cdot \rho_w \quad (2.9)$$

где m – масса пробы в сухом состоянии, г; m_1 – масса пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г; m_2 – масса пробы в насыщенном водой состоянии в воде, г; ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний проб щебня (гравия). При этом расхождение между результатами двух определений средней плотности не должно превышать 0,02 г/см³. При больших расхождениях проводят третье определение и вычисляют среднеарифметическое двух ближайших значений.

Пористость зерен щебня (гравия) определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений истинной и средней плотности.

Пористость зерен щебня (гравия) P , % по объему, определяют по формуле:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho}\right) \cdot 100, \% \quad (2.10)$$

где ρ – истинная плотность зерен щебня (гравия), г/см³.

8 Определение насыпной плотности и пустотности

Насыпную плотность щебня (гравия) определяют взвешиванием определенного объема щебня (гравия) данной фракции (или смеси фракций), высушенного до постоянной массы.

8.1 Порядок проведения испытания

При определении насыпной плотности смеси фракций рассев смеси на соответствующие фракции не допускается.

Щебень (гравий) насыпают в предварительно взвешенный цилиндр с высоты 10 см до образования конуса, который снимают стальной линейкой вровень с краями (без уплотнения), после чего цилиндр со щебнем (гравием) взвешивают.

Таблица 2.8 – Мерные цилиндры для определения насыпной плотности щебня

Объем мерного цилиндра, л	Внутренние размеры цилиндра, мм		Фракция щебня (гравия), мм
	диаметр	высота	
5	185	185	5 – 10
10	234	234	10 – 20
20	294	294	20 – 40
50	400	400	Свыше 40

В зависимости от наибольшего номинального размера щебня (гравия) применяют цилиндры в соответствии с ГОСТ 8269.0 – 97 по табл. 2.8.

Насыпную плотность определяют два раза. За результат принимают среднеарифметическое двух параллельных испытаний.

8.2 Обработка результатов

Насыпную плотность щебня (гравия) ρ_n , кг/м³, определяют с точностью до 10 кг/м³ по формуле

$$\rho_n = (m_1 - m) / v, \quad (2.11)$$

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

Пустотность щебня (гравия) определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности щебня (гравия) по формуле:

$$V_{н.ц.} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_c \cdot 1000}\right) \cdot 100, \% \quad (2.12)$$

где ρ_n – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м³; ρ_c – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см³.

Результаты испытаний щебня (гравия) заносят в табл. 2.9.

Таблица 2.9 – Результаты испытаний щебня (гравия) из плотных горных пород

№ п/п	Вид заполнителя	Содержание примесей, %		Содержание зерен, %			Марка по дробности	Пористость, %	Пустотность, %
		пылевидных и глинистых	глины в комках	дробленых	пластинчатых и игловатых	слабых			

В заключение делаются выводы о возможности использования щебня (гравия) в тяжелых бетонах, дается сравнительная оценка их качества.

Лабораторная работа № 3 ОЦЕНКА СВОЙСТВ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ДЛЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Цель работы – выявить влияние добавок на свойства глинистого сырья.

Краткие теоретические сведения

Одним из наиболее распространенных неорганических пористых заполнителей бетона, получаемых вспучиванием при обжиге силикатных материалов, является керамзитовый гравий. Сырьем для его производства служат глинистые породы (монтмориллонитовые, гидрослюдистые и др.), содержащие не более 30% кварца, общее содержание SiO₂ должно быть не более 70%, Al₂O₃ – не менее 12% (желательно около 20%), FeO + Fe₂O₃ – до 12%, органических примесей – 1...2 %.

Важнейшим из требований, предъявляемых к глинистому сырью, является степень вспучивания гранул при обжиге.

Вспучивание глины при обжиге связано со следующими процессами: газовой выделением и переходом глины в пропластическое состояние. Источниками газовой выделения являются реакции восстановления оксидов железа при их взаимодействии с органическими примесями, окисление этих примесей, дегидратация гидрослюды и других водорастворимых глинистых минералов, диссоциация карбонатов и т.д. Степень вспучиваемости гранул характеризуется коэффициентом вспучивания, который должен быть не менее 2 (обычно 3 – 4). Классификация глинистого сырья по степени вспучиваемости и химическому составу приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Классификация глинистого сырья по вспучиваемости и химическому составу

Глинистое сырье	Химический состав, %						Коэффициент вспучивания
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Органические в-ва	
Высоковспучивающееся	48-50	17-26	6-12	1-3	До 4	1-2,5	Более 4,5
Средневспучивающееся	53-68	14-20	4-6	1-3	До 4	0,3-2	2,5-4,5
Слабовспучивающееся	65-73	10-15	3-5	До 3	До 4	0,5-1	До 2,5
Невспучивающееся	55-82	8-12	2-5	До 12	До 7	0-0,5	–

Второе требование, предъявляемое к сырью, – **легкоплавкость**.

Температура обжига должна быть не выше 1250°C.

Третье из важнейших требований – необходимый **интервал вспучивания**, который должен быть не менее 50°C.

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

Различают четыре основных технологических способа подготовки сырцовых гранул: сухой, пластический, порошково-пластический и шликерный (мокрый).

