

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

## **ОБЩЕЕ БЕТОНОВЕДЕНИЕ**

Лабораторный практикум  
по курсу “Общее бетоноведение”  
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** **Общее бетоноведение: Лабораторный практикум по курсу “Общее бетоноведение” для студентов специальности 1–70 01 01 “Производство строительных изделий и конструкций” – Брест: Изд-во БГТУ, 2016. - 35 с.**

В практикуме приводятся методы подбора составов бетона различных видов; влияние на свойства бетонов органических и минеральных добавок, режимов уплотнения бетонной смеси.

Лабораторный практикум предназначен для студентов специальности 1–70 01 01 “Производство строительных изделий и конструкций”.

Табл. 4. Ил. 16. Библиогр.: 11 назв.

УДК 691(076.5)  
ББК 38.3

ISBN 978-985-493-363-4

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Лабораторная работа 1</b>	Технико-экономическое сравнение бетонов из умеренно-жестких и подвижных смесей .....	4
<b>Лабораторная работа 2</b>	Экспериментальный метод подбора состава тяжелого бетона.....	9
<b>Лабораторная работа 3</b>	Проектирование состава тяжелого бетона с поверхностно-активными добавками .....	13
<b>Лабораторная работа 4</b>	Назначение оптимальных составов бетонов с АМД .....	18
<b>Лабораторная работа 5</b>	Проектирование состава мелкозернистого бетона.....	21
<b>Лабораторная работа 6</b>	Подбор состава легкого бетона на пористых заполнителях .....	26
<b>Лабораторная работа 7</b>	Изучение режимов и процессов уплотнения бетонной смеси .....	31
<b>Список использованных источников.....</b>		<b>35</b>

# Лабораторная работа 1

## Технико-экономическое сравнение бетонов из умеренно-жестких и подвижных смесей

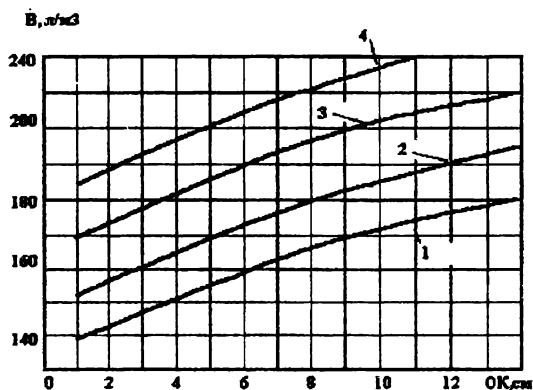
**Цель работы** – изучение влияния удобоукладываемости бетонных смесей на свойства равнопрочных бетонов, плотность и прочность.

### Основные понятия

Разнообразие видов конструкций и способов формирования железобетонных изделий делает необходимым применение смесей разной удобоукладываемости при равной прочности бетона.

Свойства бетона зависят от правильности подбора его состава. Расчет состава бетона ведется по методу абсолютных объемов.

1. Определяется водопотребность смесей по графику Миронова с учетом характеристики смеси и материалов ( $V$ , л на  $m^3$ ).



**Рисунок 1.1** – График водопотребности  $V$  бетонной смеси, изготовленной с применением портландцемента, песка средней крупности (водопотребность 7%) и гравия наибольшей крупности: 1–70 мм; 2–40 мм; 3–20 мм; 4–10 мм; ОК – осадка конуса

**Примечания:** Если применяют мелкий песок с водопотребностью свыше 7%, то расход воды увеличивают на 5 л на каждый процент увеличения водопотребности; при применении крупного песка с водопотребностью ниже 7% – расход воды уменьшают на 5 л на каждый процент уменьшения водопотребности. При применении щебня расход воды увеличивают на 10 л. При применении пуццолановых цементов расход воды увеличивают на 15–20 л. При расходе цемента свыше 400 кг расход воды увеличивают на 10 л на каждые 100 кг увеличения расхода цемента.

2. По формуле Боломея-Скрамтаева определяется цементно-водное отношение

$$R_c^{28} = A \cdot R_{ц}(\text{Ц}/\text{В} - 0,5),$$

где  $R_c^{28}$  – проектная прочность бетона в возрасте 28 суток, МПа;

A – коэффициент качества заполнителей;

$R_{ц}$  – марка (либо активность) цемента, МПа.

3. По расходу воды и цементно-водному отношению подсчитывают расход цемента (кг на  $\text{м}^3$ )

$$\text{Ц} = \text{В} \cdot \text{Ц}/\text{В}.$$

4. Определяется объем цементного теста

$$V_{\text{ц.т.}} = \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \text{В},$$

где  $V_{\text{ц.т.}}$  – объем цементного теста,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{ц}}$  – истинная плотность цемента, равная  $3,1 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

По объему цементного теста определяется  $\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя (гравия или щебня) по графикам или таблицам.



1 – для жестких смесей; 2 – для пластичных смесей на мелком песке; 3 – то же на среднем песке; 4 – то же на крупном песке

**Рисунок 1.2** – Изменение коэффициента раздвижки зерен в зависимости от объема цементного теста

5. Вычисляется расход щебня и песка на 1 м<sup>3</sup> смеси

$$KЗ = \frac{1000}{\frac{V_{мп} \cdot \alpha}{\rho_{кз}^н} + \frac{1}{\rho_{кз}}},$$

$$\Pi = \left[ 1000 - \left( \frac{\Pi}{\rho_{ц}} + \frac{KЗ}{\rho_{кз}} + В \right) \right] \cdot \rho_{п},$$

где КЗ – расход крупного заполнителя (гравия или щебня), кг/м<sup>3</sup>;

Π – расход песка, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{мп} = \left( 1 - \frac{\rho_{кз}^н}{\rho_{кз}} \right)$ , объем межзерновых пустот (пустотность) крупного за-

полнителя, в долях единицы;

$\rho_{кз}^н$  - насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{кз}$  - плотность зерен крупного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{п}$  - истинная плотность песка, кг/м<sup>3</sup>.

6. Производится пересчет материалов на замес (4–8 л) и результаты записываются в таблицу 1.1.

**Таблица 1.1 – Состав бетона**

Расход материалов, кг							
на 1 м <sup>3</sup> бетона				на замес			
Ц	В	КЗ	Π	Ц	В	КЗ	Π

Таблица составляется на все рассчитанные группой (подгруппой) студентов составы.

### Методика эксперимента

Подгруппе (10–12 чел.) задаются 4 состава: две марки по удобоукладываемости и две проектных прочности бетона для каждой смеси. Характеристики сырьевых материалов.

Отвешенные песок и цемент перемешиваются в смоченном водой противне (байке). Всыпается щебень, и сухие материалы снова перемешиваются. Затем вливается отмеренное количество воды и смесь энергично перемешивается до однородного состояния. Определяется стандартным образом удобоукладываемость (подвижность – по осадке конуса, жесткость – по времени на

техническом вискозиметре). В случае необходимости производится корректировка смеси с доведением ее до требуемой подвижности.

При удобоукладываемости ниже требуемой добавляется цементное тесто при расчетном водоцементном отношении. При удобоукладываемости выше требуемой добавляются крупный и мелкий заполнитель в расчетном соотношении. Добавляются постепенно по 5–10% от первоначальных значений. После повторного определения удобоукладываемости определяется средняя плотность смеси в 1–2-литровом цилиндре с уплотнением на виброплощадке.

Из смеси формируются образцы в количестве 12 шт., подписываются и ставятся на естественное твердение или в камеру ТВО (тепловлажной обработки). Все результаты заносятся в таблицу.

В возрасте 7 суток естественного твердения или после ТВО производится испытание образцов и расчет средней прочности бетона в 7 и 28-дневном возрасте.

$$R_c^n = \frac{N}{A} \cdot \alpha,$$

где  $R_c^n$  – прочность бетона в возрасте  $n$  дней, приведенная к базовому размеру образцов 15 см, Па;

$N$  – разрушающая сила, Н;

$A$  – площадь поперечного сечения образца,  $m^2$ ;

$\alpha$  – масштабный коэффициент.

