



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов

БЕТОНОВЕДЕНИЕ

Методические указания к лабораторным работам
для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2020

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2020

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 691.3
ББК 38.33
Б54

Составители:

В.Г. Соловьев, Б.И. Булгаков, Н.А. Гальцева, И.С. Пуляев

Рецензент — кандидат технических наук *В.А. Ушков*,
доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов НИУ МГСУ

Б54 **Бетоноведение** [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / [сост. : В.Г. Соловьев и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов. — Электрон. дан. и прогр. (3,3 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru>. — Загл. с титул. экрана.

Приведены рекомендации по выполнению лабораторных работ и подготовке отчетов по дисциплине «Бетоноведение» для обучающихся по программам бакалавриата.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

Учебное электронное издание

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2020

Редактор, корректор *Л.М. Волкова*
Компьютерная правка и верстка *Е.В. Жуковой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2010, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 25.08.2020. Объем данных 3,3 Мб.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское ш., 26

Издательство МИСИ – МГСУ
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95,
e-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Лабораторная работа № 1. «Тяжелые бетоны»	6
1.1. Проектирование состава тяжелого бетона	6
1.2. Определение свойств бетонных смесей	7
1.2.1. Определение удобоукладываемости	7
1.2.2. Определение пористости	9
1.2.3. Определение средней плотности	10
1.3. Определение физико-механических свойств тяжелых бетонов	11
1.3.1. Определение средней плотности	12
1.3.2. Определение прочности на сжатие	12
1.3.3. Определение прочности на растяжение при изгибе	13
1.4. Определение эксплуатационных свойств тяжелых бетонов	14
1.4.1. Определение морозостойкости	14
1.4.2. Определение водонепроницаемости	16
Лабораторная работа № 2. «Мелкозернистые бетоны»	17
2.1. Проектирование состава мелкозернистого бетона	17
2.2. Определение свойств мелкозернистых бетонных смесей	19
2.3. Определение физико-механических свойств мелкозернистых бетонов	20
2.4. Определение эксплуатационных свойств мелкозернистых бетонов	20
Лабораторная работа № 3. «Легкие бетоны»	21
3.1. Проектирование состава легкого бетона	21
3.2. Определение свойств легких бетонных смесей	24
3.3. Определение физико-механических свойств легких бетонов	24
3.4. Определение эксплуатационных свойств легких бетонов	24
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	26

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания предназначены для обучающихся по программе бакалавриата, выполняющих лабораторный практикум по дисциплине «Бетонведение».

Целью выполнения лабораторных работ является:

- формирование у студентов практических навыков по проектированию составов бетонов различных видов;
- освоение студентами существующих методик определения свойств бетонных смесей, физико-механических и эксплуатационных свойств бетонов;
- изучение существующей нормативно-технической документации по бетонведению;
- изучение современных эффективных методов оптимизации составов бетонов различных видов, а также методов целенаправленного изменения свойств бетонных смесей и бетонов.

При проведении данных лабораторных работ перед обучающимися ставится задача освоения существующих методов проектирования составов тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов, а также практических методик по определению свойств бетонных смесей и бетонов указанных видов в соответствии с действующими нормативными документами.

Лабораторная работа № 1

«Тяжелые бетоны»

1.1. Проектирование состава тяжелого бетона

Цель работы: освоить методику проектирования составов тяжелых бетонов.

Для выполнения работы студенческая группа делится на три бригады по 7—10 человек, каждая из которых выполняет свое задание. Преподаватель выдает каждой бригаде задание на проектирование бетона с заданными прочностными характеристиками, включая требование к бетонной смеси по удобоукладываемости. К заданию на разработку состава тяжелого бетона прилагается перечень сырьевых материалов, доступных для изготовления тяжелых бетонов.