Наибольшее распространение получил пластический способ, который позволяет производить переработку глинистого сырья с разрушением его естественной структуры, усреднение, гомогенизацию, а возможность введения различного рода добавок позволяет увеличить коэффициент вспучивания. У глинистого сырья, перерабатываемого пластическим способом, определяют число пластичности.

Пластичность – способность влажной глины под действием внешних сил принимать заданную форму и сохранять ее после устранения давления. Ее можно увеличить вылеживанием глин на воздухе и снизить нагреванием или введением добавок (например, кремнезема). К наиболее пластичным относятся монтмориллонитовые, а к наименее пластичным – каолининовые глины. С увеличением частиц размером меньше 0,001 мм пластичность глин возрастает.

На число пластичности оказывает влияние влажность на границе текучести и влажность на границе раскатывания.

Влажностью на границе текучести называется влажность, при которой глина переходит из пластического состояния в текучее.

Влажностью на границе раскатывания называется влажность, при которой глина переходит из пластичного состояния в хрупкое, т.е. дает трещины при раскатывании.

Приборы и оборудование:

- весы лабораторные электронные ВЛА;
- мерный цилиндр емкостью 100 см³;
- секундомер;
- сито с сеткой 0,5 мм;
- шкаф сушильный;
- чашка фарфоровая с пестиком;
- шпатель;
- стекло для раскатывания;
- бюксы;
- прибор Вика с иглой и кольцом;
- электропечь обжига сырьевых гранул керамзита.

Порядок выполнения работы

Преподаватель делит студентов на три – четыре бригады. Каждая бригада получает индивидуальное задание по изготовлению сырьевых гранул керамзитового гравия с использованием различных видов добавок (например, мазут, соляровое масло, керосин, нефть) или различной концентрацией добавки (0; 1 и 2%).

В работе определяются следующие показатели:

- 1) число пластичности глины;
- 2) нормальная формовочная влажность глинистого сырья и коэффициент вспучиваемости сырьевых гранул керамзитового гравия.

1 Определение пластичности глины

Число пластичности глины определяют исходя из верхнего предела ее пластичности (влажность на границе текучести) и нижнего предела (влажность на границе раскатывания).

1.1 Порядок проведения испытания

Верхний предел пластичности определяют при помощи прибора А.М. Васильева следующим образом. Из измельченной и просеянной через сито 0,5 мм глины готовят тесто, которым плотно заполняют металлическую форму диаметром 40 мм и высотой не менее 20 мм. Поверхность теста выравнивают шпателем вровень с краями формы.

Балансирный конус с нанесенной рисккой, находящейся на расстоянии 10 мм от острия конуса, предварительно слегка смазывают машинным маслом, подносят к поверхности теста и опускают. Конус под давлением собственного веса опускается в тесто. Если конус погрузился в течение 5 с на глубину менее 10 мм, что должно быть видно по метке, то консистенция глиняного теста не достигла искомой величины.

В этом случае к массе добавляют немного воды, тщательно перемешивают и опыт повторяют. Когда консистенция глинистого теста достигнет искомой величины, при которой конус погружается на 10 мм, из теста делают два образца

кубика с ребром 10 – 15 мм. Кубики подписывают, взвешивают на электронных весах и высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 – 110 °С до постоянной массы.

За результат принимают среднееарифметическое значение двух параллельных определений.

Для определения нижнего предела пластичности глины к массе теста, оставшейся после определения предела текучести, добавляют сухой порошок глины и тщательно перемешивают. После получения однородного теста делают образцы шарики диаметром около 10 – 20 мм и раскатывают на стекле в жгуты диаметром 1 – 3 мм до тех пор, пока жгуты не начнут рассыпаться на отдельные цилиндрики. Затем цилиндрики помещают в бюкс и взвешивают на электронных весах без учета массы бюкса. После этого образцы высушивают в сушильном шкафу при температуре 105..110 °С до постоянной массы.

1.1 Обработка результатов

Влажность на границе текучести, % по массе, определяют по формуле:

$$W_{z.m.} = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \% , \quad (3.1)$$

где m – масса влажного образца, г; m_1 – масса высушенного образца, г.

Влажность на границе раскатывания, % по массе, определяют по формуле:

$$W_{z.p.} = \frac{m_2 - m_3}{m_3} \cdot 100, \% , \quad (3.2)$$

где m_2 – масса влажных образцов, г; m_3 – масса высушенных образцов, г.

Число пластичности определяется исходя из экспериментально определенных влажностей на границе текучести и границе раскатывания по формуле:

$$П = W_{z.m} - W_{z.p.} \quad (3.3)$$

Группу глинистого сырья в зависимости от ее пластичности определяют по табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Классификация глин по числу пластичности

Число пластичности $П$, %	Группа глинистого сырья
Свыше 25	Высокопластичные
15 – 25	Среднепластичные
7 – 15	Умереннопластичные
Менее 7	Малопластичные
Не дают пластичного теста	Непластичные

2 Определение нормальной формовочной влажности и коэффициента сжимаемости гранул

Под формовочной влажностью понимают количество воды, необходимое для придания глине нормальной рабочей консистенции, при которой глиняное тесто, проявляя пластические и формовочные свойства, сохраняет без деформации приданную форму и при раскатывании не прилипает к рукам и столу.