Для образцов с ребром 7 см  $\alpha=0,85$ ; с ребром 10 см  $\alpha=0,95$ .

Пересчет на проектную прочность бетона ведется для естественного твердения по логарифмической зависимости

$$R_c^{28} = R_c^n \cdot \frac{\lg 28}{\lg n},$$

где  $R_c^n$  – прочность при сжатии в 28-суточном возрасте, МПа.

Бетон после тепловлажностной обработки (ТВО) набирает около 70% марочной прочности. В этом случае:

$$R_c^{28} = \frac{R_c^n}{0.7}.$$

Строятся графики зависимости прочности и плотности бетона от водоцементного отношения, зависимости заданной удобоукладываемости от расхода воды.

Делаются выводы об изменении расхода цемента и экономичности бетона при изменении удобоукладываемости бетонных смесей.

### **Оборудование и принадлежности**

Весы технические до 30 кг, байки для замесов, мастерки, стандартный конус с насадкой, виброплощадка лабораторная, технический вискозиметр, пресс 50-100 КН для испытания, формы 10х10х10 см, стальные линейки, кельмы, металлический стержень-штыковка  $\varnothing$  16 мм.

### **Порядок выполнения работы**

Работа рассчитана на три занятия. На первом производится расчет составов бетона разной прочности при смесях разной удобоукладываемости. На втором занятии – приготовление и испытание смесей с доведением их до требуемой удобоукладываемости и формование образцов. На третьем занятии – испытание образцов, обработка результатов, построение зависимостей, выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. От чего в первую очередь зависит удобоукладываемость бетонной смеси?
2. Как повысить удобоукладываемость смеси, не меняя прочности бетона?
3. Как снизить удобоукладываемость смеси, не меняя прочности бетона?
4. Как увеличить прочность бетона, не меняя его удобоукладываемости?
5. Как определить подвижность, жесткость бетонной смеси?



## Лабораторная работа 2

### Экспериментальный метод подбора состава тяжелого бетона

**Цель работы** – закрепление теоретических знаний по классической технологии бетона, получение практических навыков по подбору состава бетона на заводах ЖБИ, где используются местные сырьевые материалы и готовятся смеси с практически постоянными марками по удобоукладываемости. Результатом работы должна быть зависимость прочности бетона ( $R_c$ ) от его состава на местных материалах при заданной удобоукладываемости бетонной смеси.

#### Методика проведения работы

Работу выполняют 3...4 звена. Каждое звено подбирает составы бетона с заданным водоцементным отношением (В/Ц), например, 0,35; 0,4; 0,45; 0,5. Звено, получив задание с определенным В/Ц, проводит расчет состава бетона:

1. Подбирает определенный расход воды по графику С.А. Миронова или по таблицам (л на  $m^3$ ) (рис. 1.1 лаб. раб. №1).

2. Подсчитывает объем цементного теста ( $V_{цт}$ ) в бетонной смеси с заданным Ц/В (л на  $m^3$ )

$$V_{цт} = \frac{Ц}{\rho_{ц}} + В.$$

3. Используя полученное значение  $V_{цт}$  с заданным Ц/В, рассчитывает абсолютно плотный объем смеси заполнителей ( $V_{абс}$ ) по формуле

$$V_{абс} = 1000 - V_{цт},$$

где  $V_{абс}$  - абсолютно плотный объем заполнителей, л на  $m^3$ .

4. Рассчитывает массовую долю песка и крупного заполнителя с различными отношениями песка (П) к крупному заполнителю (К.З.), равными  $ч_{п}$ , которые могут колебаться в пределах 0,35-0,7, например, 0,4; 0,5; 0,55; 0,6.

$$К.З. = \frac{V_{абс} \cdot \rho_{п} \cdot \rho_{кз}}{ч_{п} \cdot \rho_{кз} + \rho_{п}}, \quad П = (К.З.) \cdot ч_{п},$$

где К.З. – массовая доля крупного заполнителя, кг;

$\rho_{п}$  - плотность песка, кг/л;

$\rho_{кз}$  - плотность крупного заполнителя, кг/л;

$V_{абс}$  - абсолютно плотный объем заполнителей, л;

$\Pi$  – массовая доля песка, кг;

$\chi_{\Pi}$  – отношение массы песка к массе крупного заполнителя.

5. Каждое звено, имеющее заданное Ц/В, приготавливает замес бетонной смеси (8–10 л) с рассчитанным расходом компонентов бетона, где  $\chi_{\Pi}$  – равно минимальному из принятых в расчетах, например  $\chi_{\Pi}=0,4$ , и измеряет удобоукладываемость смеси.

6. Затем смесь снова перемешивают с добавлением песка ( $\Delta\Pi_n$ ), чтобы получить новое большее значение  $\chi_{\Pi}$ , например равное 0,5. Масса добавленного песка ( $\Delta\Pi_n$ ) подсчитывается по формуле (кг)

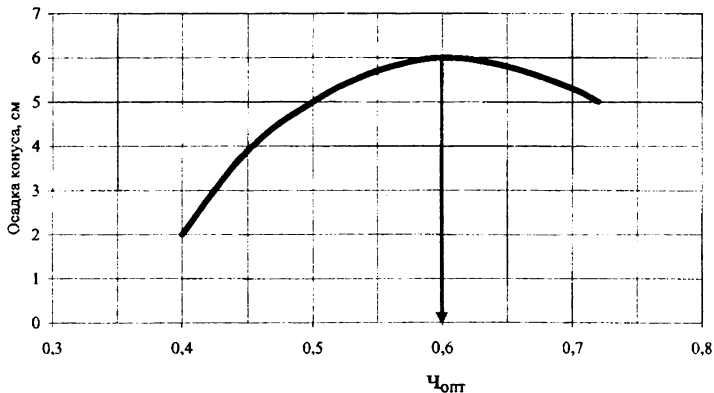
$$\Delta\Pi_n = \chi_{\Pi}(K.3) - \Pi_{n-1},$$

где  $n$  – порядковый номер замесов.

Для того, чтобы сохранить соотношение между объемами цементного теста и смеси заполнителей, добавляют соответственно воду  $\Delta B_n$  и цемент  $\Delta C_n$ . Количество добавок воды и цемента подсчитывается по уравнениям (кг):

$$\Delta B_n = \Pi_n \cdot \rho_{\Pi} / \rho_n \cdot (\Pi/V + \rho_{\Pi}); \quad \Delta C_n = \Delta B_n \cdot \Pi/V.$$

Полученную смесь с добавленным песком, цементом и водой перемешивают и определяют ее удобоукладываемость.



**Рисунок 2.1** – Зависимость удобоукладываемости от соотношения песка и крупного заполнителя

7. Для определения оптимального соотношения ( $\chi_{\text{опт}}$ ) песка и крупного заполнителя производят 4–5 добавок песка, цемента и воды, каждый раз увели-

чивая  $ч_{пт}$ . При каждой добавке смесь перемешивают и определяют удобоукладываемость. После этого строят график зависимости удобоукладываемости от  $ч_{пт}$  (рис. 2.1). Определяют оптимальное  $ч_{опт}$  по лучшей удобоукладываемости смеси.