На первом этапе студентам каждой бригады требуется определить свойства сырьевых материалов (цемент, песок и щебень), которые будут использованы для приготовления бетонных смесей, необходимых для проведения расчетов. К таким свойствам относятся: для песка — модуль крупности, истинная плотность и водопотребность, для щебня — наибольший размер зерен, а также насыпная и истинная плотности, для цемента — истинная плотность и активность. Кроме того, на основании анализа требований ГОСТ 26633-2015 к сырьевым материалам необходимо установить их пригодность для изготовления бетонов.

После определения свойств сырьевых материалов каждая бригада приступает к проектированию номинальных составов бетонов по существующей методике.

Разработанный состав является номинальным и должен быть представлен в виде расхода сырьевых компонентов — цемента, воды, щебня и песка (условные обозначения Ц, В, Щ и П) в кг на один кубический метр бетонной смеси.

После расчета состава бетона каждая бригада делает пробный замес объемом 10 л, на котором определяет удобоукладываемость полученной бетонной смеси. Расчет количества материалов, необходимых для пробного замеса, выполняется по формуле 1.1:

$$m_i = M_i \cdot V \cdot 1,1, \quad (1.1)$$

где m_i — масса отдельных сырьевых компонентов (цемента, песка, щебня и воды) для приготовления бетонной смеси заданного объема, кг;

M_i — расход отдельных сырьевых компонентов на 1 м³ бетонной смеси номинального состава, кг;

V — объем пробного замеса, м³.

Для приготовления пробного замеса бетонной смеси отвешивают необходимое количество сырьевых материалов и смешивают их в бетоносмесителе принудительного действия БС-ЛЦ-10. Перед смешиванием компонентов необходимо смочить поверхность чаши и лопасти бетоносмесителя. Рекомендован следующий порядок загрузки компонентов в бетоносмеситель: сначала щебень и песок, перемешивание 10 секунд; затем цемент, перемешивание 10 секунд, и после них вода. После этого производят перемешивание всех компонентов бетонной смеси в течение двух-трех минут с последующей остановкой бетоносмесителя на одну минуту, а затем еще раз перемешивают бетонную смесь в течение одной минуты. Полученную указанным способом бетонную смесь можно использовать для проведения испытаний.

1.2. Определение свойств бетонных смесей

1.2.1. Определение удобоукладываемости

Цель работы: научиться определять удобоукладываемость бетонных смесей.

Приборы и материалы: конус нормальный; линейка стальная; воронка загрузочная; секундомер; гладкий металлический лист размером 700×700 мм; прямой металлический гладкий стержень с округленными концами диаметром 16 мм и длиной 600 мм; установка типа Вебе; виброплощадка лабораторная.

Общие сведения

По консистенции бетонные смеси подразделяют на три типа: бетонные смеси тяжелого бетона (БСТ); бетонные смеси мелкозернистого бетона (БСМ); бетонные смеси легкого бетона (БСЛ). Бетонные смеси должны обеспечивать получение бетонов с заданными показателями качества (бетонные смеси заданного качества) либо иметь заданный состав (бетонные смеси заданного состава).

Бетонные смеси характеризуют следующими технологическими показателями качества: удобоукладываемостью, средней плотностью, расслаиваемостью (по водоотделению и раствороотделению), пористостью, температурой и сохраняемостью указанных свойств во времени.

В зависимости от показателя удобоукладываемости бетонные смеси подразделяют на группы: жесткие (Ж), подвижные (П) и растекающиеся (Р). Группы подразделяют на марки по удобоукладываемости в соответствии с данными, представленными в табл. 1.1–1.3.

Таблица 1.1

Марки растекающихся бетонных смесей

Марка	Расплыв конуса, см
P1	Менее 35
P2	35—41
P3	42—48
P4	49—55
P5	56—62
P6	Более 62

Таблица 1.2

Марки подвижных бетонных смесей

Марка	Осадка конуса, см
П1	1—4
П2	5—9
П3	10—15
П4	16—20
П5	Более 20

Таблица 1.3

Марки жестких бетонных смесей

Марка	Жесткость, с
Ж1	5—10
Ж2	11—20
Ж3	21—30
Ж4	31—50
Ж5	Более 50

Определение подвижности и расплыва бетонной смеси с помощью нормального конуса

Для определения подвижности бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупностью до 40 мм включительно применяют нормальный конус, а с зернами наибольшей крупностью более 40 мм — увеличенный. При подготовке конуса и приспособлений к испытаниям все соприкасающиеся с бетонной смесью поверхности следует очистить и увлажнить.