2.1 Порядок проведения испытания

Высушенную и измельченную до размера частиц 1 – 3 мм глину в количестве около 100 г кладут в сферическую чашку и при непрерывном перемешивании постепенно добавляют воду небольшими порциями (вначале по 5 см³, а затем, по мере увлажнения глины, по 2 – 3 см³), пока глина не окажется в состоянии рабочей (формовочной) влажности. При этом глина хорошо формируется и при раскатывании руками не прилипает к рукам и к столу.

Полученное тесто укладывают в кольцо прибора Вика высотой 50 мм и диаметром 35 мм. При достижении глиной нормальной формовочной влажности игла прибора должна опуститься в тесто на глубину 30 – 40 мм в течение 5 минут. Добавлением воды или сухой глины тесто доводят до требуемой консистенции.

За окончательный результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных определений.

После подбора формовочной влажности к глинистому сырью добавляют заданное количество добавки и формируют гранулы диаметром около 10 – 20 мм в виде шара, после этого их взвешивают (m) и высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 – 110°C до постоянной массы. После высушивания гранулы взвешивают (m_1) и определяют их объем.

Объем гранул определяют следующим образом. Кварцевый песок фракции 0,315 – 0,63 мм засыпают в сосуд доверху, затем частично отсыпают, укладывают гранулу керамзита, снова наполняют сосуд песком и замеряют объем оставшегося песка, который равен объему гранулы. Встряхивание при этом не допускается во избежание уплотнения песка и искажения результатов измерения.

Затем высушенные гранулы керамзитового гравия опудривают золой ТЭЦ, после чего обжигают в электропечи по режиму, представленному на рис. 3.1.

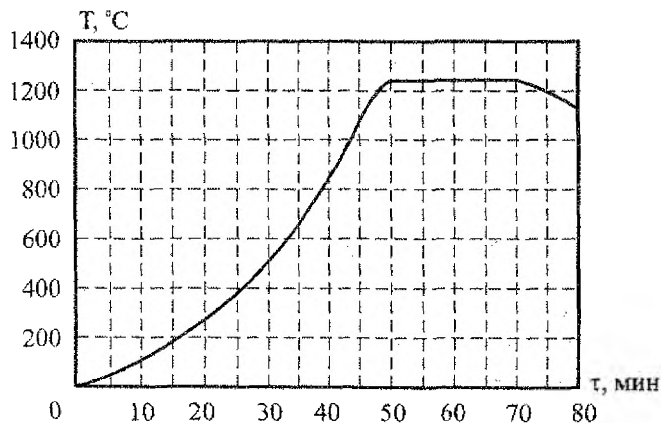


Рисунок 3.1 – Режим обжига сырьевых гранул

После обжига и охлаждения гранулы керамзита взвешивают (m_2) и определяют их объем вышеуказанным способом.

2.2 Обработка результатов

Нормальную формовочную влажность, %, определяют по формуле:

$$W_{\phi} = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \% \quad (3.4)$$

где m – масса влажных гранул, г; m_1 – масса высушенных гранул, г.

Коэффициент вспучивания гранул керамзита определяют по формуле:

$$K_e = \frac{\rho_c}{\rho_k} \cdot \left(1 - \frac{\text{П.П.П.}}{100}\right), \quad (3.5)$$

где ρ_c – средняя плотность сухих сырцовых гранул керамзита, г/см³; ρ_k – средняя плотность вспученных гранул керамзита, г/см³; П.П.П. – потери при прокаливании сухих сырцовых гранул, %.

Плотность сухой сырцовой гранулы, г/см³, определяют по формуле

$$\rho_c = m_1 / v_1, \quad (3.6)$$

где v_1 – объем высушенной гранулы керамзитового гравия, см³.

Плотность вспученной гранулы, г/см³, определяют по формуле

$$\rho_k = m_2 / v_2, \quad (3.7)$$

где m_2 – масса вспученной гранулы керамзитового гравия, г; v_2 – объем вспученной гранулы, см³.

$$\text{П.П.П.} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \% \quad (3.8)$$

Результаты исследований глинистого сырья для производства керамзитового гравия заносят в табл. 3.3.

В заключение строится график зависимости коэффициента вспучиваемости от расхода добавки и делаются выводы о влиянии вида и расхода добавок на качество керамзитового гравия.

Таблица 3.3 – Результаты исследований глинистого сырья

№ п/п	Группа глины	Формовочная влажность, %	Расход добавки, %	Масса гранул, г			Объем гранул, см ³		ППП	Коэффициент вспучивания
				Влажных m	Сухих m_1	Вспученных m_2	Сухих v_1	Вспученных v_2		
1			-							
2			1							
3			2							

Лабораторная работа № 4 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Цель работы – освоить методики оценки качества пористых заполнителей для бетона, сопоставить полученные данные с требованиями ГОСТа и рекомендовать для применения в легких бетонах.

Краткие теоретические сведения

К пористым заполнителям относят сыпучие материалы, плотность зерен которых не превышает 2 г/см^3 , а средняя насыпная плотность не более 1000 кг/м^3 .

