

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра технологии строительных материалов,
изделий и конструкций

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторно-практических работ по дисциплине

«Самоуплотняющиеся и дисперсно-армированные бетоны»

направления подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе магистратуры
«Инновационные технологии высокопрочных и высокофункциональных бетонов»

**Квалификация (степень) выпускника
Магистр**

Казань - 2016

Составители: Красникова Н.М., Морозов Н.М., Хозин В.Г.

УДК 666.982

ББК 38.33

М80

М80 Методические указания к выполнению лабораторно-практических работ по дисциплине «Самоуплотняющиеся и дисперсно-армированные бетоны» для студентов по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе магистратуры «Инновационные технологии высокопрочных и высокофункциональных бетонов»/ Сост.: Красникова Н.М., Морозов Н.М., Хозин В.Г. Казань: КГАСУ, 2016. - 54 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

В учебно-методическом пособии приводятся основные сведения о свойствах и структуре бетона, а также методы их оценки.

Табл. 16, Рис.18, Библиогр.: 24 назв.

Рецензент: генеральный директор ООО «ИнжЦ «Стройхимкомпозит»,
к.т.н. Богданов А.Н.

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2016 г.

Введение	4
Практическая работа № 1. Методы оценки свойств песка и способы оптимизации его гранулометрического состава	5
Практическая работа № 2. Расчет состава самоуплотняющегося бетона и его экспериментальная проверка	12
Практическая работа № 3. Способы повышения изгибной прочности мелкозернистых бетонов и оценка влияния вида дисперсной арматуры на прочность бетона	20
Практическая работа № 4. Экспериментальная оценка зависимости прочности от воздухововлечения самоуплотняющегося бетона	24
Практическая работа № 5. Влияние способа введения фибры на свойства бетонов	28
Практическая работа № 6. Влияние химических добавок на воздухововлечение самоуплотняющегося бетона	31
Практическая работа № 7. Сравнение прочности дисперсно-армированного бетона с обычным крупнозернистым бетоном	36
Практическая работа № 8. Оценка пористости самоуплотняющегося бетона и ее роль в формировании прочности	41
Практическая работа № 9. Оценка свойств растворных смесей с дисперсно-волокнистыми добавками	47
Список литературы	52

ВВЕДЕНИЕ

Бетон является главным наиболее распространенным строительным материалом, он широко используется для создания и улучшения окружающей среды. Именно поэтому принято считать бетон материалом, во многом определяющим уровень развития цивилизации. Он играет важную роль в формировании эстетически привлекательной и здоровой среды обитания и жизнедеятельности человека. Его экологическая функция “поглотителя” производственных отходов чрезвычайно велика.

Лабораторно-практические работы по дисциплине «Самоуплотняющиеся и дисперсно-армированные бетоны» предназначены для студентов по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе магистратуры «Инновационные технологии высокопрочных и высокофункциональных бетонов».

Основной целью работ является более углубленное изучение отдельных вопросов курса применительно к данной специальности и приобретение навыков проведения исследовательских работ по изготовлению бетона оптимальной структуры и оценке свойств бетона.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Методы оценки свойств песка и способы оптимизации его гранулометрического состава

Введение

Нормативные документы: ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия.», ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

Песок – неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений. Песок — мелкий заполнитель, в бетонной смеси наиболее тесно связан с цементным тестом, составляя с последним растворную часть. Чем больше песка вводится в смесь, тем большей (при прочих равных условиях) оказывается вязкость растворной части (вязкость необходима для поддержания крупного заполнителя во взвешенном состоянии во избежание расслаивания бетонной смеси), тем меньшим будет расход цемента. Однако чрезмерное содержание песка приводит к снижению прочности бетона. Поэтому содержание песка должно быть оптимальным.

Песок в зависимости от значений нормируемых показателей качества (зернового состава, содержания пылевидных и глинистых частиц) подразделяют на два класса (первый и второй).

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

1 класс - очень крупный, повышенной крупности, крупный, средний и мелкий.

2 класс – очень крупный, повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Каждую группу песка характеризуют значением модуля крупности и полным остатком на сите №063, указанным в табл. 1.

Содержание зерен крупностью свыше 10, 5 и менее 0,14 мм, а также содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках не должно превышать значений, в % по массе (не более), указанных в табл. 2.

Природный песок при обработке раствором гидроксида натрия (колориметрическая проба на органические примеси по ГОСТ 8735) не должен придавать раствору окраску, соответствующую или темнее цвета эталона.

Таблица 1

Группа песка	Модуль крупности (M _к)	Полный остаток на сите №063, в % по массе
Очень крупный	Свыше 3,5	Свыше 75
Повышенной крупности	От 3,0 до 3,5	65 – 75
Крупный	От 2,5 до 3,0	45 – 65
Средний	От 2,0 до 2,5	30 – 45
Мелкий	От 1,5 до 2,0	10 – 30
Очень мелкий	От 1,0 до 1,5	до 10
Тонкий	От 0,7 до 1,0	не нормируется
Очень тонкий	До 0,7	не нормируется

Таблица 2

Класс и группа песка	Содержание зерен крупностью			Содержание пылевидных и глинистых част.	Содержание глины в комках
	Св. 10 мм	Св. 5 мм	менее 0,16 (0,14)мм		
I класс Очень крупный	Не нормируется			-	-
Повышенной крупности Крупный и средний	0,5	5	5	2	0,25
Мелкий	0,5	5	10	3	0,35
II класс Очень крупный	5	20	10	-	-
Повышенной крупности Крупный и средний	5	15	15	3	0,5
Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20	5	0,5
Тонкий и очень тонкий	Не допускается		Не норм	10	1,0

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСКА ВО ВЛАЖНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы – ознакомиться с методом определения насыпной плотности песка.

Средства контроля и вспомогательное оборудование

- весы по ГОСТ 23711, ГОСТ 24104;
- сосуд мерный цилиндрический металлический вместимостью 10 л (Ø и h 234 мм);
- линейка металлическая по ГОСТ 427.

Выполнение работы

Работа выполняется звеньями по 4-5 человека. Первое звено определяет насыпную плотность обогащенного песка. Второе звено – речного песка.

Порядок выполнения

1. Взвесить мерный цилиндр вместимостью 1 л.
2. Насыпать в сосуд песок с высоты 100 мм от верхнего края цилиндра до образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения песка снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой.
3. Взвесить сосуд с песком.

Обработка результатов

Насыпную плотность песка в кг/м³ вычисляют по формуле:

$$\rho_n = (m_1 - m) / V, \text{ где}$$

m- масса мерного сосуда, кг;

m₁- масса мерного сосуда с песком, кг;

V – объем сосуда, м³.

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

По окончании испытаний делается вывод о насыпной плотности в зависимости от вида песка.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА И МОДУЛЯ КРУПНОСТИ

Цель работы – ознакомиться с методом определения зернового состава песка.

Средства контроля и вспомогательное оборудование

- весы по ГОСТ 23711, ГОСТ 24104;
- набор сит по ГОСТ6613 с сетками 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 и сита с круглыми отверстиями 10; 5; 2,5 мм.

Выполнение работы

Работа выполняется звеньями по 4-5 человека. Первое звено определяет зерновой состав обогащенного песка. Второе звено – речного песка.

Зерновой состав определяют путем отсева высушенного песка на стандартном наборе сит.

Порядок выполнения

1. Взвесить 2 кг высушенного непросеянного песка.
2. Просеять его через сита с круглыми отверстиями диаметрами 10 и 5 мм.
3. Взвесить остатки на ситах 10 и 5 мм.

Вычислить содержание в песке фракции гравия с размером зерен от 5 до 10 мм (G_{p5}) и св.10мм (G_{p10}) в процентах по массе по формулам:

$$G_{p10} = M_{10} / M * 100;$$

$$G_{p5} = M_5 / M * 100; \text{ где}$$

M_{10} – остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм, г;

M_5 – остаток на сите с отверстиями диаметром 5 мм, г;

M - масса пробы, г.

4. Из части пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отобрать навеску массой 1000 г (1кг) для определения зернового состава песка.

5. Просеять 1 кг песка через набор сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и сетками № 1,25; 0,63; 0,315; 0,14.

Просеивание производят механическим или ручным способами. Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 минуты через него проходило не более 0,1 % общей массы просеиваемой навески.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания, интенсивно встряхивая каждое сито над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падение зерен песка.

Обработка результатов

По результатам просеивания вычисляют:

- частый остаток на каждом сите (a_i) в % по формуле:

$$a_i = m_i / m * 100, \text{ где}$$

m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса просеиваемой навески, г.

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

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} + a_{0,315} + \dots + a_i, \text{ где}$$

$a_{2,5}, a_{1,25}, a_{0,63}, a_{0,315}, \dots, a_i$ - частные остатки на соответствующих ситах.

- модуль крупности песка (M_k) без зерен размером крупнее 5 мм по формуле:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100, \text{ где}$$

$A_{2,5}, A_{1,25}, A_{0,63}, A_{0,315}, A_{0,14}$ – полные остатки на соответствующих ситах.

Результат определения зернового состава песка оформляют в таблице или изображают графически в виде кривой просеивания.

Таблица 3

№ сита	Остаток на ситах, г	Остатки на ситах, %	
		частные	полные
2,5	$m_{2,5}$	$a_{2,5}$	$A_{2,5}$
1,25	$m_{1,25}$	$a_{1,25}$	$A_{1,25}$
0,63	$m_{0,63}$	$a_{0,63}$	$A_{0,63}$
0,315	$m_{0,315}$	$a_{0,315}$	$A_{0,315}$
0,14	$m_{0,14}$	$a_{0,14}$	$A_{0,14}$
дно	$m_{\text{дно}}$	$a_{\text{дно}}$	$A_{\text{дно}}$

По окончании испытаний делается вывод о зерновом составе в зависимости от вида песка и его соответствия нормативным документам.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГЛИНЫ В КОМКАХ

Цель работы – ознакомиться с методом определения содержания глины в комках в песке.

Средства контроля и вспомогательное оборудование

- весы;
- шкаф сушильный;
- сита с сеткой №1,25 и круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм;
- лупа минералогическая по ГОСТ25706-83;
- игла стальная.

Выполнение работы

Работа выполняется звеньями по 4-5 человека. Первое звено определяет глину в комках в обогащенном песке. Второе звено – в речном песке.

Содержание глины в комках определяют путем отбора частиц, отличающихся от зерен песка вязкостью.

Порядок выполнения

Из аналитической пробы песка, просеянной через сито с отверстиями 5 мм и высушенной до постоянной массы берут не менее 100 г песка. Рассеивают на ситах диаметром 2,5 мм и с сеткой №1,25. из полученных фракций песка отбирают навески массой:

5,0 г – фракции свыше 2,5 мм 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, отличающихся вязкостью от зерен песка, применяя в необходимых случаях лупу. Оставшиеся после выделения комков зерна песка высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Обработка результатов

Содержание глины в комках в каждой навеске песка ($G_{л\ 2,5}$, $G_{л\ 1,25}$) в % определяют по формулам:

$$G_{л\ 2,5} = (m - m_1) / m * 100 ,$$

$$G_{л\ 1,25} = (m_2 - m_3) / m_2 * 100 , \text{ где}$$

m_1, m_2 – массы навески песка фракции соответственно на сите $\varnothing 2,5$ мм и № 1,25 мм до выделения глины, г;

m_1, m_3 – массы зерен песка фракции соответственно на сите $\varnothing 2,5$ мм и № 1,25 мм после выделения глины, г;

Содержание комков глины в пробе песка (Гл) в % вычисляют по формуле:

$$\text{Гл} = (\text{Гл}_{2,5} * a_{2,5} + \text{Гл}_{1,25} * a_{1,25}) / 100, \text{ где}$$

$a_{2,5}; a_{1,25}$ – частные остатки в % по массе на ситах с отверстиями размером 2,5 и 1,25 мм, вычисленные при определении зернового состава и модуля крупности.

По окончании испытаний делается вывод о соответствии песка нормативным документам по содержанию глины в комках.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ (метод отмучивания)

Цель работы – ознакомиться с методом определения содержания пылевидных и глинистых частиц в песке.

Средства контроля и вспомогательное оборудование

- весы
- шкаф сушильный,
- цилиндрическое ведро высотой не менее 300 мм с сифоном или сосуд для отмучивания песка.

Выполнение работы

Работа выполняется звеньями по 4-5 человека. Первое звено определяет содержание пылевидных и глинистых частиц в обогащенном песке. Второе звено – в речном песке.

Содержание пылевидных и глинистых частиц определяют по изменению массы песка после отмучивания частиц крупностью до 0,05 мм.

Порядок выполнения

Взять навеску песка массой 1000г высушенного до постоянной массы и просеянного через сито с $\varnothing 5$ мм. Поместить его в цилиндрическое ведро и залить водой так, чтобы высота слоя воды над песком была около 200 мм. Залитый водой выдержать в течение 2 часов, потом тщательно перемешать несколько раз, отмывая его от приставших к зернам глинистых частиц. После этого содержимое ведра снова энергично перемешать и оставить в покое на 2 мин. Через 2 мин. Сливают полученную при промывке суспензию, оставляя ее слой над песком высотой не менее 30 мм. Затем песок снова заливают водой, так, чтобы высота слоя воды над песком была около 200 мм. Промывку песка в такой последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки станет прозрачной. После отмучивания промытый песок высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Обработка результатов

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

$$P_{отм} = (m - m_1) / m * 100, \text{ где}$$

m – масса высушенной навески до отмучивания, г;

m_1 – масса высушенной навески после отмучивания, г.

По окончании испытаний делается вывод о соответствии песка нормативным документам по содержанию пылевидных и глинистых частиц.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Цель работы – ознакомиться с методом определения содержания органических примесей в песке.