Конус устанавливают на гладкий лист и заполняют его бетонной смесью П1...П3 через воронку в три слоя одинаковой высоты. Каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем 25 раз. Штыкование осуществляют по спирали к центру. Бетонной смесью марок по подвижности П4 и П5 конус заполняют в один прием на всю высоту и штыкуют 10 раз. Конус во время заполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу.

После уплотнения бетонной смеси воронку снимают, избыток смеси срезают линейкой вровень с верхними краями конуса и заглаживают поверхность бетонной смеси. Время от начала заполнения конуса до окончания испытаний не должно быть больше трех минут.

Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси в строго вертикальном направлении и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на подъем конуса, должно составлять 5—7 сек.

Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень поверх формы и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до верха бетонной смеси с помощью линейки с погрешностью не более 0,5 см.

Если после снятия конуса бетонная смесь разваливается, то измерение не выполняют, и испытание повторяют на новой пробе бетонной смеси.

Осадку конуса (ОК) бетонной смеси вычисляют с округлением до 1,0 см как среднеарифметическое значение результатов двух определений из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 1 см при $ОК \leq 9$ см; на 2 см при $ОК = 10...15$ см; на 3 см при $ОК \geq 16$ см. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

Распływ конуса бетонной смеси оценивают по нижнему диаметру лепешки в сантиметрах, образовавшейся в результате расплыва бетонной смеси при определении подвижности по осадке нормального конуса, заполняемого как для смесей марок П4 и П5.

Распływ конуса бетонной смеси определяют измерением металлической линейкой диаметра расплывшейся лепешки в двух взаимно перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 0,5 см.

Распływ конуса бетонной смеси также определяют дважды. Общее время испытания с начала заполнения конуса бетонной смесью при первом определении и до момента измерения расплыва конуса при втором определении не должно превышать 10 мин.

Распływ конуса бетонной смеси вычисляют с округлением до 1,0 см как среднеарифметическое значение результатов двух определений расплыва конуса из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 3 см. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

Определение жесткости

Для определения жесткости бетонной смеси используют установку типа Вебе, состоящую из цилиндрического сосуда, на котором закреплено устройство для измерения осадки бетонной смеси в виде направляющего штатива, штанги с шайбой и диска с шестью отверстиями, закрепленного на указанном держателе, а также конуса-формы. Данную установку собирают и крепко закрепляют на виброплощадке.

Заполнение конуса-формы бетонной смесью, уплотнение смеси и снятие с отформованной смеси конуса-формы осуществляют так же, как и для смесей марок П1—П3.

Поворотом штатива диск устанавливают над отформованным конусом бетонной смеси и плавно опускают его до соприкосновения с ее поверхностью.

Затем одновременно включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за выравниванием и уплотнением бетонной смеси. Смесь вибрируют до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста или цементного молочка из любых двух отверстий диска. В этот момент выключают секундомер и прекращают вибрирование. Измеренное время в секундах характеризует жесткость бетонной смеси.

Жесткость бетонной смеси определяют дважды. Общее время испытания от начала заполнения формы при первом определении и до окончания вибрирования при втором определении не должно превышать 10 мин.

Жесткость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с, как среднеарифметическое значение результатов двух определений жесткости из одной пробы смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

При оценке соответствия полученных результатов проектным необходимо учитывать допускаемые отклонения полученных величин, которые не должны превышать значений, приведенных в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Допускаемые отклонения заданных значений показателей
удобоукладываемости

Наименование показателя удобоукладываемости	Значение	Допуск
Распływ конуса, см	Все значения	± 3
Осадка конуса, см	До 10	± 1
	Более 10	± 2
Жесткость, с	Более 10	± 3
	До 10	± 2

1.2.2. Определение пористости

Цель работы: научиться определять объем вовлеченного воздуха в тяжелых бетонных смесях.