Искусственные пористые гравий и щебень изготавливают следующих основных фракций: от 5 до 10; от 10 до 20; от 20 до 40 мм. Допускается изготовление гравия и щебня от 2,5 до 10 мм и смеси фракций от 5 до 20 мм и для теплоизоляционных засыпок – от 5 до 40 мм.

Искусственный пористый песок, в зависимости от зернового состава, подразделяют на три группы:

- 1) для конструктивно-теплоизоляционного бетона;
- 2) для конструкционного бетона;
- 3) для теплоизоляционного бетона.

Допускается изготовление песчано-щебеночной смеси с наибольшей крупностью зерен до 10 мм.

Приборы и оборудование:

- весы лабораторные по ГОСТ 24104; комплект мерных цилиндрических сосудов;
- шкаф сушильный;
- стандартный набор сит;
- сосуд для насыщения заполнителя водой;
- противень;
- формомер или штангенциркуль по ГОСТ 166 – 80;
- гидравлический пресс с максимальным усилием 50 – 250 кН (5 – 25 тс) по ГОСТ 8905 – 82;
- стальной составной цилиндр;
- мерный стеклянный цилиндр вместимостью 1000 мл;
- виброплощадка по ГОСТ 10181.1 – 81.

Порядок выполнения работы

Преподаватель делит студентов на три – четыре бригады. Каждая бригада получает индивидуальное задание на испытание одного из видов пористого заполнителя (например, гравия и песка керамзитового, зольного гравия, щебня аглопоритового, шлаковой пемзы) методами ГОСТ 9758 – 2012.

В работе определяются следующие показатели:

- 1) средняя насыпная плотность;
- 2) средняя плотность зерен крупного заполнителя и межзерновые пустоты;
- 3) водопоглощение;
- 4) зерновой состав;
- 5) коэффициент формы зерен крупного заполнителя;
- 6) прочность заполнителя сдавливанием в цилиндре;
- 7) средняя плотность зерен заполнителя в цементном тесте.

1 Определение насыпной плотности

Насыпную плотность определяют взвешиванием массы высушенной пробы заполнителя в мерном сосуде.

1.1 Порядок проведения испытания

Определение средней насыпной плотности пористого гравия, щебня или песка производят в соответствии с работой № 2 по п. 8.1.

Размер мерного сосуда и объем пробы для испытания в зависимости от крупности заполнителя принимают по табл. 4.1.

Насыпную плотность заполнителя вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений, при проведении которых каждый раз используют новую порцию заполнителя.

Таблица 4.1 – Размеры мерных сосудов и объем пробы

Наибольшая крупность зерен, мм	Объем мерного сосуда, л	Размер сосуда, мм		Объем пробы, л
		Диаметр	Высота	
5 и менее	1	108	108,5	1,5
10	2	137	136,5	3
20	5	185	186,5	6,5
40	10	234	233,8	11,5

1.1 Обработка результатов

Насыпную плотность заполнителя (ρ_n) в кг/м^3 вычисляют с точностью до 10 кг/м^3 (песка марок по насыпной плотности 250 и менее – до 1 кг/м^3) по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (4.1)$$

где m_1 – масса мерного сосуда с заполнителем, кг; m_2 – масса мерного сосуда, кг; V – объем мерного сосуда, м^3 .

В зависимости от насыпной плотности гравий, щебень и песок подразделяют на марки, приведенные в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Марка по насыпной плотности неорганических пористых заполнителей

Насыпная плотность, кг/м^3	Марка по насыпной плотности
До 250 включительно	250
250 – 300	300
300 – 350	350
350 – 400	400
400 – 450	450
450 – 500	500
500 – 600	600
600 – 700	700
700 – 800	800
800 – 900	900
900 – 1000	1000
1000 – 1100	1100

Предельные значения марок по насыпной плотности для различных видов пористых: гравия, щебня и песка – должны соответствовать требованиям ГОСТ 9757–90, приведенным в табл. 4.3. При этом фактическая марка по насыпной плотности не должна превышать максимального значения, а минимальные значения приведены в качестве справочных.

Таблица 4.3 – Предельные значения марок по насыпной плотности

Материал	Марки по насыпной плотности	
	Минимальная	Максимальная
Гравий и щебень керамзитовый	250	600
Гравий шунгизитовый	400	700
Гравий аглопоритовый	500	900
Щебень аглопоритовый	400	900
Щебень шлакопемзовый	400	800
Песок керамзитовый и шунгизитовый	500	1000
Песок аглопоритовый	600	1100
Песок шлакопемзовый	700	1000

Примечание. По согласованию изготовителя с потребителем для приготовления конструкционных легких бетонов классов В20 и выше допускается изготовление керамзитового гравия и щебня марок 700 и 800.

2 Определение средней плотности зерен крупного заполнителя и межзерновых пустот

Среднюю плотность зерен крупного заполнителя определяют гидростатическим методом по разности массы контейнера с навеской до и после насыщения ее водой при взвешивании в воде и на воздухе.