Средства контроля и вспомогательное оборудование

- весы,
- фотоколориметр ФЭК –56 М или спекрофотометр СФ-4, или другие аналогичные приборы,
- цилиндры стеклянные вместимостью 250 мл из прозрачного бесцветного стекла (внутр.Ø 36-40 мм) по ГОСТ 1770,
- баня водяная,
- натрия гидроокись (натрий гидроксид) по ГОСТ 4328, 3% раствор,
- танин, двухпроцентный раствор в однопроцентном этаноле.

Выполнение работы

Работа выполняется звеньями по 4-5 человека. Первое звено определяет содержание органических примесей в обогащенном песке. Второе звено – в речном песке.

Наличие содержания органических примесей (гумусовых веществ) определяют сравнением окраски щелочного раствора над пробой песка с окраской эталона.

Порядок выполнения

Из аналитической пробы песка в состоянии естественной влажности взять навеску 250 г. Приготовить эталонный раствор, растворяя 2,5 мл 2% раствора танина в 97,5 мл 3% раствора гидроксида натрия. Приготовленный раствор перемешать и оставить на 24 часа.

Оптическая плотность раствора танина, определяемая на фотоколориметре или спекрофотометре в области длин волн 450-500 нм, должна составлять 0,6-0,68.

Мерный цилиндр вместимостью 250 мл заполнить песком до уровня 130 мл и залить его 3% раствором гидроксида натрия до уровня 200 мл. Содержимое цилиндра перемешать и оставить на 24 часа, повторив перемешивание через 4 часа после первого перемешивания, затем сравнить окраску жидкости, отстоявшийся над пробой, с цветом эталонного раствора или стеклом, цвет которого идентичен цвету эталонного раствора.

Песок считается пригодным для использования в бетонах и растворах, если жидкость над пробой бесцветна или окрашена значительно слабее эталонного раствора.

При окраске жидкости одинаковой или более темной, чем цвет эталонного раствора, необходимо провести испытания в специализированных лабораториях.

Таблица 4

Окраска раствора	Пригодность песка
От прозрачной до светло-желтой	Пригоден для бетона в ответственных сооружениях
Ярко желтая	Пригоден
Желто-красная	Пригоден для малонапряженных конструкций
Коричнево-красная светлая	Не пригоден
Коричнево-красная	Не пригоден

По окончании испытаний делается вывод о соответствии песка нормативным документам по содержанию органических примесей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Расчет состава самоуплотняющегося бетона и его экспериментальная проверка

Введение

Расширение области применения песчаных бетонов связано с разработкой новых технологий, использующих эффективные методы подготовки вяжущего, перемешивания и уплотнения. Свойства песчаных бетонов, изготавливаемых по разным технологиям, в том числе их прочностные и деформативные характеристики, в значительной степени разнятся. Указанные положения существуют и в тяжелом бетоне, но для песчаного они усугубляется широким диапазоном удобоукладываемости, используемых смесей – от подвижных до смесей, жесткость которых превышает 120 с по ГОСТ 10181 и не может быть оценена стандартными методами измерения.

Так как песчаные бетоны обладают повышенной прочностью при изгибе, то часто их используют при производстве дорожных изделий (тротуарные и дорожные плиты). К таким изделиям предъявляются высокие требования по морозостойкости. Одним из путей повышения морозостойкости таких бетонов является использование воздухововлекающих добавок. Воздухововлекающие добавки предназначены для вовлечения в бетонную смесь заданного объема воздуха и создания в затвердевшем бетоне системы замкнутых и равномерно распределенных по всему объему воздушных пор.

Воздух, вовлеченный в раствор или бетон при помощи специальных поверхностно-активных веществ, является полезным компонентом. Этот воздух следует отличать от случайно захваченного заземленного воздуха. Он отличается по величине образуемых воздушных пор: поры от вовлечен-

ного воздуха имеют размер порядка 0,05 см, а случайно захваченный воздух образует значительно большие поры — почти такие же, как раковины на поверхности бетона. Поэтому наличие в бетонной смеси случайно захваченного воздуха может привести впоследствии к дефектам всей конструкции, т.е. в этом случае нужно руководствоваться правилом: чем меньше содержание воздуха в бетонной смеси, тем лучше.

Воздухововлекающие добавки вводятся в смесь непосредственно при ее перемешивании или в цемент в определенной пропорции. На практике необходим строгий контроль за дозировкой воздухововлекающих добавок, так как только при определенном количестве вовлеченного воздуха можно получить долговечный и морозостойкий раствор и бетон.

Особую важность регулярный контроль воздуховлечения бетонной смеси имеет в гидротехническом, дорожном строительстве и при строительстве взлетно-посадочных полос. Именно в этих областях использования бетон при эксплуатации, кроме высоких статических и динамических нагрузок, подвергается длительному воздействию отрицательных температур и попеременному замораживанию и оттаиванию.

Для дорожных и аэродромных покрытий объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси должен соответствовать указанному в табл. 1.

Таблица 1

Конструктивный слой покрытия	Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси, % для бетона	
	тяжелого	мелкозернистого
Однослойные и верхний слой двухслойных покрытий	5-7	2-7
Нижний слой двухслойных покрытий	3-5	1-12

Для гидротехнических сооружений с нормированной морозостойкостью F200 и выше, эксплуатируемых в условиях насыщения морской или минерализованной водой, объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси должен соответствовать, указанному в табл. 2.

Таблица 2

Максимальная крупность заполнителя, мм	Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси, % при В/Ц		
	менее 0,41	0,41-0,5	более 0,5
10	2-4	3-5	5-7
20	1-3	2-4	4-6
40		1-3	3-5
80			2-4

Объем вовлеченного воздуха в бетонных смесях для бетонов мостовых конструкций с нормированной морозостойкостью принимают по стандартам

и техническим условиям на бетон конструкции конкретного вида, он не должен превышать, %:

- 2-5 - для мостовых бетонных и железобетонных конструкций;
- 5-6 - для покрытий проезжей части мостов.

1. Подбор состава песчаного бетона и оценка воздухововлечения бетонной смеси

1.1 Подбор состава песчаного бетона с воздухововлекающими добавками

Состав песчаного бетона при регламентируемом коэффициенте уплотнения $K_y \geq 0,97$ подбирается в следующем порядке.

Определяется предварительная величина Ц/В (рис.1) и ориентировочный расход вяжущего Ц в $\text{кг}/\text{м}^3$ (рис.2). По принятым значениям Ц и Ц/В устанавливается количество цементного теста $V_{\text{цт}}$ ($\text{л}/\text{м}^3$) и расход песка П ($\text{кг}/\text{м}^3$) по формулам (1) и (2).

$$v_{\text{цт}} = \text{Ц} \left(\frac{1}{\gamma_{\text{ц}}} + \frac{1}{\text{Ц} + \text{В}} \right), \quad (1)$$

$$\text{П} = \gamma_{\text{п}} (1000 - v_{\text{цт}}), \quad (2)$$

где $\gamma_{\text{ц}}$ и $\gamma_{\text{п}}$ – плотность цемента и песка, $\text{кг}/\text{м}^3$.

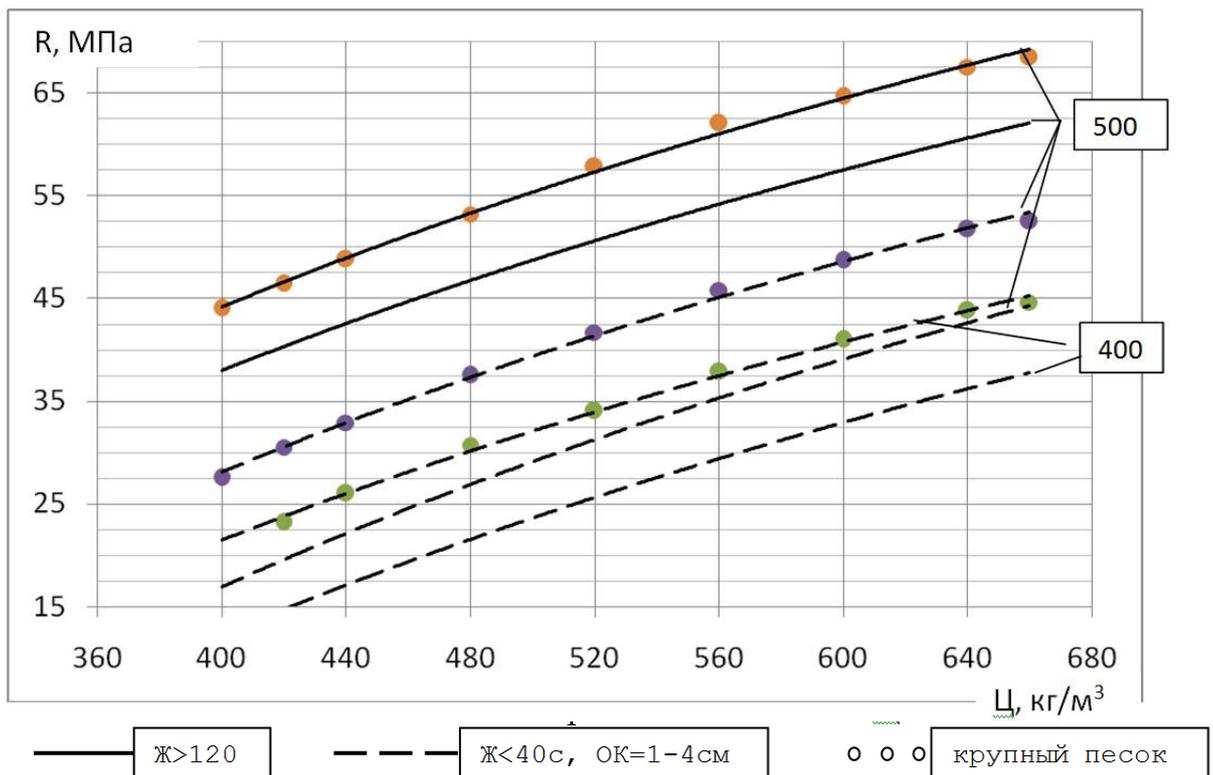


Рис.1. Изменение прочности бетона от Ц/В

Изготавливают бетонную смесь принятого состава и по формуле (3) определяют коэффициент уплотнения K_y , достигнутый в контрольных образцах:

$$K_y = \gamma_{\text{ф}} / \gamma_{\text{т}}, \quad (3)$$

где $\gamma_{\text{ф}}$ – плотность уплотненной бетонной смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $\gamma_{\text{т}} = (\text{Ц} + \text{П} + \text{В}) / 1000$ – плотность бетона, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Использование воздухововлекающей добавки приводит к уменьшению водопотребности на 3-7%.

Поэтому изменяется расход воды

$$V_1 = k_1 \cdot V, \quad (4)$$

где k_1 – коэффициент учитывающий влияние добавок на водопотребность. Например, если снижение водопотребности составляет 5%, то $k_1 = (100 - \Delta V) / 100 = 0,95$.

Затем рассчитываем расход цемента

$$Ц_1 = V_1 : V / Ц. \quad (5)$$

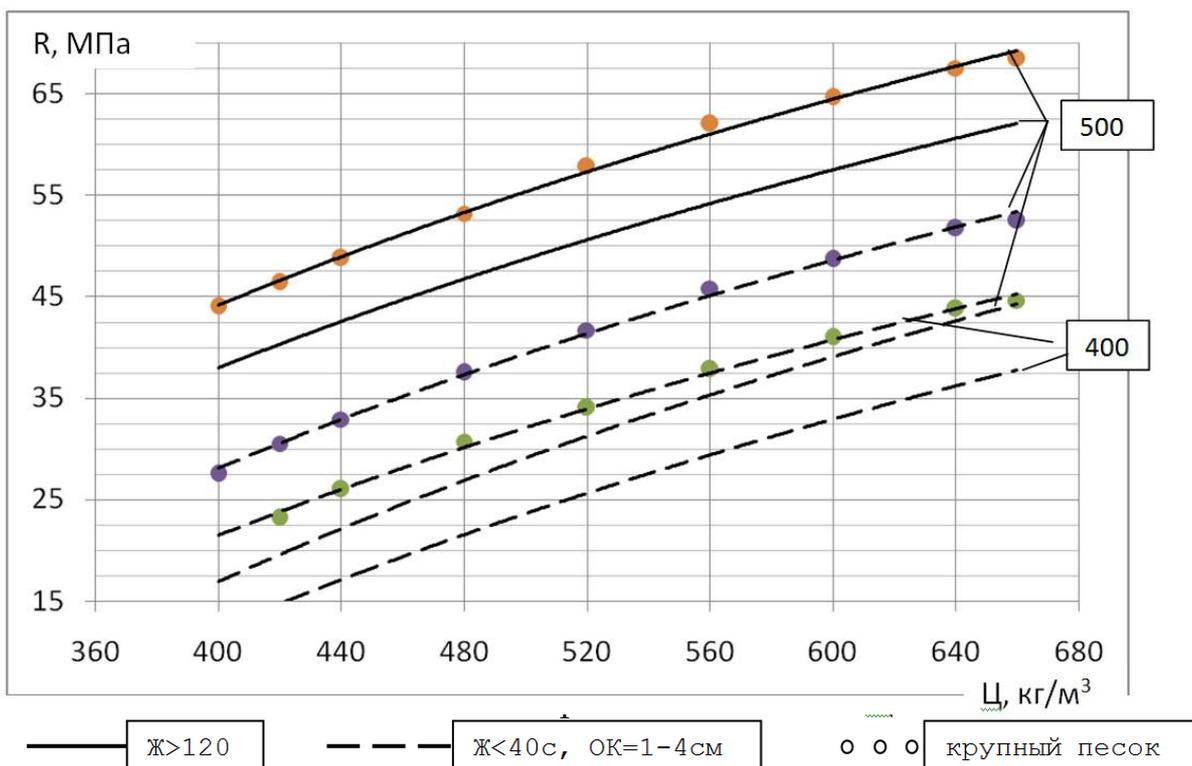


Рис. 2. Определение расхода цемента

Далее рассчитывается дозировка воздухововлекающей добавки.