Приборы и материалы: линейка стальная; воронка загрузочная; компрессионный поромер (54-C0170/*FControls* или его аналог объемом 7 л); прямой металлический гладкий стержень с округленными концами диаметром 16 мм и длиной 600 мм; виброплощадка лабораторная.

Общие сведения. Пористость бетонной смеси оценивают следующими двумя показателями: объемом воздуха или газа, содержащегося в уплотненной бетонной смеси, и объемом межзерновых пустот.

Объем вовлеченного воздуха определяют в бетонных смесях на плотных и пористых заполнителях, объем межзерновых пустот — в легкобетонных смесях на пористых заполнителях.

Объем вовлеченного воздуха определяют экспериментальным или расчетным методом. Объем вовлеченного воздуха в смеси на плотном заполнителе определяют объемным или компрессионным методом (при помощи объемомера или поромера соответственно), а на пористом заполнителе — только объемным методом.

Ход работы: объем вовлеченного воздуха в ходе работы будет определяться компрессионным методом с помощью поромера 54-C0170/*F Controls*. Чаша поромера имеет объем 7 л.

Бетонную смесь укладывают в чашу поромера и уплотняют в зависимости от ее удобоукладываемости. Чашу заполняют бетонной смесью слоями высотой не более

100 мм каждый. Затем каждый слой уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом 30 раз. Штыкование проводят равномерно по спирали от краев формы к ее середине.

При уплотнении бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1, П2, П3, Ж1 чашу с уложенной и уплотненной штыкованием бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и вибрируют до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности с появлением на ней тонкого слоя цементного теста.

При уплотнении бетонных смесей марок по удобоукладываемости Ж2, Ж3, Ж4, Ж5 с использованием виброплощадки на форму закрепляют насадку, устанавливают на поверхность бетонной смеси пригруз, обеспечивающий давление $(0,004 \pm 0,0005)$ МПа, и вибрируют ее до прекращения оседания пригруза и дополнительно еще 5—10 с.

Уплотнение бетонных смесей марок по удобоукладываемости П4 и П5 проводят вручную с применением штыковки без последующего вибрирования.

После окончания уплотнения уровень бетонной смеси должен превышать край чаши.

После уплотнения излишек бетонной смеси срезают стальной линейкой. Затем край чаши тщательно очищают от бетонной смеси, устанавливают на чаше верхнюю часть прибора и прижимают ее накладными замками, одновременно закрывая противоположную пару защелок. Сливные вентили при этом должны быть открыты.

При помощи воронки через сливной вентиль в прибор заливают воду до того уровня, пока вода не потечет из противоположно расположенного сливного вентиля, после чего сливные вентили закрывают. При помощи ручного насоса в приборе поднимают давление до тех пор, пока стрелка манометра не достигнет начальной красной отметки. Положение стрелки манометра регулируется откручивающимся клапаном.

После установки в приборе первоначального давления необходимо нажать и держать рычажный клапан в течение 5 сек., затем несколько раз постучать по чаше, встряхнуть прибор и повторно нажать и удерживать клапан.

После окончания испытания необходимо зафиксировать значение объема вовлеченного воздуха в бетонной смеси по стрелке градуированного манометра с точностью до 0,1 %.

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. При большем расхождении определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

При оценке соответствия полученных результатов проектным необходимо учитывать, что допустимое отклонение пористости от проектного значения составляет $\pm 1\%$.

1.2.3. Определение средней плотности

Цель работы: научиться определять среднюю плотность бетонных смесей.

Приборы и материалы: линейка стальная; весы электронные; виброплощадка; сосуды металлические цилиндрические объемом 1 и 5 л.