2.1 Порядок проведения испытания

Из высушенной до постоянной массы пробы заполнителя объемом 3 л отсеивают частицы менее 5 мм на сите с отверстиями диаметром 5 мм. Затем сухой контейнер с крышкой предварительно взвешивают на воздухе и в воде на весах с приспособлением для гидростатического взвешивания. После чего в контейнер засыпают пробу заполнителя объемом 1 л, закрывают его крышкой и взвешивают. Затем контейнер с заполнителем постепенно погружают в сосуд с водой и встряхивают в воде для удаления пузырьков воздуха. Сосуд с заполнителем должен находиться в воде 1 ч, причем уровень воды должен быть выше крышки контейнера не менее чем на 20 мм. Контейнер с насыщенным водой заполнителем взвешивают на весах с приспособлением для гидростатического взвешивания (см. рис. 7). Далее контейнер с заполнителем вынимают из сосуда с водой, излишку воды в течение 10 мин дают стечь и взвешивают на воздухе. Среднюю плотность зерен крупного заполнителя каждой фракции вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений, каждое из которых производят на новой порции заполнителя.

2.2 Обработка результатов

Среднюю плотность зерен крупного заполнителя (ρ_k) в г/см³ вычисляют по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \cdot \rho_0, \quad (4.2)$$

где m_1 – масса пробы сухого заполнителя, найденная по разности массы контейнера с высушенной пробой и массы контейнера при взвешивании на воздухе, г; m_2 – масса пробы заполнителя, насыщенного водой, найденная по разности массы контейнера с насыщенной пробой заполнителя и без него при взвешивании на воздухе, г; m_3 – масса заполнителя в воде, найденная по разности массы контейнера с насыщенной пробой заполнителя и без него при взвешивании в воде, г; ρ_0 – плотность воды, равная 1 г/см^3 .

Объем межзерновых пустот определяют расчетным путем по экспериментально определенной насыпной и средней плотности зерен заполнителя.

Объем межзерновых пустот в крупном заполнителе $V_{м.п.}^k$ и в песке $V_{м.п.}^n$, % по объему, вычисляют по формулам:

$$V_{м.п.}^k = \left(1 - \frac{\rho_n}{1000 \cdot \rho_k} \right) \cdot 100, \%, \quad (4.3)$$

$$V_{м.п.}^n = \left(1 - \frac{\rho_n}{1000 \cdot \rho_n} \right) \cdot 100, \%, \quad (4.4)$$

где ρ_n – насыпная плотность заполнителя в сухом состоянии, кг/м^3 ; ρ_k , ρ_n – средняя плотность соответственно зерен крупного заполнителя и песка, г/см^3 .

3 Определение водопоглощения крупного заполнителя

Метод основан на определении разности массы навески до и после насыщения ее водой.

3.1 Порядок проведения испытания

Высушенную до постоянной массы навеску заполнителя объемом 2, 3 или 5 л (в зависимости от крупности заполнителя) просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм, после чего пробу делят пополам на две части и взвешивают каждую навеску. Затем укладывают в контейнер, закрывают крышкой, погружают в воду и встряхивают для удаления пузырьков воздуха из заполнителя. Контейнер выдерживают в воде в течение 1 ч, после чего вынимают, подвешивают и дают избыточной воде стечь в течение 10 мин. Далее пробу заполнителя вынимают из контейнера и взвешивают на весах.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений.

3.2 Обработка результатов

Водопоглощение крупного заполнителя за 1 ч ($W_{\text{посл}}$) в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$W_{\text{песк}} = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \% , \quad (4.5)$$

где m, m_1 – массы заполнителя соответственно насыщенного водой и сухого, г.

4 Определение зернового состава пористых заполнителей

Метод основан на расसेве через набор стандартных сит предварительно высушенной пробы крупного заполнителя или песка.

4.1 Порядок проведения испытания

Из крупного заполнителя или песка, высушенного до постоянной массы, отбирают пробу следующим объемом:

- 2 л для заполнителя фракции от 0 до 5 мм;
- 5,0 л – от 5 до 10 мм;
- 10 л – от 10 до 20 мм;
- 20 л – от 20 до 40 мм.

Зерновой состав пористого песка определяют по методике, приведенной в работе № 1, п. 2.1.

Зерновой состав гравия (щебня) данной фракции (или смеси фракций) определяется по методике, приведенной в лабораторной работе № 2, п. 1.1. Просев одной фракции осуществляют через набор сит с отверстиями $2D, D, d$.

4.2 Обработка результатов

По результатам просеивания вычисляют частный остаток на каждом сите стандартного набора (a_i) в процентах с округлением до 0,1 % по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100 , \quad (4.6)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г; m – масса пробы, г.

Полные остатки на каждом сите вычисляют в процентах по формуле:

$$A_i = a_i + a_{i+1} + a_{i+2} + \dots + a_n, \quad (4.7)$$

где $a_i, a_{i+1}, a_{i+2}, a_n$ – частные остатки на i -м сите и всех ситах в стандартном наборе сит с большими размерами отверстий;

$i, i+1, i+2, n$ – порядковые номера сит стандартного набора.