Например, дозировка добавки СНВ составляет 0,01%, тогда

$$Д = Ц_1 \cdot 0,01 / 100. \quad (6)$$

1.2. Методы определения объема вовлеченного воздуха в бетонной смеси

а) Методика ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний.

Объем вовлеченного воздуха в смеси на плотном заполнителе определяют объемным или компрессионным методом (при помощи объеммера (рис.1) или поромера соответственно), а на пористом заполнителе - только объемным методом.

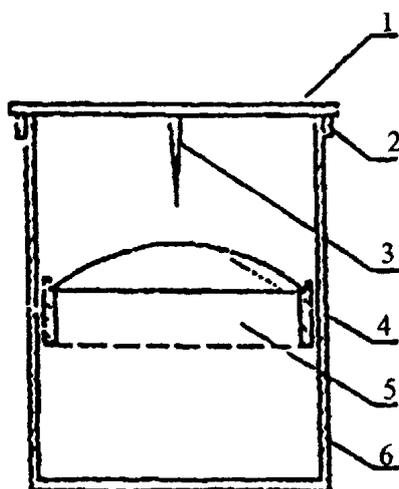


Рис. 1. Объёммер:

1 - металлическая пластина; 2 - ограничители; 3 - стрелка; 4 - петля;
5 - пригружающий пуансон; 6 - цилиндрический сосуд

Вместимость цилиндрического сосуда объёммера (рис.1) устанавливают в зависимости от наибольшей крупности зерен заполнителя (≤ 20 мм – 5000см^3 , ≥ 40 мм - 10000 см^3). Отношение высоты сосуда к его диаметру должно быть от 1 до 2.

Пригружающий пуансон 5 нужно использовать только при испытании бетонной смеси на пористых заполнителях.

Металлическая пластина 1 должна иметь ширину 15 мм, толщину 5 мм, расстояние между ограничителями должно быть равно наружному диаметру сосуда. Стрелка 3 длиной 22 мм должна иметь конусообразную форму с острым концом.

Градуировка объёммера

Градуировка объёммера заключается в установлении объема его сосуда (постоянной объёммера).

На пустой цилиндрический сосуд устанавливают металлическую пластину со стрелкой и наливают воду до тех пор, пока ее поверхность не придет в соприкосновение с острием стрелки, что фиксируют по моменту соприкосновения острия стрелки с его отражением в воде.

Постоянную объёммера V_0 вычисляют по формуле

$$V_0 = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (7)$$

где $m_{\text{в}}$ - масса влитой воды, г, определяемая с погрешностью не более 1 г;
 $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, принимаемая равной $1,0\text{ г/см}^3$.

Проведение испытания

На два определения отобрать пробу бетонной смеси в количестве не менее 3,5 литров.

Отобрать навеску бетонной смеси $m_{\text{см}}$ массой, г, вычисляемой по формуле

$$m_{см} = \rho_{см} V_{см}, \quad (8)$$

где $\rho_{см}$ – плотность бетонной смеси, г/см³;

$V_{см}$ – объём смеси в уплотнённом состоянии, принимаемый равным 0,3 объёма цилиндрического сосуда

Зная объём цилиндрического сосуда и его диаметр, вычислим высоту в сосуде, соответствующую объёму бетонной смеси.

$$h = V / \pi r^2, \quad (9)$$

Внутри цилиндра по его высоте делаем отметку на рассчитанном расстоянии от дна, которая соответствует необходимому объёму бетонной смеси.

Навеску бетонной смеси поместить в сосуд объёмомера и уплотнить по ГОСТ 10180 до отметки.

При подвижности бетонной смеси больше 10 см ее уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом. Число нажимов стержня рассчитывают из условия, чтобы один нажим приходился на 10 см² верхней открытой поверхности образца. Штыкование выполняют равномерно по спирали от краев формы к ее середине.

При подвижности бетонной смеси менее 10 см объёмомер с уложенной бетонной смесью (после штыкования) устанавливают на лабораторную виброплощадку и дополнительно уплотняют, вибрируя до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием её поверхности, появлением на ней тонкого слоя цементного теста и прекращением выделения пузырьков воздуха.

В объёмомер с навеской бетонной смеси налить взвешенное количество воды (с погрешностью не более 1 г) объёмом в 1,5 – 2 раза большим, чем объём испытываемой смеси.

В течение 2-3 мин тщательно перемешать бетонную смесь с водой металлическим стержнем. После перемешивания снять образовавшуюся в сосуде пену в чашу аналитических весов.

Перемешивание и отбор пены повторить не менее двух раз с промежутком времени 2-3 мин.

Взвесить суммарную массу пены (m_n) погрешностью не более 1г.

После последнего снятия пены на сосуд установить металлическую пластину со стрелкой (чтобы ограничители соприкасались со стенками сосуда). Затем постепенно небольшой струей долить в сосуд воду до тех пор, пока ее поверхность не придет в соприкосновение с острием стрелки. Определить массу (объём) долитой в сосуд воды ($m_{доб.воды}$). После этого определить суммарную массу (объём) всей налитой в сосуд воды с погрешностью до 1 г.

Обработка результатов

Пористость бетонной смеси V_b , %, вычисляют с округлением до 0,1 % по формуле

$$V_b = (V_{см} + m_b - V_0 - 0,9 m_n) / V_{см}, \quad (10)$$

где m_b - масса всей влитой воды, г;

m_n - масса отобранной пены, г.

Пористость бетонной смеси вычисляют с округлением до 0,1%, как среднеарифметическое значение результатов двух определений из одной отобранной пробы бетонной смеси, отличающихся между собой не более чем на 20% среднего значения.

б) Измерение объема вовлеченного воздуха в бетонной смеси согласно DIN EN 12350-7: 2000-11.

Измерение основано на принципе компрессионной компенсации давления воздуха. Прибор имеет камеру, в которой создается некоторое, заранее определенное давление. Затем открывается перепускной клапан, и давление между компрессионной камерой и емкостью, в которой находится испытываемая смесь, выравнивается. Содержание воздуха определяется по снижению испытательного давления на основании градуировочных соотношений. Данный прибор дает результат испытания без промежуточных вычислений путем снятия прямого отсчета по шкале манометра в % по объему. Схема прибора представлена на рис.2.

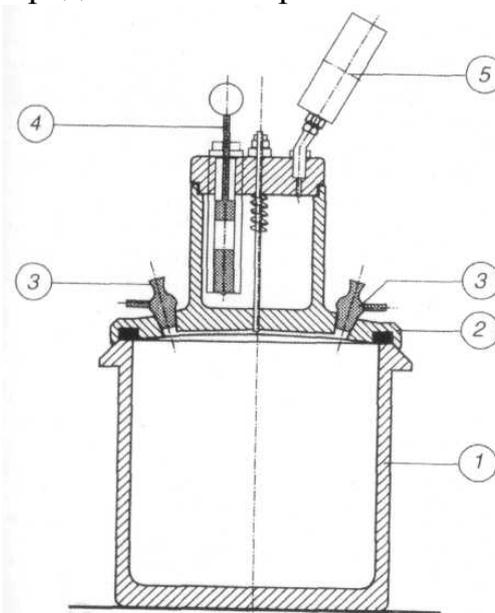


Рис.4. Схематическое представление прибора для определения объема воздухововлечения бетонной смеси:

1 - емкость прибора; 2 - верхняя съемная часть прибора; 3 - вентили; 4 - воздушный насос; 5 - манометр

Проведение испытания

С использованием мастерка емкость прибора (1) заполняется бетонной смесью. Наружная поверхность и края емкости тщательно очищаются от остатков бетона с использованием влажной мочалки или ветоши. Верхняя часть прибора (2) одевается на нижнюю и при помощи зажимных устройств прочно соединяется с нижней. Открываются оба вентиля (3) красного цвета. К одному из этих вентилях подключается пластиковая емкость с водой, и через трубочку (за счет надавливания на эту емкость с водой) осуществляется наполнение прибора водой снизу до тех пор, пока она не будет выходить без пузырьков с другой стороны прибора. Таким образом, внутри прибора пространство между крышкой и поверхностью бетона заполняется водой.

После заполнения водой вентили закрываются, и при помощи ручного насоса в прибор накачивается воздух до тех пор, пока стрелка манометра не будет находиться в зоне красной маркировки. Через несколько секунд за счет подкачивания или спуска воздуха с использованием насоса необходимо добиться нулевого положения стрелки манометра. В зависимости от конструкции прибора нажимается зеленая кнопка «Test» или небольшой рычаг рядом с манометром. Нажатие на эту кнопку прибора обозначает включение уравнительного клапана регулировки давления. Осторожно постукивая рукой по манометру прибора или по боковой стенке прибора необходимо подождать до того момента, когда стрелка манометра прибора остановится и стабилизируется, только после этого снять показания прибора (с точностью 0,1%) и занести их в журнал испытаний. В завершение испытания открываются оба вентиля, затем нажимается кнопка «Test» и снимается верхняя крышка прибора. Прибор очищается от бетонной смеси и промывается.

2. Цель и задачи лабораторной работы

Целью работы является определение состава песчаного бетона.

Задачи: 1. Расчет состава самоуплотняющегося песчаного бетона заданной марки.

2. Изучение свойств песчаного бетона с воздухововлекающими добавками.

3. Порядок выполнения работы

Изготавливается три серии образцов: одна из песчаного бетона полученного состава, в двух других меняем Ц/В, изменяем расход вяжущего при постоянном расходе воды. Величину Ц/В рекомендуется изменять на $\pm 0,25$. По результатам испытаний трех серий образцов строится зависимость прочности бетона от Ц/В и выбирается окончательный состав.

Работа выполняется звеньями. Первое звено изготавливает контрольный замес бетонной смеси объемом 7 л. Приготовление лабораторного замеса, определение характеристик бетонной смеси: средней плотности, удобоукладываемости, объема вовлеченного воздуха. Формование контрольных образцов - кубов с ребром 10 см, их твердение и испытание производятся в соответствии с методиками, изложенными в ГОСТ 10181-2000 и ГОСТ 10180-90. Второе и третье звенья выполняют аналогичную работу, но с тем отличием, что второе звено готовит бетон состава с уменьшенным расходом цемента, а третье - с увеличенным расходом цемента.

Необходимым условием качественного выполнения работы является идентичность условий приготовления бетонной смеси, формование образцов и условий их твердения, которые должны быть обеспечены всеми звеньями. В завершение делается вывод по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Способы повышения изгибной прочности мелкозернистых бетонов и оценка влияния вида дисперсной арматуры на прочность бетона

1. Химические добавки к бетонам

Одной из главных проблем при использовании цементных бетонов является низкая прочность материала на изгиб и растяжение. В рядовых бетонах (с прочностью до 50МПа) отношение прочности на изгиб к прочности на сжатие составляет $1/8$, в высокопрочных бетонах это отношение увеличивается и достигает $1/10-1/12$. Прочность на изгиб цементного камня, как наиболее хрупкого из компонентов бетона, даже ниже чем у бетонов, и это отношение составляет $1/14-1/16$.

Одним из путей решения этой проблемы может послужить дисперсное армирование, которое должно быть распределено структуре бетона и эффективно взаимодействовать с цементным камнем для обеспечения высокой адгезии и прочности материала на растяжение и увеличения его трещиностойкости.

Чаще всего в цементных бетонах применяется стальная фибра длиной 2-4см, диаметром 0,7-1мм при коэффициентах армирования 2,5-4% от массы бетона. Это приводит к увеличению прочности на изгиб на 15-20% и снижению внутренних напряжений. Однако, потенциал дисперсного армирования полностью не реализуется, ввиду малой удельной поверхности стальной фибры, невысокой адгезии к ней цементного камня приводящей к «продергиванию» фибр при его разрушении.

Применение стеклянных волокон сдерживается из-за их низкой коррозионной стойкости в щелочной среде твердеющего бетона. На поверхности волокна образуются раковины и иные дефекты, в течение 2-3 лет полностью выводящие волокна из работы в материале. В связи с этим рекомендуются более дорогие, но стойкие алюмоборосиликатные стекла для изготовления стеклянной фибры.

2. Цели и задачи лабораторной работы

Цель работы – ознакомиться с влиянием различных типов фибры на подвижность бетонных смесей и на напряжение сдвига цементного теста.

3. Средства контроля и вспомогательное оборудование

Для определения свойств бетонной смеси и бетона необходимо:

- вискозиметр Суттарда;
- цилиндрический вискозиметр с размерами $h = 20$ мм и $d = 10$ мм или $h = 50$ мм и $d = 25$ мм;
- фарфоровые чаши для затворения емкостью 250-300 мл;
- металлические или фарфоровые шпатели;
- мерные линейки;
- мерные цилиндры на 100, 50 и 25 мм;
- бюретки для дозирования воды с точностью 0,1 мл;
- пластифицирующие добавки: С-3, ЛСТ и др.;
- портландцемент и его разновидности;
- стальное волокно, стеклянное волокно, полипропиленовое волокно.

4. Методика выполнения работы

Эффективность применения пластифицирующих добавок в сочетании с фибровым армированием в дисперсных системах, бетонных и растворных смесях может оцениваться по следующим показателям:

- водоредуцирующему индексу ВИ, т.е. уменьшению расхода воды в изореологических состояниях систем:

$$ВИ = V_n / V_p,$$

где V_n и V_p – водопотребности соответственно непластифицированной и пластифицированной систем;

- концентрационному индексу КИ, т.е. увеличению объемной концентрации твердой фазы дисперсной системы:

$$КИ = C_p / C_n,$$

где C_p и C_n – объемные концентрации твердой фазы пластифицированной и непластифицированной систем в изореологическом состоянии. Объемная концентрация определяется по формуле:

$$C = \frac{1/\rho}{1/\rho + B/T},$$

где ρ – абсолютная плотность твердой фазы (для цемента $\rho = 3100$ кг/м³);

B/T – водотвердое отношение;

- реологическому индексу (по осадке конуса) РИ_о, т.е. увеличению осадки конуса ОК при одинаковом водосодержании:

$$РИ_0 = ОК_п / ОК_н ,$$

где $ОК_п$ и $ОК_н$ – осадки конуса пластифицированной и непластифицированной бетонных смесей, см;

- реологическому индексу по жесткости смеси $РИ_ж$, т.е. понижению жесткости $Ж$:

$$РИ_ж = Ж_н / Ж_п ,$$

где $Ж_н$ и $Ж_п$ – жесткости непластифицированной и пластифицированной бетонных смесей, с;

- реологическому индексу по пластичности смеси $РИ_p$, т.е. по уменьшению пластической прочности:

$$РИ_p = R_н / R_п ,$$

где $R_н$ и $R_п$ – пластические прочности непластифицированной и пластифицированной смесей;

- реологическому индексу по сопротивлению прессованию $РИ_p$, т.е. снижению давления:

$$РИ_p = P_н / P_п ,$$

где $P_н$ и $P_п$ – удельные давления прессования непластифицированной и пластифицированной композиций, МПа.