Ход работы

В зависимости от максимальной крупности зерен фракции заполнителя 20 или 40 мм для испытания берутся цилиндрические мерные сосуды объемом 1 или 5 л соответственно. Перед началом испытания мерный сосуд взвешивают с точностью до 1 г. Бетонную смесь помещают в сосуд и уплотняют в зависимости от марки по удобоукладываемости по методике, приведенной в п. 1.2.2. После чего излишки бетонной смеси убираются, а емкость с бетонной смесью взвешивается.

Средняя плотность бетонной смеси $\rho_{см}$, кг/м³, рассчитывают по формуле 1.2:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{m - m_1}{V} 1000, \quad (1.2)$$

где m — масса емкости с бетонной смесью, г;

m_1 — масса емкости без смеси, г;

V — объем емкости, см³.

Среднюю плотность каждой пробы бетонной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 10 кг/м³ как среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 2 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

Оформление результатов. Полученные результаты испытаний по определению свойств бетонных смесей записываются в отчет о лабораторной работе в произвольной форме. При оценке соответствия полученных результатов проектным необходимо учитывать, что допустимое отклонение средней плотности бетонной смеси от проектных требований составляет ± 20 кг/м³. В качестве проектных требований к средней плотности бетонных смесей принимается их расчетная плотность, определяемая по формуле 1.3:

$$\rho_{\text{пр,см}} = Ц + В + П + Щ, \quad \text{кг/м}^3. \quad (1.3)$$

На основании полученных результатов делают вывод о соответствии полученных данных проектным требованиям и в случае несоответствия дают предложения о количественной корректировке разработанного состава тяжелого бетона.

1.3. Определение физико-механических свойств тяжелых бетонов

Физико-механические свойства бетонов (прочность, плотность, водопоглощение и пр.) определяются на контрольных образцах-кубах или призмах. Минимальный допускаемый размер контрольных образцов зависит от максимальной крупности заполнителя и составляет 100×100×100 мм, 100×100×400 мм и 150×150×150 мм, 150×150×600 мм при максимальном размере зерен заполнителя 20 и 40 мм соответственно. Контрольные образцы бетона формируются в специальных металлических формах. Перед укладкой бетонной смеси форма должна быть смазана тонким слоем смазки. Укладку в форму и уплотнение бетонной смеси необходимо проводить не позднее чем через 20 мин. после ее приготовления. Уплотнение бетонных смесей различных марок по удобоукладываемости осуществляется в соответствии с п. 1.2.2, за исключением количества штыкований, которое определяется из условия, чтобы одна штыковка приходилась на 10 см² верхней открытой поверхности образца.

Образцы после изготовления и до распалубливания хранят в формах в специальных камерах с температурой воздуха 20 ± 5 °С и относительной влажностью более 95 % либо покрывают влажной тканью или другим материалом, исключающим испарение из них влаги, и хранят в помещении с указанной температурой.

При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливают не ранее чем через 24 ч и не позднее чем через 72 ч после формования, а прочности на растяжение — не ранее чем через 72 ч и не позднее чем через 96 ч.

После распалубки образцы помещают в камеру с нормальными условиями твердения: температура 20 ± 2 °С, относительная влажность воздуха 95 ± 5 %. Контрольные образцы в камере нормального твердения не должны орошаться водой.

За 24 ч до начала испытания контрольные образцы бетона должны быть извлечены из камеры нормального твердения и выдержаны в помещении лаборатории.

Для проведения испытаний по определению физико-механических свойств бетонов из каждого разработанного состава должны быть изготовлены от трех до шести образцов-кубов и три образца-призмы.

1.3.1. Определение средней плотности

Цель работы: освоить методику определения средней плотности бетонов.

Приборы и материалы: цилиндрические мерные сосуды объемом 1 и 5 л; металлическая линейка; весы электронные *GP-32R* с диапазоном измерения от 5 до 32 000 г.