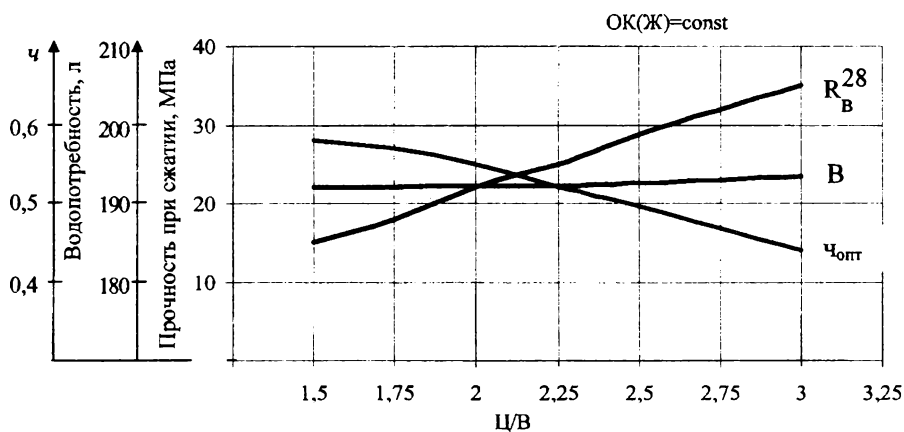
8. При найденном оптимальном для каждого Ц/В значении  $ч_{опт}$  при необходимости добиваются требуемой удобоукладываемости, корректируя состав количеством цементного теста или песком и крупным заполнителем.

9. Каждое звено рассчитывает скорректированный состав бетона с заданным Ц/В и  $ч_{опт}$  и изготавливает образцы, которые после надлежащего хранения испытывает на следующем занятии на прочность при сжатии. При формировании образцов необходимо удостовериться в соответствии расчетной средней плотности свежеуложенного бетона фактической средней плотности, определив её.

10. После испытания бетонных образцов каждое звено представляет данные по оптимальному значению  $ч_{опт}$ , прочности и водопотребности, полученные при заданных Ц/В и требуемой удобоукладываемости.

Полученная при испытании прочность приводится к базовому размеру образцов и к прочности в 28-суточном возрасте. Эти данные и служат основой для построения графика (рис. 2.2).

На графиках по оси абсцисс откладывают Ц/В, а по оси ординат – прочность бетона  $R_B^{28}$ , водопотребность (В) и  $ч_{опт}$ .



**Рисунок 2.2** – Зависимость свойств смеси и бетона от цементно-водного отношения

**Выводы.** На основании графика 2.2 приводится диапазон получения прочности бетона на данных материалах и конкретные составы бетона для заданных прочностей.

### **Оборудование и принадлежности**

Весы технические до 30 кг, байки для замесов, кельмы, стандартный конус с насадкой, виброплощадка лабораторная, стандартный прибор для определения жесткости, прибор для определения жесткости в формах, пресс 50–100 КН для испытания, формы 10×10×10 см, набор стеклянной и металлической посуды, металлические линейки, кельмы, металлический стержень-штыковка Ø 16 мм.

### **Порядок выполнения работы**

Работа рассчитана на три занятия. На первом занятии производится расчет состава бетона каждым звеном для заданного В/Ц, при заданной одинаковой удобоукладываемости смеси и определение оптимального значения  $\chi_{\text{опт}} = \frac{\Pi}{\Sigma}$  и фактической удобоукладываемости смеси. На втором занятии делаются замесы бетона при  $\chi_{\text{опт}}$  и, после определения удобоукладываемости смеси, производится корректировка ее. Определяется фактическая плотность смеси и формуются образцы. На третьем занятии производится испытание образцов, обработка результатов, построение сводного графика, выводы по работе, оформление отчетов.

### **Контрольные вопросы**

1. Как изменить удобоукладываемость бетонной смеси при  $\chi_{\text{опт}}$  и заданном Ц/В?
2. Каким образом изменяется удобоукладываемость смеси при замене гравия на щебень?
3. Влияет ли крупность песка на значение  $\chi_{\text{опт}}$  при заданном В/Ц?
4. Когда значение  $\chi_{\text{опт}}$  больше – у жестких или подвижных смесей?

### Лабораторная работа 3

## Проектирование состава тяжелого бетона с поверхностно-активными добавками

**Цель работы** – выявить влияние химических добавок с пластифицирующим эффектом на подвижность бетонной смеси и прочность затвердевшего бетона. Определить количественное содержание добавки, которое позволяет уменьшить расход цемента без ухудшения прочностных характеристик.

### Основные понятия

Одним из перспективных направлений технического прогресса в технологии производства бетона является применение поверхностно-активных добавок (ПАВ), вводимых в состав бетонных смесей при их приготовлении для увеличения подвижности (удобоукладываемости), либо сокращения водосодержания смеси той же подвижности.

Эффективность добавки зависит от минерального состава и расхода цемента, вида и количества заполнителей. Поэтому оптимальные дозировки добавок следует проверять экспериментально на применяемых материалах. Если изделия из бетонных смесей с использованием ПАВ подвергаются тепловой обработке, то необходимо увеличивать продолжительность предварительной выдержки или проводить медленный подъем температуры. В жирных бетонных смесях с большим содержанием цементного теста целесообразно применять добавки пластифицирующего действия, а в тощих (жестких) бетонных смесях – воздухововлекающего.

### Методика выполнения работы

Характеристика применяемых материалов, подвижность бетонной смеси и марка бетона задаются преподавателем.

Расчет состава бетона производится по методу абсолютных объемов (см. лабораторную работу 1).

1. Добавку СП (суперпластификатор I группы) вводят в виде 33%-го раствора (концентрация может варьироваться в зависимости от применяемой добавки). На  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси требуется раствора ( $V_p$ ) при содержании СП  $x\%$ :

$$V_p = \frac{11 \cdot x}{33 \cdot \rho_o}$$

При приготовлении экспериментальных замесов с добавкой СП необходимо из количества воды, определенного по контрольному замесу, вычесть то содержание воды, которое вводится в виде 33%-го водного раствора пластифицирующей добавки.

Таким образом,  $V_{OP} = V_K - V_P$ , где  $V_{OP}$  – ориентировочный расход воды на экспериментальный замес при соответствующем введении добавки от массы цемента;  $V_K$  – водопотребность бетонной смеси контрольного замеса;  $V_P$  – соответствующий объем водного раствора пластифицирующей добавки.

**Таблица 3.1 – Определение расхода раствора СП**

Плотность раствора СП, г/см <sup>3</sup>	Концентрация раствора, %	Содержание сухого вещества в растворе, кг/л	Расход раствора на 100 кг цемента, $V_P$ при введении от массы цемента, %		
			0,2	0,4	0,8

2. Объем лабораторных замесов бетонной смеси – 4 л. В контрольном замесе необходимое количество воды вливают полностью и после приготовления смеси определяют ее удобоукладываемость (по СТБ 1545-2005) по величине осадки конуса. В экспериментальных замесах в 2/3 ориентировочного расхода воды растворяют необходимый объем раствора СП и это количество расходуют на приготовление замеса. Оставшийся объем воды небольшими порциями вливают в бетонную смесь, чтобы обеспечить необходимую подвижность, равную подвижности смеси контрольного замеса. Таким образом, для каждого экспериментального лабораторного замеса определяется окончательный расход воды.

3. У приготовленной бетонной смеси определяют среднюю плотность (по СТБ 1545-2005) и подсчитывают фактический объем замеса

$$V_3 = \frac{Ц_1 + П_1 + Ш_1 + В_1}{\rho_{с.б.см}}$$

где  $V_3$  – фактический объем замеса, л;

$Ц_1, П_1, Ш_1, В_1$  – расходы соответствующего компонента на пробный замес бетонной смеси, кг;

$\rho_{с.б.см}$  – средняя плотность бетонной смеси, кг/л.

4. По фактическому объему каждого лабораторного замеса производят перерасчет всех материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

$$Ц = \frac{1000 \cdot Ц_1}{V_3}; П = \frac{1000 \cdot П_1}{V_3}; Ш = \frac{1000 \cdot Ш_1}{V_3}; В = \frac{1000 \cdot В_1}{V_3},$$

где Ц, П, Ш, В – расход цемента, песка, щебня (гравия), воды экспериментального состава, кг на м<sup>3</sup>.

5. Из приготовленной бетонной смеси формуют не менее 3-х образцов размером 10×10×10 см, которые до испытания либо твердеют в естественных условиях, либо подвергаются тепловлажностной обработке.

6. У затвердевших образцов перед испытанием на сжатие определяют массу, замеряют геометрические размеры и подсчитывают среднюю плотность бетона.