Определение пластифицирующего эффекта на бетонной смеси достаточно точно характеризует действие добавок-пластификаторов, но эта методика имеет ряд существенных недостатков: трудоемкость эксперимента, материалоемкость при его выполнении. Эксперименты на различных составах бетона приводят к значительному влиянию свойств мелкого и крупного заполнителей на результаты.

Для исследования новых, в том числе комплексных пластификаторов, определения их оптимальной дозировки, предварительные эксперименты целесообразно проводить не на бетонной смеси, а на цементной суспензии, которая непосредственно является физической матрицей реологических изменений в системе, ответственной за пластифицирующий эффект добавок.

Изменение водопотребности и подвижности для достижения одинаковой плотности суспензии удобно оценивать цилиндрическим вискозиметром (рис. 1) по величине расплыва на границе начала гравитационной растекаемости. Предельное напряжение сдвига по величине расплыва достаточно точно может быть определено по формуле:

$$\tau_0 = \frac{h \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{k \cdot D^2} ,$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига суспензии, Па;

h и d – высота и диаметр вискозиметра, м;

ρ – плотность суспензии, кг/м³;

D – диаметр расплыва суспензии, м;
 k – коэффициент, учитывающий перераспределение напряжений в вязкопластических телах, равный 2.

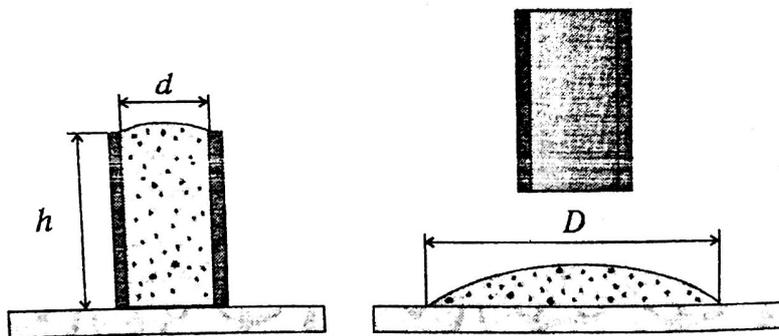


Рис. 1. Цилиндрический вискозиметр

5. Выполнение работы

1. Определить В/Т суспензии (цемент+фибра), необходимое для получения расплыва на границе гравитационной растекаемости, и вычислить предельное напряжение сдвига $\tau_0 = 70-80$ Па.

2. Определить В/Т суспензий с различной дозировкой пластифицирующей добавки при одинаковой с контрольным составом подвижности ($\tau_0 = 70-80$ Па).

3. Рассчитать показатели эффективности пластификаторов:

- водоредуцирующий индекс:

$$ВИ = \frac{B / Ц_n}{B / Ц_n}$$

где $B/Ц_n$ и $B/Ц_n$ – водоцементные отношения непластифицированной и пластифицированной равноподвижных суспензий;

- концентрационный индекс:

$$КИ = C_n / C_n$$

где C_n и C_n – объемные концентрации твердой фазы пластифицированной и непластифицированной систем в изореологическом состоянии;

- концентрационно-водоредуцирующий индекс:

$$КВИ = ВИ \cdot КИ.$$

4. В соответствии с табл. 1 определить категорию пластификатора и возможное снижение расхода цемента.

Таблица 1. Зависимость между группами пластифицирующих добавок и реологическими индексами

№ п/п	Группа пластификатора	Увеличение осадки конуса, см	ВИ	КИ	КВИ
1	I группа (суперпластификаторы)	более 20	>2,5	>1,5	>3,8
2	II группа (сильнопластифицирующие)	14-19	2-2,5	1,4-1,25	2,8-3,8
3	III группа (среднепластифицирующие)	9-13	1,5-2	1,25-1,4	1,85-2,8
4	IV группа (слабопластифицирующие)	менее 9	<1,5	<1,25	<1,85

5. Результаты экспериментов занести в табл. 2.

6. Построить графики зависимости концентрационно-водоредуцирующего индекса от дозировки фибры. Определить концентрацию фибры, превышение которой не приводит к снижению пластифицирующего эффекта.

7. Сделать выводы об оптимальных дозировках дисперсного армирования.

Таблица 2. Показатели эффективности пластифицирующих добавок

Название добавки	Кол-во добавки, %	В/Ц	Диаметр расплыва, мм	τ_0 , Па	В И	К И	КВ И	Категория пластификатора
Стальное волокно	0,1							
	0,2							
	0,3							
Стеклянное волокно	0,1							
	0,2							
	0,3							
Полипропиленовое волокно	0,1							
	0,2							
	0,3							

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Экспериментальная оценка зависимости прочности от воздухововлечения самоуплотняющегося бетона

1. Общие сведения

Пористость, или поровое пространство, бетона на плотных заполнителях, обусловлена в основном пористостью цементного камня и количественно характеризуется такими параметрами, как объем, удельная

поверхность и средний радиус. Формирование пористости происходит непрерывно вследствие протекания процессов гидратации и коррозии, в связи с чем параметры поровой структуры бетона непрерывно изменяются.

Пористость бетона – это любое незаполненное твердой фазой пространство в структуре бетона.

Пористость классифицируется:

- по размеру;
- по отношению к воде;
- по происхождению.

1. В зависимости от размера пор различают:

- макропоры (более 0,1-0,2 мм);
- мезопоры;
- микропоры;
- поры геля (самые мелкие).

2. В зависимости от способности поглощать и удерживать воду при атмосферном давлении поры делятся на:

- капиллярные (не способны удерживать воду в обычных условиях);
- некапиллярные (способны поглощать и удерживать воду).

Капиллярные поры играют – роль в морозостойкости и непроницаемости бетона, т.е. чем меньше капиллярных пор, тем лучше.

В зависимости от доступности для воды при насыщении при атмосферном давлении поры делятся на:

- открытые (т.е. доступные при насыщении водой)
- условно замкнутые (резервные) – недоступные для насыщения.

3. По происхождению различают:

- контракционные (образующиеся в следствие химического взаимодействия цемента с водой);

- рецептурные:

а) поры определяемые соотношением водой и цементом;

б) введением специальных добавок (для увеличения или уменьшения прочности бетона).

Поры геля составляют примерно 28% объема гидратированного цемента (цементного геля). Объем гелевых пор не зависит от В/Ц смеси, эти поры являются неотъемлемой частью цементного геля. Размеры гелевых пор (от 0,5 нм до 30 нм) соизмеримы с размерами молекул воды, в связи с чем

вода в гелевых порах не является обычной жидкостью. В частности, ее плотность составляет до $1,5 \text{ г/см}^3$, а температура замерзания ниже -70°C .

Контракционные поры образуются вследствие объемных изменений в системе «вода- цемент». Объем контракционных пор составляет несколько процентов объема цементного камня, размер пор изменяется в пределах от 30 нм до 50 нм. Контракционные поры оказывают положительное влияние на морозостойкость бетона.

Капиллярные поры формируются в объеме, заполненном химически несвязанной водой. Их объем и средний радиус возрастают с повышением В/Ц бетонной смеси. При $\text{В/Ц} > 0,38$ образование капиллярных пор неизбежно. Размер пор составляет от 30 нм до 50 мкм. При увеличении капиллярной пористости снижается морозостойкость и непроницаемость бетона.

Седиментационные поры, образующиеся в результате процессов внутреннего водоотделения, имеют размеры от 50 до 1000 мкм и резко ухудшают морозостойкость и непроницаемость бетона.

Воздушные поры формируются в бетоне вследствие недостаточного уплотнения («защемленный» воздух) или в результате специальных технологических приемов («вовлеченный» воздух). Объем воздушных пор в конструкционных бетонах редко превышает 5%. «Защемленный» воздух, вследствие хаотичности распределения пор в объеме и нерегулярности размеров (от 25 до 500 мкм и более), как правило, приводит к снижению прочности бетона на 3-5% на каждый процент «защемленного» воздуха. «Вовлеченный» воздух создает в структуре бетона систему равномерно распределенных почти сферических пор размером от 50 до 300 мкм, что резко повышает морозостойкость бетона.

Увеличение доли открытых пор снижает долговечность бетона и, наоборот, уменьшение доли открытых пор и увеличение доли условно – замкнутых пор способствуют повышению долговечности. Открытые и условно – замкнутые поры образуют полную пористость бетона, с увеличением которой при прочих равных условиях снижается его прочность.

2. Цель лабораторной работы

Измерение основано на принципе компрессионной компенсации давления воздуха. Прибор имеет камеру, в которой создается некоторое, заранее определенное давление. Затем открывается перепускной клапан, и давление между компрессионной камерой и емкостью, в которой находится испытываемая смесь, выравнивается. Содержание воздуха определяется по снижению испытательного давления на основании градуировочных соотношений. Данный прибор дает результат испытания без промежуточных

вычислений путем снятия прямого отсчета по шкале манометра в % по объему. Схема прибора представлена на рис.2.

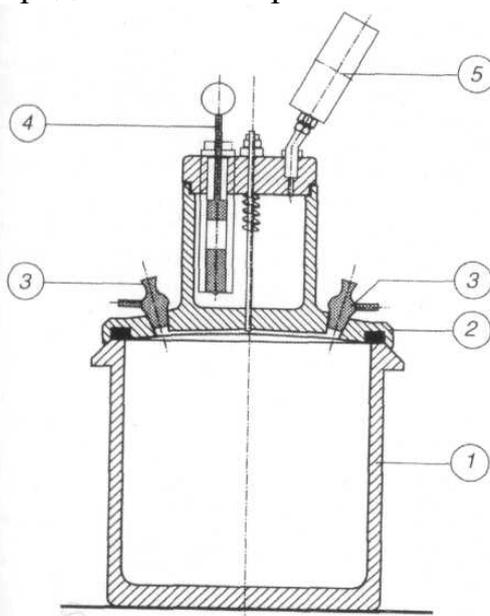


Рис.4. Схематическое представление прибора для определения объема воздухововлечения бетонной смеси:

1 - емкость прибора; 2 - верхняя съемная часть прибора; 3 - вентили; 4 - манометр; 5 - воздушный насос

Проведение испытания

С использованием мастерка емкость прибора (1) заполняется бетонной смесью. Наружная поверхность и края емкости тщательно очищаются от остатков бетона с использованием влажной мочалки или ветоши. Верхняя часть прибора (2) одевается на нижнюю и при помощи зажимных устройств прочно соединяется с нижней. Открываются оба вентиля (3) красного цвета. К одному из этих вентилях подключается пластиковая емкость с водой, и через трубочку (за счет надавливания на эту емкость с водой) осуществляется наполнение прибора водой снизу до тех пор, пока она не будет выходить без пузырьков с другой стороны прибора. Таким образом, внутри прибора пространство между крышкой и поверхностью бетона заполняется водой. После заполнения водой вентили закрываются, и при помощи ручного насоса в прибор накачивается воздух до тех пор, пока стрелка манометра не будет находиться в зоне красной маркировки. Через несколько секунд за счет подкачивания или спуска воздуха с использованием насоса необходимо добиться нулевого положения стрелки манометра. В зависимости от конструкции прибора нажимается зеленая кнопка «Test» или небольшой рычаг рядом с манометром. Нажатие на эту кнопку прибора обозначает включение уравнительного клапана регулировки давления. Осторожно постукивая рукой по манометру прибора или по боковой стенке прибора необходимо подождать до того момента, когда стрелка манометра прибора остановится и стабилизируется, только после этого снять показания прибора (с точностью 0,1%) и занести их в журнал испытаний. В завершение испытания открываются оба вентиля, затем нажимается кнопка «Test» и

снимается верхняя крышка прибора. Прибор очищается от бетонной смеси и промывается.

2. Цель и задачи лабораторной работы

Целью работы является определение влияния пористости на свойства состава песчаного бетона.

Задачи: Изучение влияния воздуховолекающих добавок на свойства песчаного бетона.

3. Порядок выполнения работы

Изготавливается три серии образцов: одна из песчаного бетона полученного состава, в двух других меняем Ц/В, изменяем расход вяжущего при постоянном расходе воды. Величину Ц/В рекомендуется изменять на $\pm 0,25$. По результатам испытаний трех серий образцов строится зависимость прочности бетона от Ц/В и выбирается окончательный состав.

Работа выполняется звеньями. Первое звено изготавливает контрольный замес бетонной смеси объемом 7 л. Приготовление лабораторного замеса, определение характеристик бетонной смеси: средней плотности, удобоукладываемости, объема вовлеченного воздуха. Формование контрольных образцов - кубов с ребром 10 см, их твердение и испытание производятся в соответствии с методиками, изложенными в ГОСТ 10181-2000 и ГОСТ 10180-90. Второе и третье звенья выполняют аналогичную работу, но с тем отличием, что второе звено готовит бетон состава с уменьшенным расходом цемента, а третье - с увеличенным расходом цемента.