Для определения частных и полных остатков по объему полученное значение частных остатков по массе делят на соответствующее значение насыпной плотности отдельных фракций (ρ_n), определенной по п. 1, г/см³:

$$V_i = \frac{a_i}{\rho_n} . \quad (4.8)$$

Зерновой состав отдельных групп пористого песка по ГОСТ 9757 – 90 должен находиться в пределах, указанных в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Зерновой состав пористого песка

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

Результаты просева крупного заполнителя заносят в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты просева крупного заполнителя

Диаметры отверстий контрольных сит, мм	$2D =$	$D =$	$d =$
Полный остаток на сите, % по массе			
Полный остаток на сите, % по объему			

Зерновой состав пористого гравия и щебня каждой фракции должен соответствовать требованиям ГОСТ 9757 – 90, указанным в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Зерновой состав крупного заполнителя

Диаметр отверстия контрольного сита, мм	$2D$	D	d
Полный остаток на сите, % по массе	Не допускается	До 10	От 85 до 100

В гравии и щебне фракций от 2,5 до 10 мм и смеси фракций от 5 до 20 мм содержание зерен размером от 5 до 10 мм должно быть от 25 до 50 % по массе.

5 Определение коэффициента формы зерен крупного заполнителя

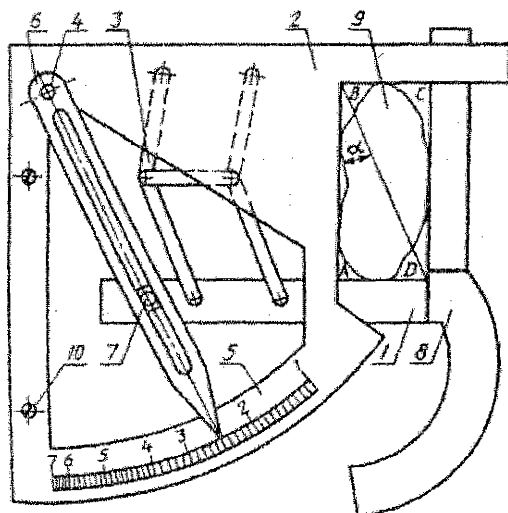
Метод основан на определении наибольшего и наименьшего размеров зерна заполнителя с помощью формомера. Коэффициент формы зерна вычисляют путем деления наибольшего размера зерна на наименьший.

5.1 Порядок проведения испытания

Коэффициент формы каждого зерна определяют с помощью формомера (рис. 4.1) или штангенциркуля.

Перед началом работы прибор крепят к столу двумя инвентарными винтами 10, чтобы измерительный контур был вне стола, и под контуром размещают емкость для сбора измеренных зерен. Затем зерно щебня (гравия) вкладывают длиной в один из угольников вдоль его длинной стороны и, поддерживая его большим и указательным пальцами руки, держащей рукоятку, перемещают рукоятку до соприкосновения с зерном обеих сторон второго угольника. Кулиса-стрелка при этом всегда параллельна диагонали BD прямоугольника. При этом размер длинной стороны прямоугольника становится равным длине, а размер короткой – толщине зерна; отношение названных размеров зерна равно отношению размеров сторон прямоугольника или $\operatorname{tg} \alpha$, в значениях которого проградуирована шкала 5.

При отводе подвижного угольника 1 в исходное положение измеренное зерно выпадает в подготовленную емкость.



1 – подвижный угольник; 2 – неподвижный угольник; 3 – двойной шарнирный параллелограмм; 4 – кулиса-стрелка; 5 – шкала; 6 – ось поворота; 7 – ось ползуна; 8 – рукоятка; 9 – зерно щепня; 10 – инвентарный винт

Рисунок 4.1 – Формомер

При отсутствии формомера коэффициент формы зерен определяют с помощью штангенциркуля. Для этого с погрешностью до 1 мм штангенциркулем измеряют наибольший и наименьший размеры каждого зерна.

5.2 Обработка результатов

Коэффициент формы (K_{ϕ}) для каждого зерна определяют по формуле

$$K_{\phi} = \frac{D_{\max}}{D_{\min}}, \quad (4.9)$$

где D_{\max} , D_{\min} – соответственно наибольший и наименьший размеры зерна, мм.

Коэффициент формы нескольких зерен крупного заполнителя ($K_{\phi, \text{ср}}$) вычисляют по формуле:

$$K_{\phi, \text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\phi_i}}{n} \quad (4.10)$$

где K_{ϕ_i} – коэффициент формы i -го зерна; n – число измеренных зерен.

6 Определение прочности заполнителя сдавливанием в цилиндре

Прочность заполнителей при сдавливании в цилиндре определяют по нагрузке, соответствующей погружению плунжера на 20 мм в слой испытываемой пробы заполнителя.

6.1 Порядок проведения испытания

Высушенную до постоянной массы навеску, равную по объему 2 л, насыпают с высоты 100 мм в стальной цилиндр с поддоном так, чтобы после разравнивания верхний уровень заполнителя доходил до верхнего края цилиндра (рис. 5). Затем на цилиндр надевают приставку и в нее вставляют плунжер. При этом нижняя риска на плунжере должна совпадать с верхним краем приставки. После этого цилиндр с плунжером помещают на подушку гидравлического пресса, сдвигают заполнитель до погружения плунжера на 20 мм (до верхней риски) и отмечают показание стрелки манометра.