Прочность бетона на сжатие, определенная в возрасте n дней, приводится к возрасту 28 дней (по логарифмической зависимости) и к базовому размеру образца (масштабный фактор).

7. По результатам испытания образцов строят графические зависимости водопотребности смеси, средней плотности и прочности бетона от цементно-водного отношения и процентного содержания вводимой добавки СП (рис. 3.1).

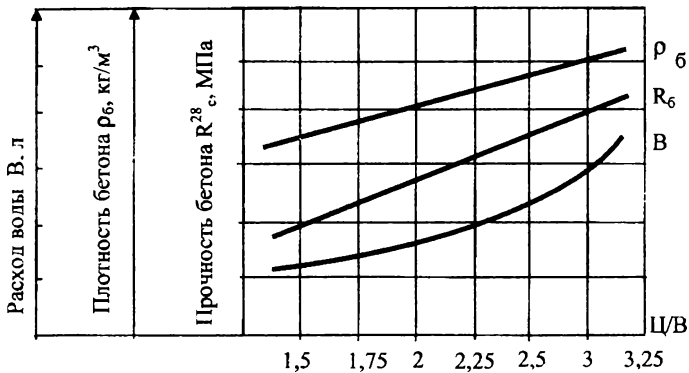


Рисунок 3.1 – Зависимость свойств смеси и бетона от Ц/В (при введении x % добавки)

Строят графики (типа рис. 3.1) для каждого содержания добавки и для вывода анализируют их, сравнивая с контрольным замесом без добавки.

**Выводы.** Оптимальной считается такая дозировка добавки, при которой требуется меньшее количество воды для обеспечения необходимой удобоукладываемости смеси и получается большая прочность бетона по сравнению с контрольным замесом. По графикам, представленным на рисунке, определяют такую дозировку добавки, которая удовлетворяет этим требованиям.

В экспериментальном составе бетонной смеси, который обеспечивает повышение прочности бетона, можно сократить расход цемента. Экономия цемента (%) от введения в бетонную смесь оптимального количества добавки СП составит

$$\text{Ц} = (\text{Ц} - \text{Ц}^1) / \text{Ц} \cdot 100,$$

где  $\text{Ц}$  – расход цемента в контрольном замесе на  $1\text{ м}^3$  смеси, кг;

$\text{Ц}^1$  – требуемый расход цемента в экспериментальном замесе с оптимальным содержанием добавки, который обеспечит заданную прочность бетона; определяется по формуле

$$\text{Ц}^1 = \text{В} \cdot \text{Ц} / \text{В}.$$

Здесь  $\text{В}$  – расход воды в данном экспериментальном замесе, л;

$\text{Ц} / \text{В}$  – цементно-водное отношение контрольного замеса.

При применении разных добавок порядок расчетов и проведения эксперимента тот же. Данные по плотности растворов добавки, их концентрации, содержанию сухого вещества в растворе, пределов рекомендуемого процентного содержания добавки для таблицы типа табл. 3.1 принимаются по рекомендациям производителя.

### **Оборудование и принадлежности**

Технические весы, набор мерной посуды – стеклянной и металлической, емкости для перемешивания, стандартный конус, лабораторная виброплощадка, мастерки, формы кубы с ребром 10 см, пресс гидравлический 50–100 кН, металлическая линейка, металлический стержень-штыковка.



## **Порядок выполнения работы**

Работа рассчитана на три занятия. На первом занятии производят расчет состава бетона без добавки, с добавками в количестве 0,2; 0,4; 0,8% от массы цемента. На втором – изготавливают замесы – контрольный без добавки и экспериментальные с различным содержанием СП. По контрольному замесу определяют фактическую подвижность бетонной смеси. В экспериментальных замесах определяют водопотребность, обеспечивающую необходимую подвижность бетонной смеси, установленную по контрольному замесу. На третьем занятии определяют прочность затвердевшего бетона, его плотность, выявляют состав, обеспечивающий повышенную прочность, и для данного состава производят расчет возможной экономии расхода цемента.

## **Контрольные вопросы**

1. С какой целью в состав бетонной смеси вводятся поверхностно-активные добавки?
2. Каков принцип действия пластифицирующих добавок?
3. Каков принцип действия воздухововлекающих добавок?
4. Почему пластифицирующие добавки проявляют лучшее действие в «жирных» бетонных смесях?
5. Почему воздухововлекающие добавки проявляют лучшее действие в «тощих» смесях?
6. Почему при применении ПАВ необходимо либо увеличить время выдержки изделий перед ТВО, либо обрабатывать их «мягким» режимом?
7. Почему, вводя ПАВ, можно экономить расход цемента?

## Лабораторная работа 4

### Назначение оптимальных составов бетонов с активными минеральными добавками (АМД)

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

#### Основные понятия

АМД состоят из ультрадисперсных и большей частью сферических частиц. АМД содержат оксиды  $\text{SiO}_2$  (35–70%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5–30%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2–20%),  $\text{CaO}$  (1–45%) и других соединений. При повышенном содержании  $\text{CaO}$  АМД обладает гидравлической активностью (способностью твердения самостоятельно), при пониженном – пуццолановой активностью (т.е. способностью твердеть в присутствии  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Кроме того, частицы АМД могут улучшать гранулометрию твердых частиц бетонной смеси, играя роль микронаполнителя. В итоге, при введении АМД в бетоны удастся сократить расход цемента и песка. Эффективность введения АМД зависит от ее свойств: химической активности, зернового состава, водопотребности, а также от режима твердения бетона. В условиях тепловой обработки эффективность применения АМД возрастает (происходит температурная активизация АМД при температуре 90–95°C).

Ориентиром для определения дозировок АМД в бетоне может служить положение о том, что содержание тонкодисперсных частиц в бетоне (цемент + наполнитель) должно составлять 450–500 кг/м<sup>3</sup>. Появление пятого компонента -- АМД в бетоне осложняет нахождение оптимального состава бетона.

#### Методика выполнения работы

Учитывается зависимость оптимального расхода АМД от расхода цемента, подбор ведут для двух контрольных смесей с высоким и низким В/Ц (например, 0,35 и 0,5).

1. В каждый состав рассчитываются 2–3 дозировки АМД (в диапазоне 8–10–12–15% от массы цемента, кг). При этом можно считать, что оптимальная дозировка АМД должна дополнять расход цемента не более чем до ~500 кг/м<sup>3</sup>. АМД вводится взамен песка при постоянном расходе цемента. Рассчитывается абсолютный объем, занимаемый вводимой АМД ( $\rho$  АМД = 2,2 г/см<sup>3</sup>), и на этот объем уменьшается расход песка в смеси.

$$\Delta\Pi = \frac{\Delta\text{АМД} \cdot \rho_n}{\rho_{\text{АМД}}},$$

где  $\Delta\Pi$  – уменьшение расхода песка, кг на м<sup>3</sup>;

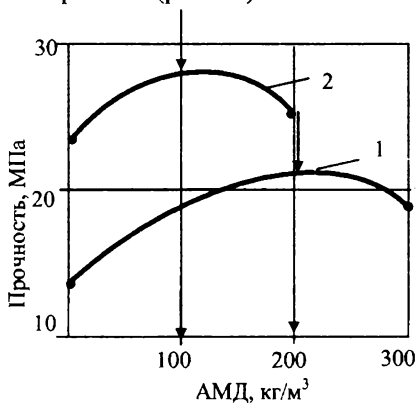
$\Delta\text{АМД}$  – дозировка АМД в конкретный состав, кг на м<sup>3</sup>.

$\rho_n$  и  $\rho_{\text{АМД}}$  – истинная плотность песка и АМД, кг/л.