Необходимым условием качественного выполнения работы является идентичность условий приготовления бетонной смеси, формование образцов и условий их твердения, которые должны быть обеспечены всеми звеньями. В завершение делается вывод по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Влияние способа введения фибры на свойства бетонов

1. Уплотнение бетонных смесей

Введение фибры в цементные бетоны – наиболее важный, с точки зрения достижения заданных технологических и эксплуатационных свойств, фактор. Существует несколько способов введения волокна в бетонную смесь:

1. Введение фибры в готовую бетонную смесь в конце перемешивая;
2. Порционное введение фибры совместно с заполнителями в процессе приготовления бетонной смеси;

3. Предварительное механическое смешение фибры с мелким заполнителем или цементом.

При этом каждый способ ведения оказывает значительное влияние на дальнейшее уплотнение и укладку смеси при формовании.

Уплотнение бетонной смеси - наиболее ответственный этап технологического процесса изготовления железобетонных изделий и конструкций и в зависимости от конкретных условий формования применяют различные способы: вибрирование, центрифугирование, штампование, вакуумирование и др.

Виброуплотнение основано на эффекте тиксотропного разжижения бетонной смеси. В процессе вибрирования происходит разрушение структуры бетонной смеси, уменьшается трение между частицами - в результате чего увеличивается ее подвижность.

При постоянном водоцементном отношении прочность бетона существенным образом зависит от степени уплотнения бетонной смеси. При недостаточной степени уплотнения бетонной смеси нарушается линейная зависимость между прочностью бетона и цементно-водным отношением, то есть, иными словами, при этом с увеличением цементно-водного отношения (расхода цемента) замедляется рост прочности бетона. Параметром, характеризующим степень уплотнения бетонной смеси, служит коэффициент уплотнения, равный отношению фактической плотности уплотненной бетонной смеси к теоретической.

$$K_{\text{упл}} = \rho_{\text{факт}} / \rho_{\text{теор}}$$

$$\rho_{\text{теор}} = (\text{Ц} + \text{П} + \text{КЗ} + \text{В}) / (\text{Ц}/\rho_{\text{ц}} + \text{П}/\rho_{\text{п}} + \text{КЗ}/\rho_{\text{кз}} + \text{В}),$$

где:

Ц, П, КЗ, В - соответственно расходы цемента, песка, крупного заполнителя и воды;

$\rho_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{кз}}$ - соответственно плотности цемента, песка, крупного заполнителя и воды.

Если значение коэффициента уплотнения ($K_{\text{упл}}$) не ниже 0.99, то бетонная смесь считается уплотненной полностью. При значении $K_{\text{упл}} = 0.95$ прочность бетона составляет примерно 75% от прочности уплотненного бетона, а при $K_{\text{упл}} = 0.90$ всего 50%.

2. Цели и задачи лабораторной работы

Цель работы – ознакомиться с влиянием способа введения фибры в бетонную смесь на продолжительность вибрирования жесткой бетонной

смеси при изготовлении контрольных образцов на виброплощадке, в том числе, при формовании с пригрузом на степень уплотнения и на прочность при сжатии пропаренного бетона.

3. Средства контроля и вспомогательное оборудование

Для определения свойств бетонной смеси и бетона необходимо:

- конус нормальный по ГОСТ 10181-2000;
- линейку стальную по ГОСТ 427;
- кельму типа КБ по ГОСТ 9533;
- гладкий лист размерами не менее 700x700 мм из водонепроницаемого материала (металл, пластмасса и т.п.).
- прямой металлический гладкий стержень диаметром 16 мм, длиной 600 мм с округленными концами.
- формы для изготовления контрольных образцов бетона по ГОСТ 22685;
- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- виброплощадку лабораторную;
- сосуды металлические цилиндрические

4. Выполнение работы

Работа выполняется тремя бригадами. Каждая бригада выполняет одно из нижеуказанных заданий. Характеристики исходных материалов, состав и подвижность смеси задаются преподавателем. Амплитуда и частота колебаний лабораторной виброплощадки во всех случаях остаются постоянными.

Задание №1. Смесь на плотных заполнителях, в процессе приготовления которой добавляется фибра в количестве 0,2% совместно с заполнителями. Подвижность смеси П3, П4, П5.

Задание №2. Смесь на плотных заполнителях, в конце приготовления которой добавляется фибра в количестве 0,2%.

Подвижность смеси П3, П4, П5.

Задание №3. Смесь на плотных заполнителях, предварительно смешанных с фиброй в количестве 0,2%. Подвижность смеси П3, П4, П5.

Порядок выполнения работы

1. Приготовить по 12л смеси на плотных заполнителях.
2. Определить подвижность и плотность смесей по ГОСТ 10181-81.
3. Изготовить по 3 образца 10x10x10 см на каждое условие уплотнения согласно заданию.
4. Определить плотность приготовленной разными способами смеси по ГОСТ 10181.2-81.
5. Образцы пропарить по одинаковому режиму и испытать сразу после пропаривания. Испытание образцов по ГОСТ 10180-90.

6. Определить коэффициент уплотнения изготовленных образцов.
7. Сделать заключение по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Влияние химических добавок на воздухововлечение самоуплотняющегося бетона

Введение

Бетоны и растворы имеют в своем составе несколько различных фаз: мелкий и крупный заполнители, цементное тесто (камень) и воздушные включения, появившиеся в результате испарения из бетона части воды затворения. Цементный камень также неоднороден по структуре и состоит из десятка различных по формуле и размерам гидратных новообразований, как кристаллической, так и стеклообразной структуры. Таким образом, бетон по своей структуре является неоднородным материалом, поэтому отдельные зоны железобетонных конструкций имеют разные характеристики по прочности, плотности и ряду других свойств. Степень однородности бетона в конструкции в большей мере определяет их долговечность. Разрушение материала происходит в самом слабом месте. Если бетон имеет среднюю прочность R , то отдельные его участки отличаются по прочности в пределах от $(R + \Delta R)$ до $(R - \Delta R)$. При этом, чем меньше ΔR , тем выше степень однородности материала. В этих условиях все изделия при нагрузке разрушатся в самой слабой части $(R - \Delta R)$. Таким образом, неоднородный материал менее долговечен.

Однородность бетонов зависит от количественного и качественного состава бетонной смеси, в первую, очередь, от количества и соотношения цемента и воды. Большое влияние на однородность бетона оказывают форма и размер заполнителя, величина их удельной поверхности, а также технология перемешивания, транспортирования и укладки смеси.

Ухудшают однородность бетонных и растворных смесей такие факторы, как недостаточное перемешивание (например, из-за малой подвижности бетонных смесей) или сверхнормативное перемешивание, приводящее в ряде случаев к расслоению, а также к снижению производительности оборудования, расслоение при транспортировке. Частично преодолеть влияние этих воздействий можно, применяя, например, при транспортировании смесей специальные бетоновозы, обеспечивающие постоянное перемешивание, или используя интенсивное вибрирование при укладке и т.п. Одним из эффективных способов повышения однородности бетонных смесей и бетонов является введение в их состав добавок ПАВ, оказывающих пластифицирующее действие. Пластификаторы повышают подвижность смесей, увеличивают их жизнеспособность и удобоукладываемость. Влияние добавки С-3 на однородность бетонной смеси приведено на рис. 1.

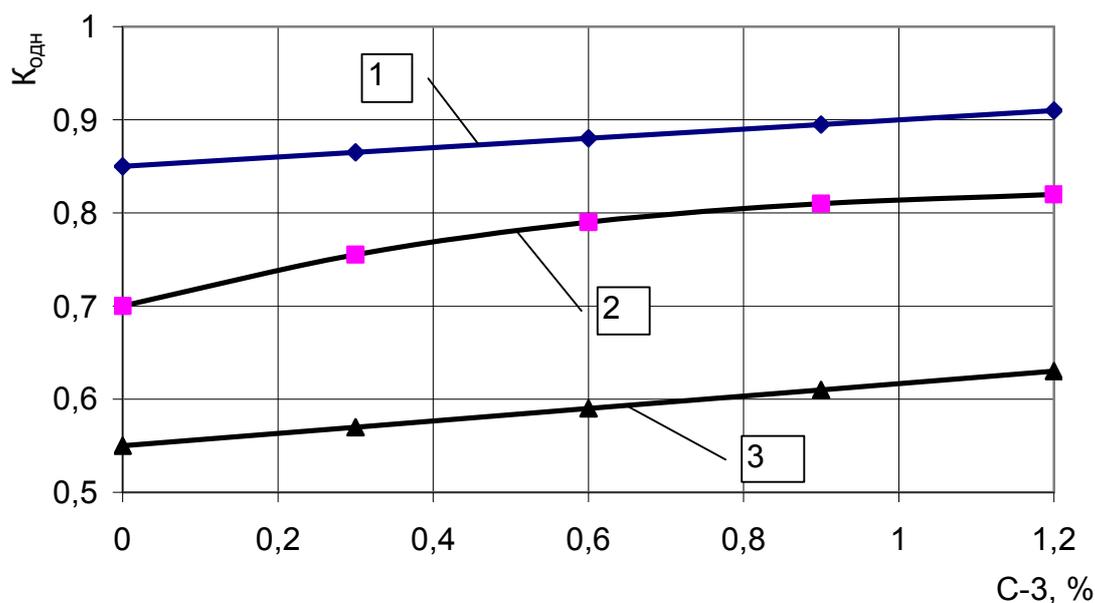


Рис.1. Зависимость коэффициента однородности бетонных смесей от дозировки суперпластификатора С- 3:

1-подвижность смеси 4-6см; 2-то же 16-18 см; 3- то же 20-22 см

Как видно из рис.1, введение добавки С-3 уменьшает расслаиваемость бетонных смесей, при этом коэффициент однородности смеси увеличивается.

Пластифицирующие добавки (ЛСТ) и пластифицирующе-воздухововлекающие (ПАЩ), повышающие подвижность легкобетонных смесей слитной структуры с расходом цемента не менее 320 кг/м^3 , также уменьшают расслаиваемость. Хороший эффект достигается и при использовании комплексных добавок на основе пластифицирующего (ЛСТ) и воздухововлекающего действия (СНВ, СПД). При этом с повышением подвижности легкобетонной смеси одновременно обеспечивается сохранение ее однородности под действием вибрационных и динамических нагрузок в процессе транспортирования.

1. Методика определения однородности бетонной смеси

Для контроля однородности бетонных смесей определяют прочность и плотность бетона, изготовленного из смесей, взятых на испытания из различных зон бетоносмесителя, или через различные промежутки времени. Различия прочности этих образцов служат характеристикой однородности, контролируемой партии бетонной смеси или бетона. Для испытания однородности бетона используют также ультразвуковые приборы. Однородность бетона может быть определена путем измерения коэффициентов анизотропии, представляющей собой отношение пределов прочности при сжатии бетона параллельно и перпендикулярно слоям укладки смеси.

Чаще всего однородность бетонной смеси определяют по величине расслаиваемости, которая измеряется в соответствии с ГОСТ 10181-2000 показателями водоотделения и раствооотделения.

1.1. Определение раствооотделения бетонной смеси

Раствороотделение бетонной смеси с крупным заполнителем, характеризующее ее расслаиваемость при динамическом воздействии, определяют путем сопоставления содержания растворной составляющей в нижней и верхней частях бетонной смеси, уплотненной в мерном сосуде или форме для изготовления контрольных образцов бетона.

Бетонную смесь выкладывают в форму (сосуд) 15x15x15 см и уплотняют в соответствии с ГОСТ 10180-2000 в зависимости от удобоукладываемости смеси. После этого уплотненную бетонную смесь дополнительно вибрируют на лабораторной виброплощадке в течение времени:

жесткую смесь — марок Ж1-Ж4 - 120 с,

СЖ1-СЖ3 - 180 с;

подвижную смесь: марок П1 и П2 - 25 с,

марок П3 - П5 - 10 с.

После дополнительного вибрирования верхний слой бетонной смеси высотой около половины высоты формы (сосуда) отбирают на предварительно взвешенный противень, а смесь, оставшуюся в нижней части формы, вибрируют до выравнивания поверхности смеси. Затем измеряют с погрешностью до 5 мм высоту слоя смеси H_n , оставшейся в нижней части формы, и вычисляют высоту отобранного слоя смеси H_v . После этого оставшуюся в форме смесь выкладывают на второй взвешенный противень.

Разделенную, таким образом, на две навески смесь из верхней и нижней частей формы взвешивают с погрешностью до 10 г и подвергают мокрому рассеву на сите с отверстиями диаметром 5 мм. При мокром рассеве каждую навеску смеси, выложенную на сито, промывают струей чистой воды до полного удаления цементно-песчаного раствора с поверхности зерен крупного заполнителя. Промывку смеси считают законченной, когда из сита вытекает чистая вода.

Отмытый крупный заполнитель из каждой навески смеси переносят на чистый противень и высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ и взвешивают с погрешностью не более 10 г.

$$m_{рв} = (m_{смв} - m_{щв}) \cdot \frac{0,5H}{H_v}, \quad (1)$$

$$m_{рн} = (m_{смн} - m_{щн}) \cdot \frac{0,5H}{H_n}, \quad (2)$$

где $m_{рв}$, $m_{рн}$ — масса растворной составляющей смеси, находившейся в верхней и нижней частях формы, г;

$m_{смв}$, $m_{смн}$ — масса бетонной смеси, отобранной из верхней и нижней частей формы, г;

$m_{щв}$, $m_{щн}$ — масса высушенного крупного заполнителя, содержащегося в навесках из верхней и нижней частей формы, г;

H — высота формы или сосуда, мм;

$H_{\text{в}}, H_{\text{н}}$ — фактическая высота верхнего и нижнего слоев смеси, мм.

Показатель раствооротделения бетонной смеси Π_p , %, определяют по формуле

$$\Pi_p = \frac{m_{pv} - m_{pn}}{m_{pv} + m_{pn}} \cdot 100 \quad (3)$$

Показатель раствооротделения для каждой пробы бетонной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 1 %, как среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

1.2. Определение водоотделения бетонной смеси

Водоотделение бетонной смеси определяют после ее отстаивания в мерном сосуде или форме в течение определенного промежутка времени.