Вдавливание плунжера должно производиться без перекоса со скоростью 0,5 – 1 мм/с. Прочность заполнителя отдельной фракции при сдвигании в цилиндре вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений для каждой фракции заполнителя.

6.2 Обработка результатов

Прочность при сдвигании заполнителя в цилиндре ($R_{сд}$) в МПа вычисляют по формуле:

$$R_{сд} = \frac{P}{F}, \quad (4.11)$$

где P – нагрузка при сдвигании заполнителя, соответствующая погружению плунжера до верхней риски, Н; F – площадь поперечного сечения цилиндра, равная 177 см².

В зависимости от прочности, определяемой испытанием в цилиндре, гравий и щебень подразделяют на марки по прочности, приведенные в табл. 4.7.

Таблица 4.7 – Прочность неорганических пористых заполнителей

Марки по прочности	Прочность при сдвигании в цилиндре, МПа				
	керамзитового и шунгизитового гравия	керамзитового щебня	аглопоритового		шлакопемзового щебня
			гравия	щебня	
П15	До 0,5	---	---	До 0,3	До 0,2
П25	0,5 – 0,7	---	---	0,3 – 0,4	0,2 – 0,3
П35	0,7 – 1,0	0,5 – 0,6	---	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4
П50	1,0 – 1,5	0,6 – 0,8	0,7 – 1,0	0,5 – 0,6	0,4 – 0,5
П75	1,5 – 2,0	0,8 – 1,2	1,0 – 1,2	0,6 – 0,7	0,5 – 0,6
П100	2,0 – 2,5	1,2 – 1,6	1,2 – 1,5	0,7 – 0,8	0,6 – 0,8
П125	2,5 – 3,3	1,6 – 2,0	1,5 – 1,7	0,8 – 0,9	0,8 – 1,1
П150	3,3 – 4,5	2,0 – 3,0	1,7 – 2,0	0,9 – 1,0	1,1 – 1,4
П200	4,5 – 5,5	3,0 – 4,0	2,0 – 2,5	1,0 – 1,2	1,4 – 1,8
П250	5,5 – 6,5	4,0 – 5,0	2,5 – 3,0	1,2 – 1,4	1,8 – 2,2
П300	6,5 – 8,0	5,0 – 6,0	3,0 – 3,5	1,4 – 1,6	2,2 – 2,7
П350	8,0 – 10,0	6,0 – 7,0	Свыше 3,5	Свыше 1,6	Свыше 2,7
П400	Свыше 10,0	7,0 – 8,0	---	---	---

Марки по прочности гравия и щебня в зависимости от марок по насыпной плотности должны соответствовать требованиям ГОСТ 9757 – 90, приведенным в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Марки по прочности в зависимости от марок по насыпной плотности

Марка по насыпной плотности	Марка по прочности, не менее				
	керамзитового гравия и щебня	шунгизитового гравия	аглопоритового		шлакопемзового щебня
			гравия	щебня	
250	П25	---	---	---	---
300	П35	---	---	---	---
350	П50	---	---	---	---
400	П50	---	П25	П25	П35
450	П75	---	П35	П35	П50
500	П100	П50	П50	П50	П50
600	П125	П75	П100	П75	П75
700	П150	П100	П150	П100	П100
800	П200	П150	П250	П150	---
900	---	П200	П300	---	---

Примечание. Для теплоизоляционных засыпок допускается выпускать гравий и щебень с маркой по прочности ниже, чем указано в таблице, но не менее марки П15.

7 Определение средней плотности зерен заполнителя в цементном тесте

Среднюю плотность зерен крупного заполнителя определяют делением массы высушенной навески на ее объем, вычисленный по разности объемов бетонной и растворной смесей на кварцевом песке. Плотность зерен песка определяют таким же образом, но объем песка находят по разности объемов растворной смеси и цементного теста.

7.1 Порядок проведения испытания

Для определения средней плотности зерен однофракционного состава крупного заполнителя высушенную до постоянной массы навеску, равную 3,5 л, перемешивают на предварительно увлажненном противне с навеской цемента в количестве 1,7 кг и кварцевого песка в количестве 3,4 кг. В полученную смесь постепенно наливают воду до получения малоподвижной бетонной смеси жесткостью 5 – 10 с по ГОСТ 7473 – 2010. Израсходованное количество воды замеряют.

Перемешанную смесь выдерживают в течение 15 мин, а затем полностью помещают в предварительно взвешенный сосуд емкостью 5 л. Смесь в сосуде уплотняют вибрированием в течение 30 – 60 с на виброплощадке. После этого сосуд с уплотненной смесью взвешивают и определяют массу смеси в сосуде с погрешностью до 10 г и объем смеси в сосуде с погрешностью до 10 мл.

Для определения средней плотности зерен монофракционного состава пористого песка отбирают высушенную до постоянной массы навеску, равную 0,9 л, и перемешивают на предварительно увлажненном противне с навеской цемента, равной 1 кг. В полученную смесь постепенно наливают воду до получения пластичной растворной смеси подвижностью 6 – 8 см по ГОСТ 5802–86. Израсходованное количество воды замеряют. Перемешанную смесь выдерживают 15 мин и затем помещают в предварительно взвешенный мерный сосуд объемом 1 л.