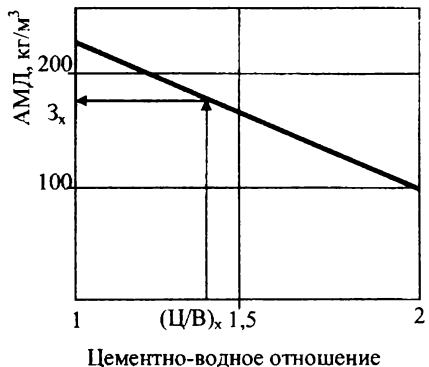
2. При введении АМД подвижность смеси следует сохранять постоянной, для чего приходится добавлять воду. Формование и твердение контрольных образцов с АМД производится по обычной схеме. Но температуру изотермии при пропаривании следует повысить с 80 до 90°С, а длительность изотермического прогрева с 6 до 8–9 часов. Это позволяет лучше выявить химическую активность АМД (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 АМД, по которой определяется оптимальная дозировка АМД. Если дозировки АМД приняты правильно, прочность бетона имеет максимум, а соответствующая ему дозировка АМД является оптимальной (рис.4.1):

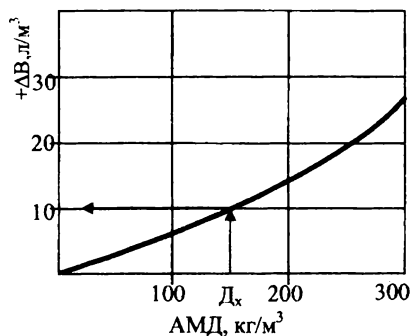
- зависимость дозировки АМД от Ц/В (рис. 4.2);
- прирост водопотребности смеси от расхода АМД (рис. 4.3);
- зависимость прочности от Ц/В для бетона без АМД и с оптимальными дозировками (рис. 4.4).



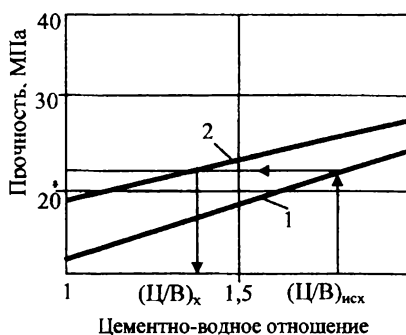
**Рисунок 4.1** – Зависимость прочности бетона от расхода АМД:  
1 – В/Ц = 0,6; 2 – В/Ц = 0,4



**Рисунок 4.2** – Зависимость оптимального расхода АМД от Ц/В



**Рисунок 4.3** – Влияние расхода АМД на водопотребность смеси



**Рисунок 4.4** – Зависимость прочности бетона от Ц/В:  
1 – бетон без АМД; 2 – бетон с АМД

3. Полученные зависимости позволяют перейти к назначению оптимальных составов бетона с АМД. Исходными являются составы бетонов, в которые планируется введение АМД. Определяется Ц/В – равнопрочного бетона с АМД (см. рис.4.4), по его величине – оптимальный расход АМД (см. рис. 4.1), а по расходу АМД  $-D_x + \Delta v_x$  – увеличение  $(Ц/В)_x$  водосодержания смеси с АМД (см. рис. 4.3). 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, АМД и щебня.

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

#### Оборудование и принадлежности

Технические весы, набор мерной металлической и стеклянной посуды, сферические чашки с лопатками для перемешивания, встряхивающий столик с малым конусом, не менее 3-х форм-балочек 4×4×16 см, пресс гидравлический 50-100 кН, линейки стальные, металлический стержень-штыковка  $\varnothing$  16 мм.

#### Порядок выполнения работы

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

Занятие 2. Проведение опытных замесов, формование образцов.

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

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое АМД?
2. Почему введение АМД в бетон позволяет снижать расход цемента?
3. Чем объясняется химическая активность АМД?

### **Лабораторная работа 5**

#### **Проектирование состава мелкозернистого бетона**

**Цель работы** – приобретение навыков по подбору состава мелкозернистого бетона и установление зависимости между прочностью бетона и соотношениями между его компонентами (Ц/П; В/Ц) для равноподвижных смесей.

#### **Основные понятия**

Для изготовления тонкостенных железобетонных конструкций сложной конфигурации, а также при отсутствии щебня и гравия применяют мелкозернистые бетоны. Для них характерны большая однородность и мелкозернистость структуры, высокое содержание цементного камня, отсутствие жесткого каменного скелета, повышенная пористость и удельная поверхность твердой фазы.

#### **Методика выполнения работы**

Характеристика и свойства применяемых материалов, подвижность бетонной смеси и прочностные показатели бетонов задаются преподавателем.

Расчет состава бетона производится по методу абсолютных объемов, но необходимо иметь в виду, что при уплотнении смеси возможно вовлечение пузырьков воздуха.

Предварительный состав бетона, обеспечивающий получение заданной подвижности цементно-песчанной смеси и прочности бетона, рассчитывают в следующем порядке.

1. Определяют водоцементное отношение, необходимое для получения бетона заданной прочности:

$$В/Ц = AR_{ц} / (R_{в} + 0,8AR_{ц}),$$

где В/Ц – водоцементное отношение, доли единицы;

А – коэффициент, равный 0,8 для высококачественных материалов, 0,7 – для материалов среднего качества и 0,65 – для цемента низких марок и мелкого песка; R<sub>ц</sub> – марка (активность) цемента, МПа; R<sub>с</sub> – проектная прочность бетона в возрасте 28 суток, выдержанного в нормальных условиях, МПа.

2. Определяют по графикам (рис. 5.1) соотношение между цементом и песком, обеспечивающее заданную подвижность (РК, мм) или жесткость (Ж, с) цементно-песчаной смеси при определенном В/Ц. Графики построены для мелкозернистого бетона на песке с модулем крупности 2,5. При использовании песков с модулем крупности менее 2,5 необходимо произвести корректировку соотношения между цементом и песком по графику, приведенному на рис. 5.2

3. При уплотнении изделий из мелкозернистого бетона прокатом, прессованием, тромбованием или центрифугованием расход цемента определяют по формуле

$$Ц = 1000 / (1/\rho_{ц} + В/Ц + n/\rho_{п}),$$

где Ц – расход цемента, кг на м<sup>3</sup>;

$\rho_{ц}, \rho_{п}$  – истинные плотности цемента и песка, кг/л;

n – доля песка, приходящаяся на долю цемента, определенная и скорректированная при необходимости по графикам.

При уплотнении изделий вибрированием расход цемента определяют по формуле:

$$Ц = (1000 - ВВ) / (1/\rho_{ц} + В/Ц + n/\rho_{п}),$$

где ВВ – объем вовлеченного воздуха, равный 20 л – для подвижной бетонной смеси на среднем и крупном песке, 30 л – на мелком песке, 50 л – для жесткой смеси на среднем и крупном песке, 70 л – то же на мелком песке.

1. Определяют расход воды:  $В = (В/Ц) \cdot Ц$ .

2. Рассчитывают расход песка:  $П = n \cdot Ц$ .

Объем лабораторного (пробного) замеса – 2 л. На пробных замесах проверяют подвижность цементно-песчаной смеси по распылу конуса в мм на встряхивающем столике (методика определения изложена в ГОСТ 310.4-81\*).

Если полученная подвижность смеси не соответствует заданной, то вносят поправки в состав бетона.

После этого определяют среднюю плотность свежесделанной бетонной смеси, подсчитывают фактический объем замеса, объем вовлеченного воздуха и устанавливают окончательный расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси. Среднюю плотность бетонной смеси определяют по методике СТБ 1544.