Бетонную смесь укладывают в сосуд (форму), вместимость и размер которого зависит от наибольшей крупности зерен фракции заполнителя (для крупности 20 мм принимают сосуд объемом 1л) и уплотняют на виброплощадке в зависимости от удобоукладываемости смеси. Уровень бетонной смеси должен быть на (10 ± 5) мм ниже верхнего края сосуда (формы).

Сосуд (форму) накрывают листом паронепроницаемого материала (стекло, стальная пластина и т.п.) и оставляют в покое на 1,5 ч.

Отбирают пипеткой каждые 15 мин отделившуюся воду, собирая ее в стакан с крышкой и взвешивая по окончании испытания.

Водоотделение бетонной смеси (Π_v), %, характеризуют объемом воды, выделившейся из бетонной смеси за 1,5 ч, отнесенным к объему бетонной смеси в сосуде (форме) и вычисленное по формуле

$$\Pi_v = \frac{m_v}{\rho_v \cdot V_{bc}} \cdot 100 \quad (4)$$

где m_v — масса отделившейся воды, г;

ρ_v — плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3 ;

V_{bc} — объем уплотненной бетонной смеси, см^3 .

Водоотделение определяют дважды для каждой пробы бетонной смеси и вычисляют с округлением до 1 %, как среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

2. Цель и задачи лабораторной работа

Цель данной работы заключается в определении степени однородности бетонной смеси различными методами.

Задачи:

1. Изучение методов определения однородности бетонной смеси и бетона.
2. Определение влияния различных пластификаторов на однородность бетонной смеси.

3. Выполнение работы

Работа выполняется звеньями по 2-3 человека. Первое звено изготавливает бетонную смесь подвижностью ПЗ без добавок и проводит испытания по п.1.1 - п.1.2 настоящей работы

Второе звено изготавливает смесь аналогично 1-му составу подвижностью ПЗ, но с добавкой пластификатора Лигнопан Б-1 в количестве 0,25% от массы цемента и выполняет те же испытания, что и первое звено.

Третье звено изготавливает смесь аналогично 1-му составу подвижностью ПЗ, но с добавкой суперпластификатора С-3 в количестве 0,7% от массы цемента и выполняет те же испытания, что и первое звено.

Для проведения испытания однородности бетонной смеси необходимо приготовить лабораторный замес объемом 7 л, определить подвижность и при необходимости скорректировать ее до показателя ПЗ, затем определить плотность смеси в уплотненном состоянии, отформовать 6 контрольных образца-куба размером 10x10x10 см, из которых 3 необходимо испытать после пропаривания на сжатие перпендикулярно слоям укладки смеси, а три других контрольных образца испытывать параллельно слоям укладки смеси. После проведения этих испытаний делают вывод о степени анизотропии бетона.

По окончании всех испытаний делается вывод о влиянии добавок Лигнопан Б-1 и С-3 на анизотропию (однородность) бетона и однородность бетонной смеси.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

Сравнение прочности дисперсно-армированного бетона с обычным крупнозернистым бетоном

1. Общие положения

Увеличение предела прочности на растяжение при изгибе объясняется пластической растяжимостью бетона перед его разрывом. Отношение между деформациями в момент излома балочки и в момент достижения бетоном напряжения $R_{p,H}$ может служить мерой увеличения растяжимости бетона за счет его пластических свойств. При очень быстром проведении опыта пластическая растяжимость может проявиться не в полную меру. Чем медленнее воздействует нагрузка на балку, тем более благоприятны условия для развития пластических деформаций и тем меньше окажется изгибающий момент. Поэтому, чтобы получились сравнимые результаты, скорость испытания образцов должна быть одинаковой.

Согласно ГОСТу нагрузка на образец при испытании должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью $0,5 \pm 0,2$ кГ/см² в секунду вплоть до разрушения образца. Скорость загрузки бетона является решающей для его пластической растяжимости. В связи с этим отношение между полной деформацией, соответствующей моменту разрушения балки, и деформацией, при которой возможно появление трещины (кривая а — в), колеблется в пределах от 1,5 до 3.

Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях.

2. Цели лабораторной работы

Цель работы – оценить прочности дисперсно-армированного бетона на растяжение при изгибе и раскалывании .

3. Средства контроля и вспомогательное оборудование

- Прессы для испытаний на сжатие по ГОСТ 8905
- Устройства и приспособления для испытаний на растяжение при изгибе
- Шарнирно- подвижные опоры
- Устройства и приспособления для испытаний на растяжение при раскалывании
- Линейки стальные по ГОСТ 427
- Штангенциркули ШД-П 2-го класса по ГОСТ 166

— Оборудование для изготовления образцов Формы с крышками и насадками по ГОСТ 22685

3. Подготовка образцов

Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от метода определения прочности бетона. Допускается применять следующие образцы:

- кубы (далее - образцы-кубы) с ребром длиной 70 мм;
- призмы (далее - образцы-призмы) размером 70x70x280 мм;
- цилиндры (далее - образцы-цилиндры) диаметром 70 мм;
- половинки образцов-призм, полученных после испытания на растяжение при изгибе образцов-призм, для определения прочности бетона на сжатие;
- образцы-кубы, изготовленные в неразъемных формах с технологическим уклоном.

За базовый образец при всех видах испытаний следует принимать образец-куб или образец-призму с размером рабочего сечения 150x150 мм. Образцы должны быть выдержаны до испытания при указанных условиях в распалубленном виде в течение 24 ч, если они твердели в воде, и в течение 4 ч, если они твердели в воздушно-влажностных условиях или в условиях тепловой обработки.

Опорные грани образцов-кубов и образцов-призм, предназначенных для испытания на растяжение при раскалывании, должны быть выбраны так, чтобы оси колющих прокладок, передающих усилие, были перпендикулярны слоям укладки бетонной смеси. Плоскость изгиба образцов-призм при испытании на растяжение при изгибе должна быть параллельна слоям укладки.

Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1%. Результаты измерений линейных размеров образцов записывают в журнал испытаний.

Если при определении прочности бетона на растяжение при раскалывании не применяют кондукторы, приведенные на рисунках 2 и 3 приложения И, то на боковые грани образцов-кубов, образцов-призм и торцевые поверхности образцов-цилиндров, предназначенных для этих испытаний, наносят осевые линии, с помощью которых образец центрируют при испытании.

Образцы, предназначенные для испытания на осевое растяжение, закрепляют в захватах.

4. Проведение испытаний

Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20% до 80% максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой. Нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку. Разрушенный образец подвергают визуальному осмотру. В журнале испытаний отмечают:

- наличие крупных (объемом более 1 см³) раковин и каверн внутри образца;
- наличие зерен заполнителя размером более 1,5, комков глины, следов расслоения.

Результаты испытаний образцов, имеющих перечисленные дефекты структуры и характер разрушения, не учитывают.

5. Испытание на растяжение при изгибе

Образец-призму устанавливают в испытательную машину по схеме на рисунке 3 и нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки $(0,05 \pm 0,01)$ МПа/с.

Если образец разрушился не в средней трети пролета или плоскость разрушения образца наклонена к вертикальной плоскости более чем на 15° , то при определении средней прочности бетона серии образцов этот результат испытания не учитывают.

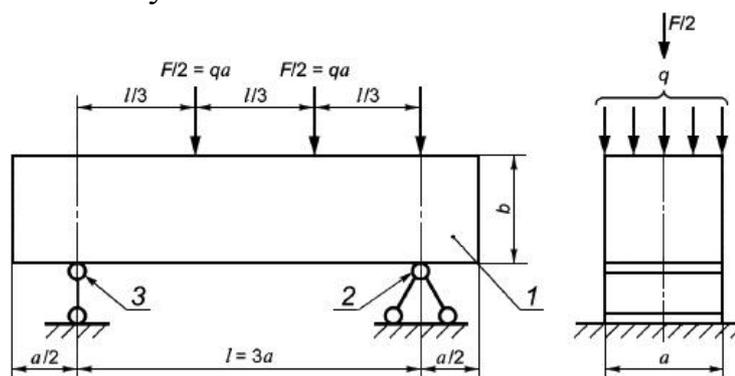
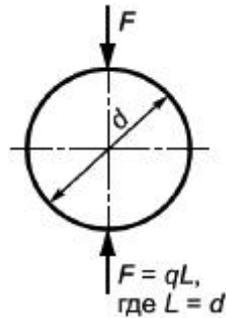


Рис. 3. Схема испытания на растяжение при изгибе

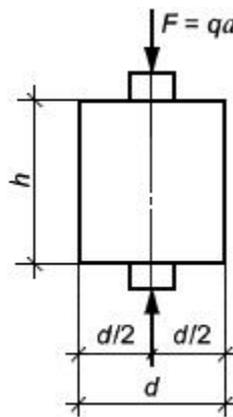
b - ширина и высота образца; F - нагрузка; q - распределенная нагрузка; 1 - пролет; l - образец; 2 - шарнирно-неподвижная опора; 3 - шарнирно-подвижная опора

6. Испытания на растяжение при раскалывании

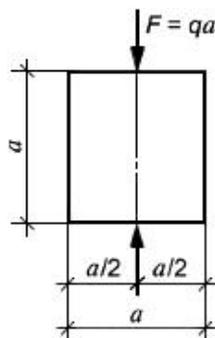
Образец устанавливают на плиту испытательной машины по схеме на рисунке 4.



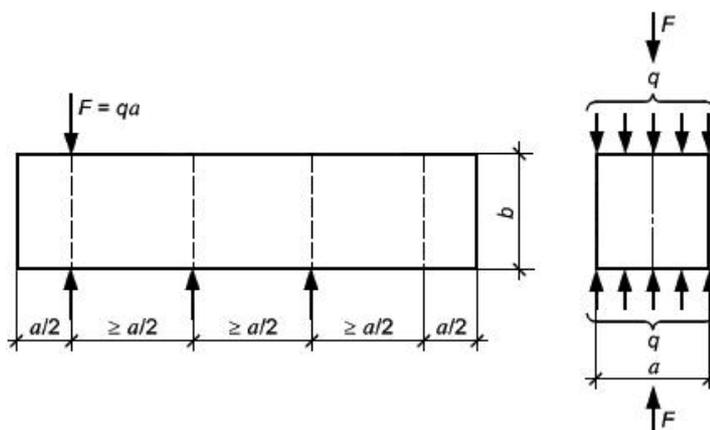
а) Образцы-цилиндры из бетона всех видов (кроме ячеистого бетона)



б) Образцы-цилиндры из ячеистого бетона



в) Образцы-кубы из бетона всех видов



г) Образцы-призмы из тяжелого бетона

Рис. 4. Схемы испытания на растяжение при раскалывании

С помощью держателя или временных опор проверяют, чтобы образец был отцентрирован при первоначальном приложении нагрузки. Нагружение проводят при постоянной скорости нарастания нагрузки $(0,05 \pm 0,01)$ МПа/с.

Для равномерной передачи усилия на образец между стальной колющей прокладкой и поверхностью образца-куба или между опорными плитами испытательной машины и поверхностью образца-цилиндра устанавливают прокладку из фанеры (используют не более двух раз) или картона (используют не более одного раза) длиной не менее длины образца, шириной (15 ± 1) мм и толщиной (4 ± 1) мм. Результаты испытания не учитывают, если плоскость разрушения образца наклонена к вертикальной плоскости более чем на 15° (см. рисунок 4).

7. Результаты определения предела прочности бетона на растяжение при изгибе и раскалывании

№ П/П	Размеры образца, мм	Разрушающая сила, Н	Предел прочности при изгибе, Мпа	Папровочный коэффициент	Предел прочности при раскалывании, Мпа	Среднее Значение, Мпа

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8

Оценка пористости самоуплотняющегося бетона и ее роль в формировании прочности

1. Общие сведения

Пористость, или поровое пространство, бетона на плотных заполнителях, обусловлена в основном пористостью цементного камня и количественно характеризуется такими параметрами, как объем, удельная поверхность и средний радиус. Формирование пористости происходит непрерывно вследствие протекания процессов гидратации и коррозии, в связи с чем параметры поровой структуры бетона непрерывно изменяются.

Пористость бетона – это любое незаполненное твердой фазой пространство в структуре бетона.

Пористость классифицируется:

- по размеру;
- по отношению к воде;
- по происхождению.

1. В зависимости от размера пор различают:

- макропоры (более 0,1-0,2 мм);
- мезопоры;
- микропоры;
- поры геля (самые мелкие).

2. В зависимости от способности поглощать и удерживать воду при атмосферном давлении поры делятся на:

- капиллярные (не способны удерживать воду в обычных условиях);
- некапиллярные (способны поглощать и удерживать воду).

Капиллярные поры играют – роль в морозостойкости и непроницаемости бетона, т.е. чем меньше капиллярных пор, тем лучше.

В зависимости от доступности для воды при насыщении при атмосферном давлении поры делятся на:

- открытые (т.е. доступные при насыщении водой)
- условно замкнутые (резервные) – недоступные для насыщения.

3. По происхождению различают:

- контракционные (образующиеся в следствие химического взаимодействия цемента с водой);
- рецептурные:

- а) поры определяемые соотношением водой и цементом;
- б) введением специальных добавок (для увеличения или уменьшения прочности бетона).

Поры геля составляют примерно 28% объема гидратированного цемента (цементного геля). Объем гелевых пор не зависит от В/Ц смеси, эти поры являются неотъемлемой частью цементного геля. Размеры гелевых пор (от 0,5 нм до 30 нм) соизмеримы с размерами молекул воды, в связи с чем вода в гелевых порах не является обычной жидкостью. В частности, ее плотность составляет до 1,5 г/см³, а температура замерзания ниже -70°С.

Контракционные поры образуются вследствие объемных изменений в системе «вода- цемент». Объем контракционных пор составляет несколько процентов объема цементного камня, размер пор изменяется в пределах от 30 нм до 50 нм. Контракционные поры оказывают положительное влияние на морозостойкость бетона.