Смесь в сосуде вибрируют 5 – 10 с до полного уплотнения, характеризуемого обильным выделением цементного молока на поверхности смеси. Затем сосуд взвешивают и вычисляют среднюю плотность приготовленной смеси в уплотненном состоянии.

7.2 Обработка результатов

Среднюю плотность зерен крупного заполнителя $\rho_3^{\text{цт}}$ и песка $\rho_n^{\text{цт}}$ в цементном тесте (г/см^3) вычисляют с точностью до $0,1 \text{ г/см}^3$ по формулам:

$$\rho_{\text{ц,м}}^3 = \frac{\rho_{\text{см}} \cdot m_k}{M - \rho_{\text{см}} \left(\frac{m_{\text{ц}}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{m_{\text{п,кв}}}{\rho_{\text{п,кв}}} + m_{\text{в}} \right)}; \quad (4.12)$$

$$\rho_{\text{ц,м}}^n = \frac{\rho_{\text{см}} \cdot m_n}{M - \rho_{\text{см}} \left(\frac{m_{\text{ц}}}{\rho_{\text{ц}}} + m_{\text{в}} \right)}. \quad (4.13)$$

где $\rho_{\text{см}}$ – плотность приготовленной смеси в уплотненном состоянии, г/см^3 ; m_k – масса испытуемого крупного заполнителя, кг; m_n – масса испытуемого песка, кг; M – суммарный расход всех материалов (включая воду) в замесе, кг; $m_{\text{ц}}$, $m_{\text{п,кв}}$, $m_{\text{в}}$ – соответственно массы цемента, кварцевого песка и воды в замесе, кг; $\rho_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{п,кв}}$ – соответственно плотности цемента и кварцевого песка, принимаемые: $\rho_{\text{ц}} = 3,1 \text{ г/см}^3$, $\rho_{\text{п,кв}} = 2,65 \text{ г/см}^3$.

Результаты испытаний неорганических пористых заполнителей заносят в табл. 4.9.

Таблица 4.9 – Результаты испытаний неорганических пористых заполнителей

№ п/п	Вид заполнителя	Водопоглощение $W_{\text{погл}}$, %	Марки		Средняя плотность ρ_k , г/см^3	Объем межзерновых пустот $V_{\text{м,п}}$, %	Коэффициент формы	Плотность в цементном тесте $\rho_{\text{ц,м}}$, г/см^3
			по насыпной плотности	по прочности				

В заключение делаются выводы о рациональном использовании испытуемого пористого заполнителя в легких бетонах, дается сравнительная оценка их качества.

Библиографический список

- 1 Чумаков, Л.Д. Технология заполнения бетона (практикум): учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 120 с.
- 2 Онацкий, С.П. Производство керамзита. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1987. – 110 с.
- 3 ГОСТ 8736 – 93. Песок для строительных работ. Технические условия.
- 4 ГОСТ 8735 – 88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
- 5 ГОСТ 8267 – 93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
- 6 ГОСТ 8269.0 – 97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.
- 7 ГОСТ 8269.1 – 97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа.
- 8 ГОСТ 9757 – 90. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.
- 9 ГОСТ 9758 – 2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.
- 10 ГОСТ 22856 – 89 Щебень и песок декоративные из природного камня. Технические условия.
- 11 ГОСТ 25137 – 82. Материалы нерудные строительные, щебень и песок плотные из отходов промышленности, заполнители для бетонов пористые. Классификация.
- 12 ГОСТ 10832 – 2009. Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия.
- 13 ГОСТ 23254 – 78. Щебень для строительных работ из попутно добываемых пород и отходов горно-обогатительных предприятий. Технические условия.
- 14 ГОСТ 23735 – 79. Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия.
- 15 ГОСТ 26873 – 86. Материалы из отсевов дробления осадочных горных пород для строительных работ. Технические условия.
- 16 ГОСТ 26193 – 84. Материалы из отсевов дробления изверженных горных пород для строительных работ. Технические условия.
- 17 ГОСТ 24100 – 80. Сырье для производства песка, гравия и щебня из гравия для строительных работ. Технические требования и методы испытаний.
- 18 ГОСТ 26644 – 85. Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия.
- 19 ГОСТ 25592 – 91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.
- 20 СТБ 1544 – 2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
- 21 СТБ 2221 – 2011. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия.

Учебное издание

*Павлова Инесса Павловна
Каленюк Татьяна Викторовна*

ЗАПОЛНИТЕЛИ БЕТОНА

Методические указания
к лабораторным работам по курсу
“Заполнители бетона”
для студентов специальности 1-70 01 01
“Производство строительных изделий и конструкций”

Ответственный за выпуск: Павлова И.П.
Редактор: Боровикова Е.А.
Компьютерная верстка: Соколюк А.П.
Корректор: Никитчик Е.В.

Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.

Подписано в печать 30.03.2016 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 2,56. Уч. изд. л. 2,75. Заказ № 377.

Тираж 85 экз. Отпечатано на ризографе учреждения
образования «Брестский государственный технический
университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.