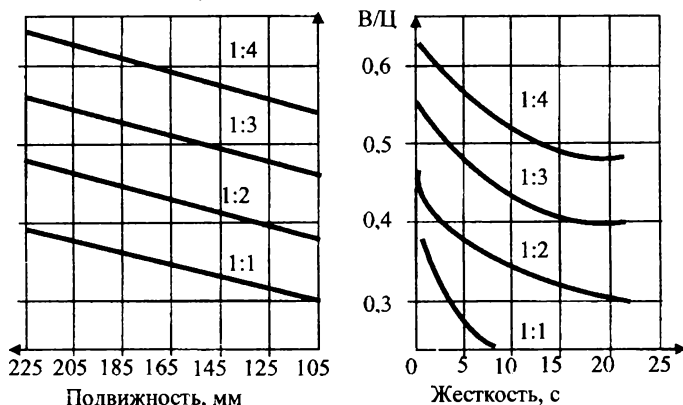
Объем вовлеченного воздуха определяют ориентировочно по формуле

$$VV = (1 - \rho_{\text{см}} / \rho_{\text{т}}) \cdot 100,$$

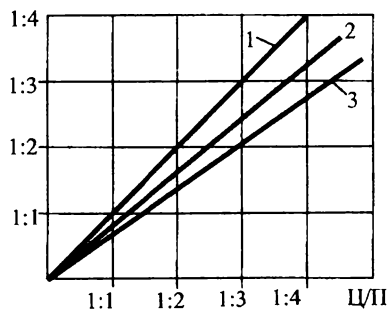
где  $VV$  – объем вовлеченного воздуха, %;

$\rho_{\text{т}}$  – теоретическая плотность бетонной смеси, равная сумме всех компонентов на  $1 \text{ м}^3$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{см}}$  – фактическая плотность бетонной смеси с вовлеченным воздухом, определяемая опытным путем,  $\text{кг}/\text{см}^3$ .



**Рисунок 5.1** – График для выбора соотношения между цементом и песком средней крупности



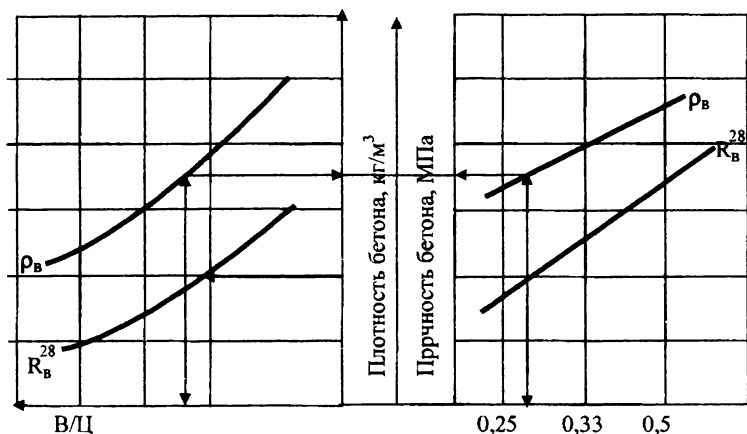
**Рисунок 5.2** – График для корректировки соотношения между цементом и мелким песком: 1 –  $M_{кр} = 2,5$ ; 2 –  $M_{кр} = 1,5$ ; 3 –  $M_{кр} = 0,75$

Окончательный расход материалов определяют по формулам

$$W = 1000 \cdot Ц_3 / V_3, \quad П = 1000 \cdot П_3 / V_3, \quad B = 1000 \cdot B_3 / V_3,$$

где Ц<sub>3</sub>, П<sub>3</sub>, В<sub>3</sub> – расход соответствующего компонента на лабораторный замес, кг;  
V<sub>3</sub> – фактический объем пробного замеса, л.

Из приготовленной цементно-песчанной смеси формуют образцы-балочки 4×4×16 см, которые до испытания либо твердеют в естественных условиях, либо подвергаются тепловлажностной обработке. После затвердения образцы взвешивают, замеряют их геометрические размеры, подсчитывают среднюю плотность бетона и испытывают сначала на изгиб, а получившиеся половинки балочек – на сжатие. Подсчитав плотность бетона, строят графическую зависимость плотности и прочности бетона от водоцементного отношения и соотношения между цементом и песком, по которым делают соответствующие выводы о качестве подобранных составов мелкозернистого бетона (рис. 5.3).



**Рисунок 5.3** – Зависимость свойств мелкозернистого бетона от состава смеси

После построения сводного графика (рис. 5.3) по нему определяется фактический состав мелкозернистого бетона заданной прочности ( $R_c^{28}$ ). Построение на графике показано стрелками, которые начинаются с точки, обозначающей заданную прочность ( $R_c^{28}$ ). Определяется В/Ц и Ц/П отношения и средняя плот-



ность мелкозернистого бетона. В выводах следует дать объяснение, почему полученный состав отличается от расчетного, если такое наблюдается.

### **Оборудование и принадлежности**

Торговые весы с набором разновесов, набор мерной металлической и стеклянной посуды, сферические чашки с лопатками для перемешивания, встряхивающий столик, формы-балочки, пресс гидравлический 50-100 кН, прибор для определения прочности при изгибе.

Работа рассчитана на три занятия (6 ч). На первом занятии производят расчет составов бетонов различных марок, но с равной удобоукладываемостью бетонной смеси. На втором – приготовление и испытание бетонной смеси. На третьем – испытание образцов и построение графической зависимости прочности и плотности бетона от соотношений между его компонентами (Ц/П, В/Ц).

### **Контрольные вопросы**

1. Преимущества и недостатки мелкозернистых бетонов в сравнении с обычными бетонами.
2. Почему при использовании мелких песков снижается прочность бетона?
3. Почему для каждого состава бетона имеется оптимальное значение В/Ц, при котором получают наивысшие значения прочности и плотности бетона?
4. Чем объяснить, что при обычном вибрировании песчаной смеси вовлекается пузырьков воздуха больше, чем при других способах уплотнения?
5. Почему с увеличением доли песка в смеси снижается средняя плотность бетона?
6. Какими способами можно уменьшить объем вовлеченного воздуха?

## Лабораторная работа 6

### Подбор состава легкого бетона на пористых заполнителях

**Цель работы** – при минимальном расходе цемента подобрать состав легкого бетона, обеспечивающий заданные удобоукладываемость смеси, плотность и прочность бетона.

#### Основные понятия

В отличие от обычного (тяжелого) бетона, подбор состава легкого бетона на пористых заполнителях осуществляется расчетно-экспериментальным путем из-за непостоянства свойств пористого заполнителя по насыпной плотности, прочности зерен, пористости и водопотребности.

1. Применяемые пористые заполнители (керамзит и перлит) должны быть рассеяны по фракциям: перлит на (0–1,2) и (1,2–5) мм, керамзит – на (5–10) мм и (10–20) мм. Причем фракция (5–10) мм может быть смешанной, состоящей из перлита и керамзита.

2. Расчет состава ведется на определенную подвижность (жесткость) бетонной смеси, проектную прочность и плотность бетона и наибольшую крупность зерен керамзита.

3. Ориентировочный расход цемента по массе для соответствующей прочности бетона в зависимости от прочности зерен применяемого керамзита может быть принят из табл. 6.1.

**Таблица 6.1** – Ориентировочный расход цемента для бетонов различных прочностей на пористом песке, кг на м<sup>3</sup>

Прочность бетона на сжатие, МПа	Марка керамзита по прочности зерен			
	100	125	150	200
8	220	-	-	-
12	240	220	-	-
16	310	280	265	255
25	375	350	330	310

4. Максимальная плотность скелета бетона обеспечивается правильным выбором соотношения между фракциями пористого заполнителя. Расход заполнителя по объему на 1 м<sup>3</sup> бетона определяют из табл. 6.2.

**Таблица 6.2** – Расход отдельных фракций заполнителя по объему на 1 м<sup>3</sup> бетона, л

Наибольшая крупность зерен керамзита, мм	Расход цемента, кг	Расход заполнителя на м <sup>3</sup> бетона, л				Общий расход заполнителя, л
		Фракции заполнителя, мм				
		0-1,2	1,2-5	5-10	10-20	
20	250	290	350	290	430	1360
40	350	260	320	290	430	1300

5. Ориентировочный расход воды при использовании керамзитового гравия и перлитового песка для подвижных смесей – 250–300 л на 1 м<sup>3</sup> смеси, для жестких – 200–250 л/м<sup>3</sup>.