Капиллярные поры формируются в объеме, заполненном химически несвязанной водой. Их объем и средний радиус возрастают с повышением В/Ц бетонной смеси. При В/Ц > 0,38 образование капиллярных пор неизбежно. Размер пор составляет от 30 нм до 50 мкм. При увеличении капиллярной пористости снижается морозостойкость и непроницаемость бетона.

Седиментационные поры, образующиеся в результате процессов внутреннего водоотделения, имеют размеры от 50 до 1000 мкм и резко ухудшают морозостойкость и непроницаемость бетона.

Воздушные поры формируются в бетоне вследствие недостаточного уплотнения («защемленный» воздух) или в результате специальных технологических приемов («вовлеченный» воздух). Объем воздушных пор в конструкционных бетонах редко превышает 5%. «Защемленный» воздух, вследствие хаотичности распределения пор в объеме и нерегулярности размеров (от 25 до 500 мкм и более), как правило, приводит к снижению прочности бетона на 3-5% на каждый процент «защемленного» воздуха. «Вовлеченный» воздух создает в структуре бетона систему равномерно распределенных почти сферических пор размером от 50 до 300 мкм, что резко повышает морозостойкость бетона.

Увеличение доли открытых пор снижает долговечность бетона и, наоборот, уменьшение доли открытых пор и увеличение доли условно – замкнутых пор способствуют повышению долговечности. Открытые и условно – замкнутые поры образуют полную пористость бетона, с увеличением которой при прочих равных условиях снижается его прочность.

2. Цель лабораторной работы

Цель работы - оценить пористость бетона по кинетике водопоглощения образцов различных составов.

3. Приборы и материалы

- формы для изготовления образцов бетона по ГОСТ 22685;
- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- виброплощадка лабораторная;
- линейка металлическая;
- емкость с водой.

4. Порядок выполнения работы

Работа выполняется согласно ГОСТ 12730.4-78 "Бетоны. Методы определения показателей пористости" (приложение), ГОСТ 12730.3-78 "Метод определения водопоглощения".

Составы бетона для испытаний задаются преподавателем.

Поверхность образцов очищают от пыли, грязи и следов смазки с помощью проволочной щетки или абразивного камня.

Испытание образцов проводят в состоянии естественной влажности или высушенных до постоянной массы.

Образцы помещают в емкость, наполненную водой с таким расчетом, чтобы уровень воды в емкости был выше верхнего уровня уложенных образцов примерно на 50 мм.

Образцы укладывают на прокладки так, чтобы высота образца была минимальной (призмы и цилиндры укладывают на бок).

Температура воды в емкости должна быть $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Образцы взвешивают через 15, 60 минут и затем каждые 24 ч водопоглощения на обычных или гидростатических весах с погрешностью не более 0,1 %.

При взвешивании на обычных весах образцы, вынутые из воды, предварительно вытирают отжатой влажной тканью. Массу воды, вытекшую из пор образца на чашку весов, следует включать в массу насыщенного образца.

Испытание проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут отличаться не более чем на 0,1 %.

Образцы, испытываемые в состоянии естественной влажности, после окончания процесса водонасыщения высушивают до постоянной массы.

Водопоглощение бетона отдельного образца по массе W_m в процентах определяют с погрешностью до 0,1 % по формуле:

$$W_{\text{ж}} = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{с}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $m_{\text{с}}$ — масса высушенного образца, г;

$m_{\text{в}}$ — масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение бетона отдельного образца по объему $W_{\text{о}}$ в процентах определяют с погрешностью до 0,1 % по формуле:

$$W_{\text{о}} = \frac{W_{\text{ж}} \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{с}}}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{с}}$ — плотность сухого бетона, кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Водопоглощение бетона серий образцов определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии.

В журнале, в который заносят результаты испытаний, должны быть предусмотрены следующие графы:

- маркировка образцов;
- возраст бетона и дата испытаний;
- водопоглощение бетона образцов;
- водопоглощение бетона серии образцов.

Кинетика водопоглощения бетона характеризуется приращением его массы во времени.

Кривые водопоглощения выражаются уравнением:

$$W_t = W_{\text{ж}} \left[1 - e^{-(\bar{\lambda}^2)t} \right],$$

где W_t — водопоглощение образца за время t , % по массе;

$W_{\text{ж}}$ — водопоглощение образца, определенное по ГОСТ 12730.3, % по массе;

e — основание натурального логарифма, равное 2,718;

t — время водопоглощения, ч;

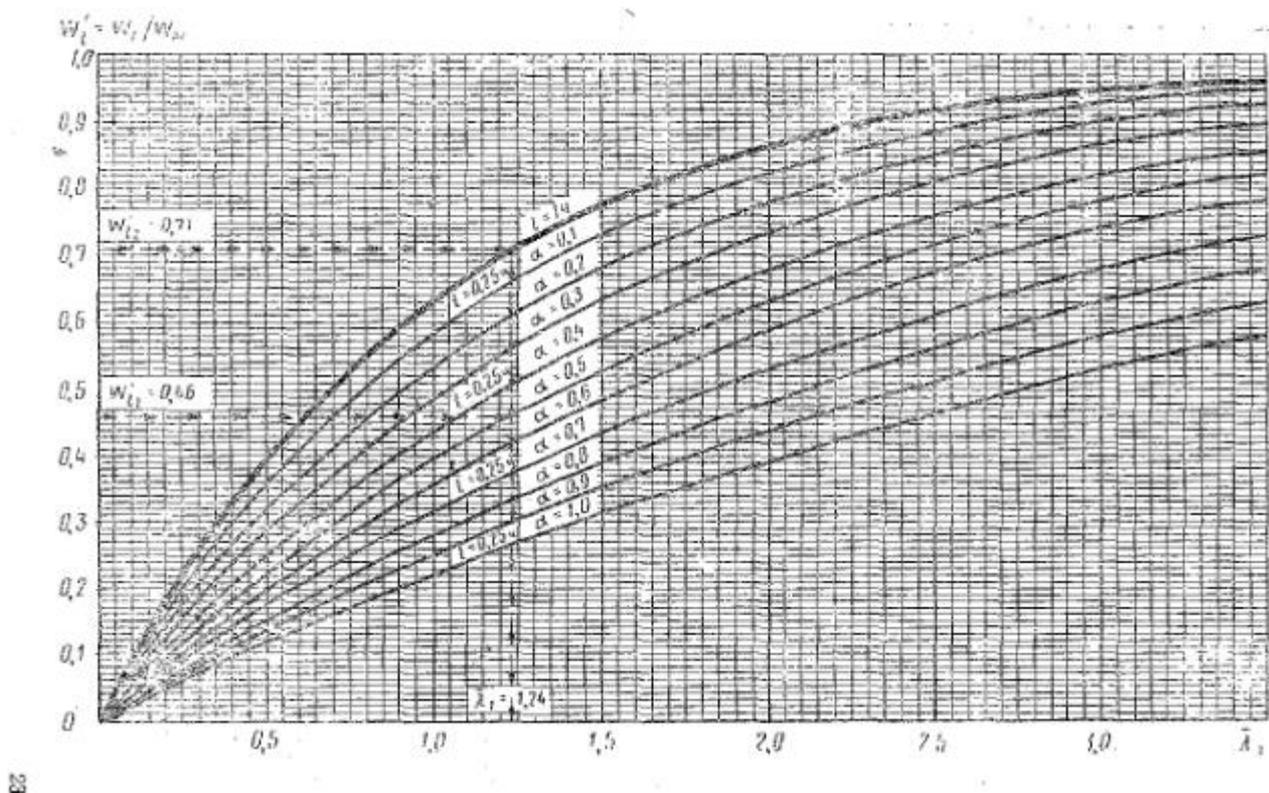
$\bar{\lambda}$ — показатель среднего размера открытых капиллярных пор, равный пределу отношений ускорения процесса водопоглощения к его скорости, определяемый по номограммам, приведенным на черт. 1-4.

α — показатель однородности размеров открытых капиллярных пор, определяемый по номограммам, приведенным на черт. 1.

При дискретном способе взвешивание производят через 15 и 30 минут после погружения высушенного образца в воду, а затем через каждые 24 ч до постоянной массы. Постоянной массой считают массу образца, при которой результаты двух последовательных взвешиваний отличаются не более чем на 0,1 %. В конце испытаний производят гидростатическое взвешивание образца. По результатам испытаний рассчитывают относительное водопоглощение по массе в моменты времени $t_1 = 0,25$ и $t_2 = 1$ ч. По этим величинам с помощью номограмм (черт. 1) определяют вспомогательный параметр $\bar{\lambda}_1$ и параметр α , по которым рассчитывают или получают по номограммам (черт. 2) и (черт. 3) параметр $\bar{\lambda}$. Пример пользования номограммой показан на черт. 3.

Параметры пористости $\bar{\lambda}$ и α серии образцов бетона определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний всех образцов серии.

Номограмма и пример расчета параметров пористости по кинетике насыщения материала жидкостью (дискретный метод)



$t, \text{ч}$	0	0,25	1,0	24,0
Q_2^*	815,0	838,5	851,0	865,0
Q_1^*	-	-	-	512,0

$$W = \frac{866 - 815}{815} \cdot 100 = 6,26\%;$$

$$\rho_* = \frac{815}{866 - 512} = 2,31 \text{ г/см}^3;$$

$$W_p = 6,26 \cdot 2,31 = 14,5 \%;$$

$$W_a = \frac{815 - 815}{815} \cdot 100 = 4,45 \%;$$

$$W_a' = \frac{4,45}{6,26} = 0,71; \quad \lambda_1' = 1,24;$$

$$W_{a1} = \frac{838,5 - 815}{815} \cdot 100 = 2,88 \%;$$

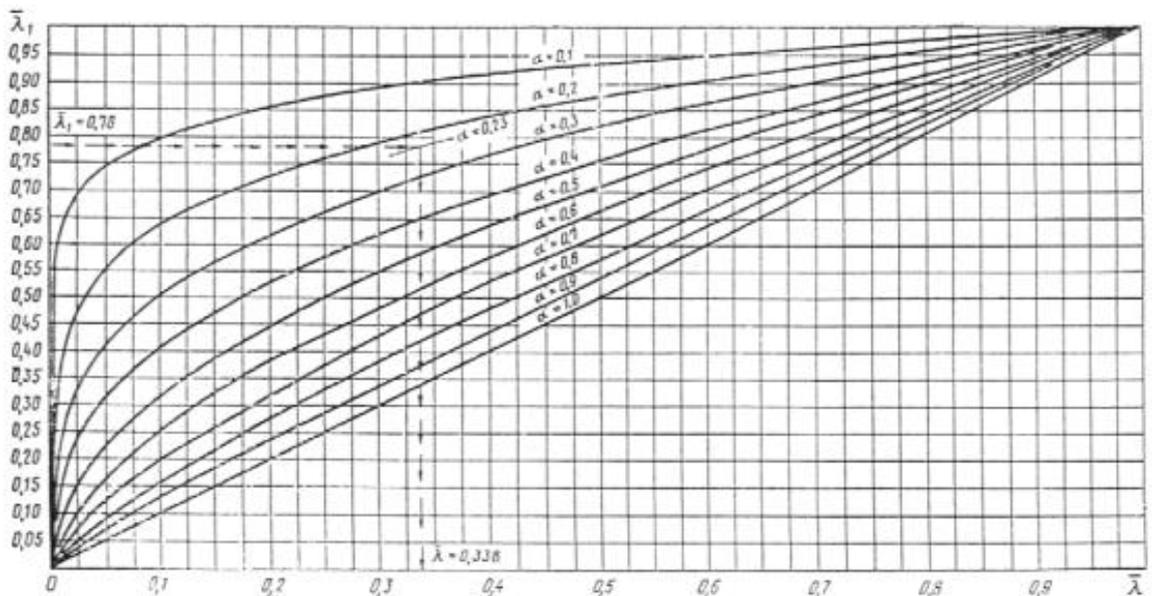
$$W_{a1}' = \frac{2,88}{6,26} = 0,46; \quad \alpha = 0,5;$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt[0,5]{1,24} = 1,54$$

Черт. 1

Номограмма и пример определения величины

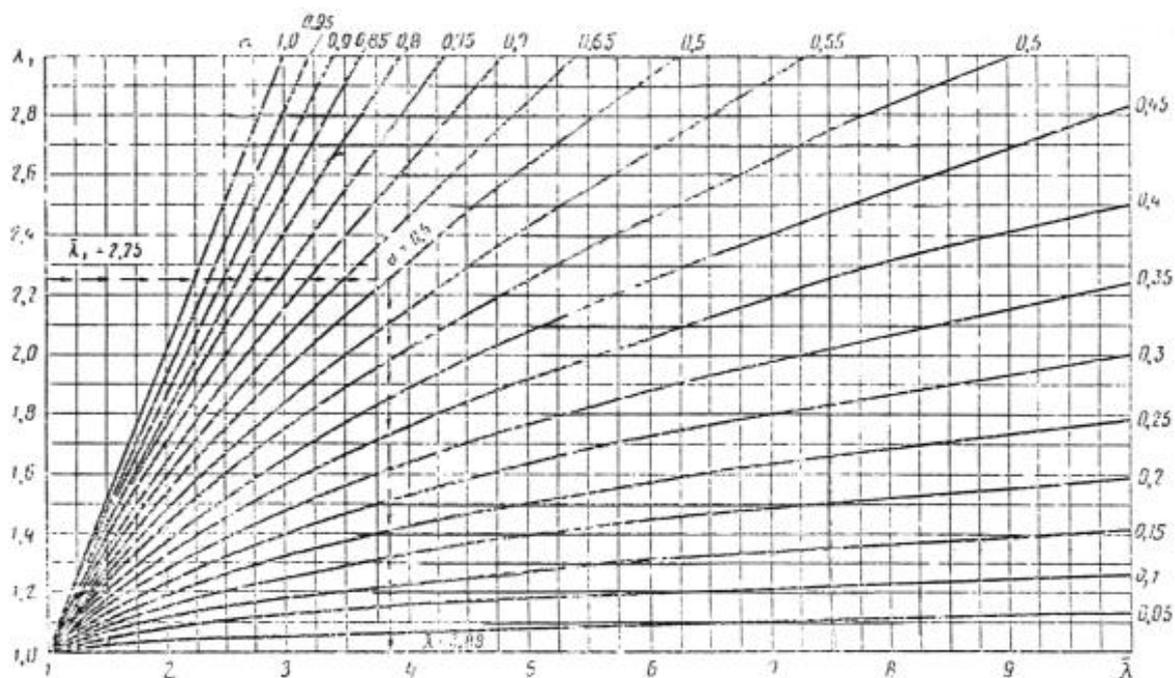
$$\bar{\lambda} = \sqrt[0,5]{\lambda_1} \text{ при } \lambda_1 \leq 1$$



Черт. 2

Номограмма и пример определения величины

$$\bar{\lambda} = \sqrt[3]{\bar{\lambda}_1} \text{ при } \bar{\lambda}_1 \geq 1,0$$



Черт. 3

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

Оценка свойств растворяемых смесей с дисперсно-волоконными добавками

1. Общие положения

Для увеличения прочностных показателей цемента в мелкозернистый бетон иногда вводят фибру — стальную, полипропиленовую, минеральную и др. Состав в этом случае определяют обычным методом, рассматривая цемент и фибру как единое вяжущее. Активность вяжущего и его влияние на водопотребность бетонной смеси зависят от содержания и свойств фибры. Влияние вяжущего на водопотребность устанавливают предварительными испытаниями. Для ориентировочных расчетов можно принять, что увеличение активности цемента пропорционально увеличению содержания фибры: при содержании фибры 0,5% активность вяжущего увеличивается на 10%.

Влияние фибры на водопроводность бетонной смеси можно учесть, если известна ее водопотребность. В этом случае количество воды, которое надо добавить к расходу воды или, наоборот, на которое надо уменьшить расход воды.

Водопотребность бетонной смеси можно определить отдельным учетом водопотребности цемента и микронаполнителя.

Остаток на сите №02 не должен превышать 5% и сквозь сито № 008 должно проходить не менее 65% пробы. Наполняющая добавка не должна вызывать повышения водопотребности бетонной смеси.

Микронаполнители используют следующим образом:

1. Вводят измельченный микронаполнитель в состав бетонной смеси.
2. Раздельно измельчают цемент и микронаполнитель, смешивают их на цементном заводе или перед употреблением.
3. Измельчают совместно цементный клинкер, гипс и микронаполнитель.
4. Осуществляют ступенчатый помол, при котором в одной мельнице.

2. Цели лабораторной работы

Цель работы – определение состава бетона заданной прочности с оптимальной дозировкой золы.

3. Основные понятия

Золы ТЭЦ представляют собой продукт обжига минеральной части угля, причем обжиг (сжигание угля) производится в измельченном состоянии. В итоге зола состоит из мелких (1-80 мкм) и большей частью сферических частиц. Она содержит окислы SiO_2 (35-70%), Al_2O_3 (5-30%), Fe_2O_3 (2-20%), CaO (1-45%), и других соединений. При повышенном содержании CaO зола обладает гидравлической активностью (способностью твердения самостоятельно), при пониженном – пуццоланической активностью (т.е. способностью твердеть в присутствии $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Кроме того, частицы золы могут улучшать гранулометрию твердых частиц бетонной смеси, выполняя роль микронаполнителя. В итоге при введении золы в бетоны удается сократить расход цемента и песка. Эффективность введения золы зависит от ее свойств: химической активности, зернового состава, водопотребности, а также от режима твердения бетона. В условиях тепловой обработки эффективность применения золы возрастает (происходит температурная активизация золы при температуре 90-95°C).

Ориентиром для определения дозировок золы в бетоне может служить положение о том, что содержание тонкодисперсных частиц в бетоне (цемент + наполнитель) должно составлять 450-500 кг/м³. Появление пятого компонента – золы в бетоне осложняет нахождение оптимального состава бетона.

4. Методика выполнения работы

Учитывается зависимость оптимального расхода золы от расхода цемента, подбор ведут для двух контрольных смесей с высоким и низким В/Ц (например, 0,5 и 0,8). Эти составы подбираются обычным способом [2] или могут быть заданы преподавателем.

1. В каждый состав рассчитываются 2-3 дозировки золы (в диапазоне 50-100-150-200-300 кг). При этом можно считать, что оптимальная дозировка золы должна дополнять расход цемента до $\sim 500 \text{ кг/м}^3$. Зола вводится взамен песка при постоянном расходе цемента. Рассчитывается абсолютный объем, занимаемый вводимой золой ($\rho_{\text{зола}} = 2,2 \text{ г/см}^3$), и на этот объем уменьшается расход песка в смеси.

$$\Delta\Pi = \frac{\Delta Z \cdot \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{з}}},$$

где $\Delta\Pi$ – уменьшение расхода песка, кг на м^3 ;

ΔZ – дозировка золы в конкретный состав, кг на м^3 .

$\rho_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{з}}$ – истинная плотность песка и золы, кг/л.

2. При введении золы подвижность смеси следует сохранять постоянной, для чего приходится добавлять воду. Формование и твердение контрольных образцов с золой производится по обычной схеме. Но температуру изотермии при пропаривании следует повысить с 80 до 90°C, а длительность изотермического прогрева с 6 до 8-9 часов. Это позволяет лучше выявить химическую активность золы (разумеется, если такой режим удастся реализовать на производстве). Образцы испытываются после пропаривания и в 28-суточном возрасте.

При обработке результатов по полученным данным строятся: зависимость прочности бетона от дозировки золы по которой определяется оптимальная дозировка золы. Если дозировки золы приняты правильно, прочность бетона имеет максимум, а соответствующая ему дозировка золы является оптимальной (рис.1):

- зависимость дозировки золы от Ц/В (рис.2);
- прирост водопотребности смеси от расхода золы (рис.3);
- зависимость прочности от Ц/В для бетона без золы и с оптимальными дозировками (рис.4).

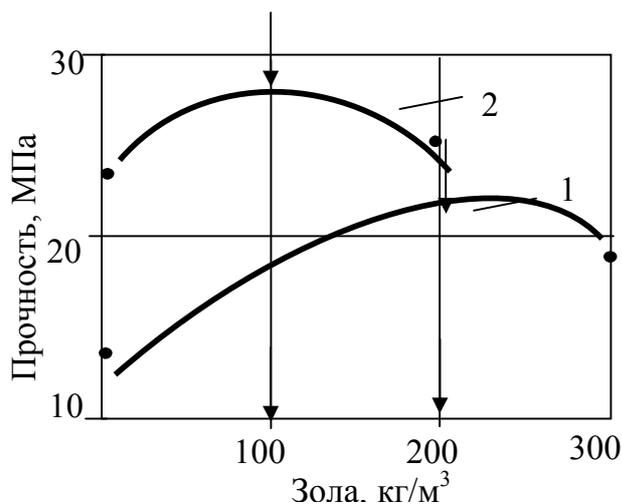


Рис.1. Зависимость прочности бетона от расхода золы:
1 – В/Ц = 0,8; 2 – В/Ц = 0,5

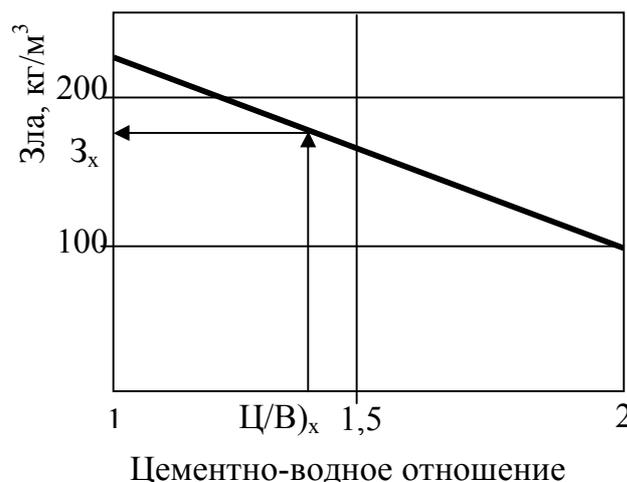


Рис. 2. Зависимость оптимального расхода золы от Ц/В

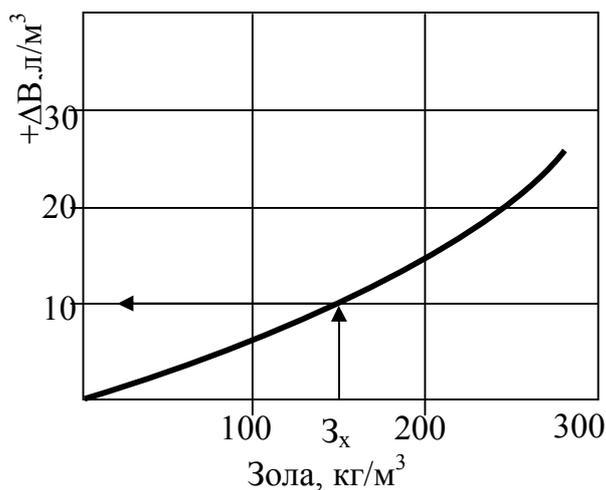


Рис. 3. Влияние расхода золы на водопотребность смеси

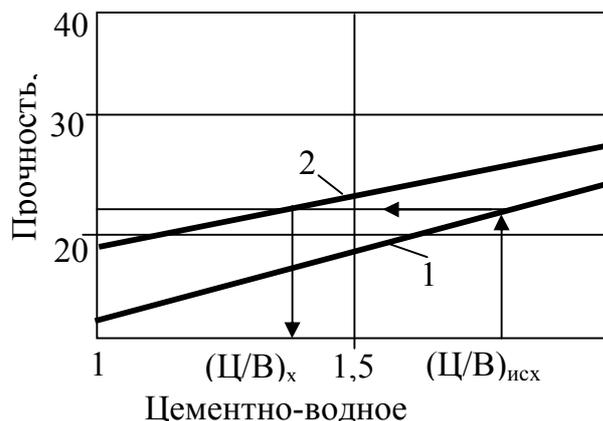


Рис.4. Зависимость прочности бетона от Ц/В:
1 - бетона без золы; 2 – бетон с золой

3. Полученные зависимости позволяют перейти к назначению оптимальных составов бетона с золой. Исходными являются составы бетонов, в которые планируется введение золы. Определяется Ц/В – равнопрочного бетона с золой (см. рис.4), по его величине – оптимальный расход золы (см. рис. 2), а по расходу золы – $Z_x + \Delta V_x$ – увеличение (Ц/В)_x водосодержания смеси с золой (см. рис. 3). Расход щебня принимается такой же, что и в исходном составе. Расход цемента находится по принятому Ц/В, расход песка – по уравнению абсолютных объемов, по известным расходам воды, цемента, золы и щебня.

4. По результатам сравнения исходного и найденного состава с золой делается вывод об экономии цемента в равнопрочных бетонах.

4. Оборудование и принадлежности

Торговые весы с набором разновесов, набор мерной металлической и стеклянной посуды, сферические чашки с лопатками для перемешивания, встряхивающий столик с малым конусом, формы-балочки 3х4х4х16 см, пресс гидравлический 50-100 кН, линейки стальные, металлический стержень-штыковка диаметром 16 мм.

5. Порядок выполнения работы

Занятие 1. Обсуждение теоретических основ работы, расчеты состава бетона с золой.

Занятие 2. Проведение опытных замесов, формование образцов.

Занятие 3. Испытание образцов, построение зависимостей, назначение оптимальных составов бетонов с золой. Выводы.

6. Результаты определение состава бетона заданной прочности с оптимальной дозировкой золы.

№	Композиционное вяжущие		Песок, г	Вода, мл	В/В	Расплы в, мм	Rизг, МПа	Rсж, Мпа F/A
	Цемент, г	Фибра, г						

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона.- М.: Изд-во АСВ, 2003 - 500 с.
2. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
3. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.
4. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия
5. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. - М.: Стройиздат, 1984. 672 с.
6. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. – Санкт-Петербург: Строй Бетон, 2006. 692 с.
7. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. - М.: Стройиздат, 1975. 268с.
8. ГОСТ 10178 - 85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
9. Рекомендации по подбору составов легких бетонов (к ГОСТ 27006-86). – М., ВНИИжелезобетон, 1990 – 63 с.
10. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. – М., Стройиздат, 1970 – 272 с.
11. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. – Санкт-Петербург, ООО «Строй-Бетон», 2006 – 692 с.
12. СНиП 82-02-85. Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций
13. ГОСТ 25820-2000. Бетоны легкие. Технические условия.
12. СНиП 3.09.01-85. Производство сборных и железобетонных конструкций и изделий.
14. ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава.
15. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия.
16. ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний.
17. Ратинов В.В., Розенберг Т.Н. Добавки в бетон. - М.: Стройиздат, 1973. - 207 с.
18. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
19. ГОСТ 30459-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности.
20. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы. –

РН/Д: Феникс, 2005. – 221 с.

21. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85).

22. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. - М.: Стройиздат. 1998.- 768с.

23. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. – М.: КазГАСУ: Издательство «Палеотип», 2006. – 244 с.

24. Руководство по применению химических добавок в бетоне. - М.: Стройиздат, 1985.- 64 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторно-практических работ по дисциплине «Высокопрочные мелкозернистые бетоны» для студентов по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе магистратуры «Инновационные технологии высокопрочных и высокофункциональных бетонов»

Составители: Красиникова Наталья Михайловна
.....Морозов Николай Михайлович
Хозин Вадим Григорьевич

Редакция авторов

Подписано в печать _____ 2017.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ.л. 3. Тираж 25. Заказ

Печатно-множительный отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета
420043, Казань, Зеленая, 1