#### Методика выполнения работы

Группа (подгруппа) разбивается на три звена.

1. Каждое звено prepares из фракционированных заполнителей сухую смесь на 4 литра бетонной смеси.

Массовая доля каждой фракции может быть подсчитана по формуле

$$П_i = 0,004 \cdot V_i \cdot \rho_{ни},$$

где  $П_i$  – расход по массе соответствующей фракции заполнителей, кг;

$V_i$  – расход по объему соответствующей фракции заполнителей, принятой по табл. 6.2;

$\rho_{ни}$  – насыпная плотность соответствующей фракции, кг/л.

2. Одно звено добавляет долю цемента по массе, выбранного из табл. 6.1. Второе звено вводит цемента на 20% больше выбранного из таблицы, а третье – на 20% меньше рекомендованного (на 4 л бетонной смеси).

3. В сухую смесь заполнителей и цемента вливают 2/3 доли ориентировочно принятой воды. Оставшуюся долю воды добавляют постепенно и каждый раз определяют среднюю плотность виброуплотненной бетонной смеси. Оптимальная водопотребность каждого состава будет определена по минимальному значению коэффициента выхода бетонной смеси, что соответствует ее максимальной плотности (рис. 6.1). Плотность бетонной смеси определяют по методике СТБ 1544-2005. Удобоукладываемость бетонной смеси проверяют по СТБ 1544-2005.

4. Из приготовленной бетонной смеси формуют по три образца в виде кубов размером ребра куба 100 мм, снабженных этикеткой, которые подвергают пропариванию или хранят до испытания на прочность в камере нормального твердения.

5. После затвердения образцы взвешивают, измеряют их геометрические размеры и определяют среднюю плотность бетона по ГОСТ 12730.1. Прочность при сжатии затвердевших образцов определяют по ГОСТ 10180-90.

Полученную прочность бетона приводят к базовому размеру образцов и возрасту 28 суток.

$$R_c^{28} = R_c^n \cdot \alpha \cdot \frac{\lg 28}{\lg n},$$

$R_c^{28}$  – прочность бетона в 28 дневном возрасте, приведенная к базовому размеру образца, МПа;

$R_c^n$  – прочность бетона в возрасте «n» дней, МПа;

$\alpha$  – масштабный коэффициент,  $\alpha = 0,95$ .

6. Для определения влажности бетона по ГОСТ 12730.2-78 из разрушенных образцов отбирают усредненную пробу массой 1 кг, измельчают ее до размеров не более 15 мм и высушивают при температуре  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  до постоянной массы. Среднюю плотность бетона в сухом состоянии подсчитывают по формуле

$$\rho_c = \rho_{c,в} \cdot 100 / (100 + W),$$

где  $\rho_c$  – средняя плотность бетона в сухом состоянии,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_{c,в}$  – средняя плотность бетона во влажном состоянии,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$W$  – влажность бетона, %.

7. После определения прочности бетона и его средней плотности в сухом состоянии строят совмещенные графические зависимости водонепотребности бетонной смеси, прочности и средней плотности бетона от расхода цемента (рис. 6.1).

Сводный график считается рабочим для определения расхода всех компонентов легкобетонной смеси с целью получения бетона заданной прочности.

8. Для получения требуемой прочности бетона ( $R_x$ ) по графику определяют расход цемента ( $\Pi_x$ ) и соответствующий ему расход воды ( $B_x$ ).

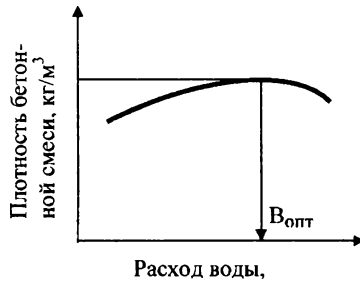


Рисунок 6.1 – Зависимость плотности бетонной смеси от расхода воды

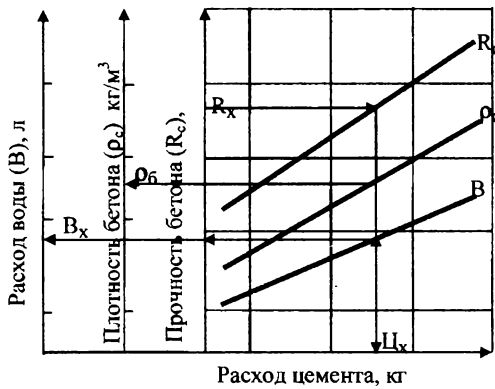


Рисунок 6.2 – Зависимость свойств смеси и бетона от расхода цемента

9. Расход керамзитового гравия и перлитового песка определяют совместно, решая два уравнения: абсолютного объема свежееуложенной бетонной смеси и плотности затвердевшего бетона в сухом состоянии.

$$K/\rho_k + П/\rho_p + Ц_x/\rho_c + B_x = 1000;$$

$$\rho_{с.х.} = K + П + 1,5Ц_x,$$

где  $K, П$  – расход керамзита и перлита на  $1 \text{ м}^3$ , кг;

$Ц_x, B_x$  – расход цемента и воды, определенный по рабочему графику;

$\rho_{с.х.}$  – плотность сухого бетона, определенного по графику,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_k, \rho_p$  – плотность зерен керамзита и перлита в цементном тесте,  $\text{кг/л}$ ;

$\rho_c$  – плотность цемента,  $\text{кг/л}$ .

Таким образом, расход керамзитового гравия по массе подсчитывается по формуле:

$$K = \frac{\rho_k}{\rho_{\Pi} - \rho_k} \cdot [\rho_{\Pi} \cdot (1000 - B_x) + \rho_{\Pi} \frac{\Pi_x}{\rho_{\Pi}} - \rho_{\text{бк}} + 1,15\Pi_x],$$

а расход перлитового песка –

$$\Pi = \rho_{\text{бк}} - K - 1,15\Pi_x.$$

**Выводы.** Используя построенный сводный график (рис. 6.2) можно подобрать составы легкого бетона на использованных материалах в интервале полученных прочностей (плотностей) бетона для конкретной плотности или прочности.

### Оборудование и принадлежности

Торговые весы с набором разновесов, набор мерной металлической и стеклянной посуды, байки для замесов смеси, мастерки, мерные линейки, формы с ребром куба 10 см, пресс, стандартный конус, прибор Красного.

### Порядок выполнения работы

Лабораторная работа рассчитана на 3 занятия. На первом занятии студенты определяют насыпную плотность каждой фракции и плотность зерен перлита и керамзита, производят расчет состава, определяют оптимальный расход воды. На втором занятии приготавливают смесь, определяют удобоукладываемость и среднюю плотность ее, формируют образцы. На третьем занятии определяют среднюю плотность и прочность образцов после пропаривания или естественного твердения и влажность соответствующего бетона, строят рабочий график зависимости водопотребности смеси, плотности и прочности бетона от расхода цемента, по которому можно определять расход материалов для бетона, обеспечивающих соответствующую прочность или плотность бетона (рис. 6.2).

### Контрольные вопросы

1. В чем отличие проектирования состава легкого бетона от обычного (тяжелого)?
2. Преимущества использования пористых заполнителей в бетонах.
3. От чего зависит прочность и плотность легкого бетона?

## Лабораторная работа 7

### Изучение режимов и процессов уплотнения бетонной смеси

**Цель работы** – определение оптимального времени вибрационного воздействия на бетонную смесь в зависимости от удобоукладываемости последней и определение зависимости длительности вибрационного воздействия на плотность отформованной бетонной смеси, плотность и прочность затвердевшего бетона.

#### Основные понятия

Использование жестких и малоподвижных бетонных смесей с минимальными содержаниями воды затворения позволяет получать бетоны высокого качества. Применение малоподвижных и жестких бетонных смесей при изготовлении сборных бетонных и железобетонных изделий обуславливает необходимость использования эффективных средств уплотнения, одним из которых является вибрационное воздействие на смесь.

При формировании бетонов из подвижных смесей вибрационное воздействие на них следует рассматривать как разновидность механизации укладки смесей в форму. Поэтому удлинение срока воздействия вибрации на эти смеси может привести к их расслоению и снижению механической прочности бетона.

#### Методика выполнения работы

1. Установление оптимального времени вибрационного воздействия на бетонную смесь при заданной ее удобоукладываемости (по указанию руководителя лабораторной работы) производится на смеси рабочего объема, равного 10 л в уплотненном состоянии. После приготовления бетонной смеси определяется ее удобоукладываемость с помощью конуса или прибора для определения жесткости по СТБ 1544-2005. При расхождении фактической удобоукладываемости смеси и заданной более чем на  $\pm 10\%$  производится корректировка увеличением расхода цементного теста, если удобоукладываемость ниже, или увеличением расхода заполнителей, если удобоукладываемость выше заданной.

2. При достижении требуемой удобоукладываемости смесь помещается в формы типа ФК-100. При этом для определения средней плотности свежееуложенной бетонной смеси необходимо предварительно взвесить пустые формы.

Затем каждые две формы со смесью подвергаются вибрации. Длительность вибрационного воздействия на первую пару форм назначается в зависимости от удобоукладываемости смеси. Например, жесткие смеси подвергаются вибрации в течение 15 с, малоподвижные – 10 с и подвижные – 5 с. Время вибрационного воздействия на каждую последующую пару форм со смесью должно быть увеличено на величину, также зависящую от удобоукладываемости смеси: жестких – на 15 с, малоподвижных – на 10 с и подвижных – на 5 с.

3. После формирования бетонной смеси определяется фактическая средняя плотность всех образцов. Для этого необходимо определить массу форм с уплотненной в них бетонной смесью.

$$\rho_{\text{в.ф.}} = \frac{m_2 - m_1}{V_{\text{ф}}},$$

где  $\rho_{\text{в.ф.}}$  – плотность фактическая бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

3. После определения фактической средней плотности отформованной смеси вычисляется коэффициент уплотнения по формуле

$$K_{\text{упл}} = \rho_{\text{ф}} / \rho_{\text{т}},$$

где  $\rho_{\text{ф}}$  – фактическая средняя плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{т}}$  – теоретическая средняя плотность отформованной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_{\text{т}} = (\text{Ц} + \text{П} + \text{Щ} + \text{В}) / (\text{Ц} / \rho_{\text{ц}} + \text{П} / \rho_{\text{п}} + \text{Щ} / \rho_{\text{щ}} + \text{В}),$$

где Ц, П, Щ, В – масса цемента, песка, щебня (гравия), воды, кг/м<sup>3</sup> смеси;

$\rho_{\text{ц}}, \rho_{\text{п}}, \rho_{\text{щ}}$  – их истинные плотности, кг/м<sup>3</sup>.

Для построения графиков в процессе испытания должна быть заполнена таблица результатов по предлагаемой форме (таблица 7.1).

5. После твердения определяется прочность бетона в образцах и устанавливается графическая зависимость прочность бетона от коэффициента уплотнения, прочность бетона от времени уплотнения для каждой смеси.

**Таблица 7.1 – Результаты эксперимента**

Номер пары образцов	Масса пустой формы, кг	Масса формы со смесью, кг	Коэффициент уплотнения	Удобоукладываемость, см или с.		Время уплотнения, с	Прочность при сжатии, МПа
				задан.	опытн.		



6. По данным испытания должны быть сделаны выводы о влиянии длительности вибрационного воздействия при формировании бетонной смеси на качество ее уплотнения и установлена зависимость между оптимальным временем вибрирования бетонной смеси и ее удобоукладываемостью.

### Оборудование и принадлежности

Весы технические до 30 кг, лабораторная виброплощадка, частота колебаний  $(2900 \pm 100)$  мин<sup>-1</sup>, амплитуда  $(0,5 \pm 0,1)$  мм; стандартный конус, прибор для определения жесткости, байки для замесов, мастерки, наборы мерной металлической и стеклянной посуды, мерные линейки, формы с ребром куба 10 см, пресс 50–100 кН.

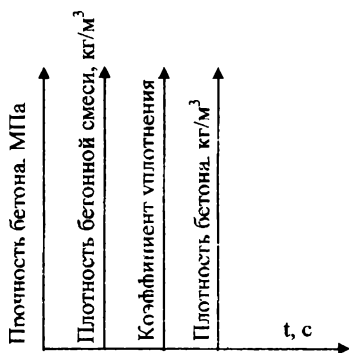


Рисунок 7.1 – Время уплотнения

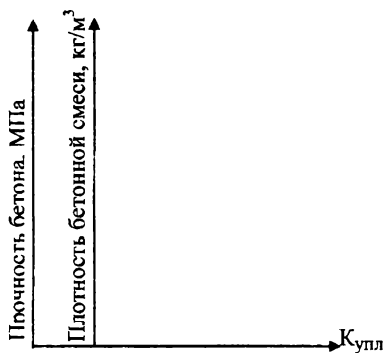


Рисунок 7.2 – Коэффициент уплотнения

### Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на два занятия. Группа делится на три звена. Каждое звено работает с одним видом смеси. На первом занятии готовится бетонная смесь, заданного преподавателем состава, она доводится до требуемой удобоукладываемости и формируются серии образцов с разным временем уплотнения (три-пять). Определяется фактическая средняя плотность бетонной смеси, коэффициенты уплотнения.

На втором занятии определяется прочность затвердевшего бетона и приводится к базовому размеру образцов и возрасту 28 дней. Заполняется таблица, строятся графики и делаются выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие факторы необходимо учитывать при выборе удобоукладываемости бетонной смеси?
2. Назовите основное свойство уплотненной бетонной смеси.
3. Чем характеризуется качество уплотнения бетонной смеси?
4. От каких факторов зависит эффект виброуплотнения?
5. Как определить продолжительность вибрирования бетонной смеси в лабораторных и производственных условиях?
6. Как изменяются параметры вибрационного воздействия на бетонную смесь в зависимости от ее удобоукладываемости для достижения качественного уплотнения?

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Производство сборных железобетонных изделий: справочник / Г.И. Бердичевский, А.П. Васильев, Л.А. Малинина [и др.]; под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королева. – М.: Стройиздат, 1989. – 447 с.
2. Смеси бетонные. Методы испытаний: СТБ 1544-2005. – Введен 01.07.2005. – Мн.: Минстройархитектуры, 2005. – 20 с.
3. Руководство по применению химических добавок в бетоны / НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980. – 55 с.
4. Добавки для бетонов. Общие технические условия: СТБ 1112-98. – Введен 01.01.1999. – Мн.: Минстройархитектуры, 1998. – 23 с.
5. Бетон и железобетон. 1988. - № 1. – С. 31.
6. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций /НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 80 с.
7. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии: ГОСТ 310.4-81\*. – Взамен ГОСТ 310.4 – 76; введен 1983-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – с. 14.
8. Руководство по подбору составов тяжелого бетона /НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 104 с.
9. Бетоны. Метод определения плотности: ГОСТ 12730.1-78.
10. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90. – Введен 1991-01-01. – М.: Государственный строительный комитет СССР: Изд-во стандартов, 1990. – 45 с.
11. Бетоны. Метод определения влажности: ГОСТ 12730.2-78.

*Учебное издание*

Павлова Инесса Павловна  
Каленюк Татьяна Викторовна

## **ОБЩЕЕ БЕТОНОВЕДЕНИЕ**

Лабораторный практикум  
по курсу “Общее бетоноведение”  
для студентов специальности 1-70 01 01  
“Производство строительных изделий и конструкций”

Ответственный за выпуск: Павлова И.П.  
Редактор: Боровикова Е.А.  
Компьютерная вёрстка: Романюк И.Н., Боровикова Е.А.  
Корректор: Никитчик Е.В.

ISBN 978-985-493-363-4



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 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

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

Усл. печ. л. 2,09. Уч. изд. л. 2,25. Заказ № 378.

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