Плотность бетона определяют испытанием контрольных образцов в состоянии естественной влажности или в нормированном влажностном состоянии: сухом, воздушно-сухом, нормальном или водонасыщенном. Объем образцов правильной формы вычисляют по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяют линейкой или штангенциркулем с погрешностью не более 1 мм. Массу образцов определяют взвешиванием с погрешностью не более 0,1%.

Плотность бетона образца ρ_6 , кг/м³, вычисляют с погрешностью до 1 кг/м³ по формуле 1.4:

$$\rho_6 = \frac{m}{V} 1000, \quad (1.4)$$

где m — масса образца, г;
 V — объем образца, см³.

Плотность бетона серии из нескольких образцов определяют как среднее арифметическое значение результатов всех испытаний.

1.3.2. Определение прочности на сжатие

Цель работы: освоить методику определения прочности на сжатие образцов бетонов.

Приборы и материалы: штангенциркуль; линейка металлическая; пресс гидравлический 50-C4600FRControlsMCC-8.

Предел прочности на сжатие испытываемых образцов бетона определяется по ГОСТ 10180 на кубах с длиной ребра 70, 100 или 150 мм. При испытании на сжатие образцы-кубы устанавливают одной из граней на нижнюю опорную плиту прессы центрально относительно его продольной оси таким образом, чтобы прикладываемая нагрузка была параллельна слоям укладки бетонной смеси при формировании образцов. Нагружение образцов необходимо осуществлять непрерывно со скоростью 0,6 МПа/с, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения. Скорость нагрузки в испытательном прессе *ControlsMCC-8* задается в Н/мм², которую необходимо рассчитать перед испытанием в зависимости от размера образца. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимается за разрушающую нагрузку F . В случае разрушения образца по одной из дефектных схем (приведенных в приложении 7 ГОСТ 10180-2012), полученное значение при определении средней прочности серии не учитывается.

Прочность бетона на сжатие вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле 1.5:

$$R = \alpha \frac{F}{A}, \quad (1.5)$$

где F — разрушающая нагрузка, Н;
 A — площадь рабочего сечения образца, мм²;

α — масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы (для образцов-кубов с ребром 70, 100 и 150 мм $\alpha = 0,85; 0,95$ и 1 соответственно).

Прочность бетона в серии из трех образцов определяется как среднее арифметическое значение по двум наибольшим по прочности образцам.

1.3.3. Определение прочности на растяжение при изгибе

Цель работы: освоить методику определения прочности на растяжение при изгибе бетонных образцов.

Приборы и материалы: штангенциркуль; линейка металлическая; пресс гидравлический 65-L41301/*FRControlsMCC-8*.

Предел прочности на растяжение при изгибе тяжелых бетонов определяется по ГОСТ 10180-2012 на призмах размером 100×100×400 мм (для мелкозернистых бетонов 70×70×280 мм, для легких бетонов 150×150×600 мм).

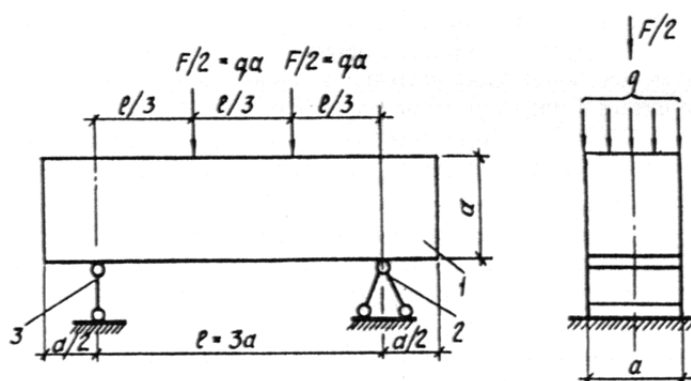


Рис. 1.1. Схема испытания образцов для определения предела прочности на растяжение при изгибе:
1 — призма из тяжелого бетона размером 100×100×400 мм; 2 — шарнирно неподвижная опора; 3 — шарнирно подвижная опора

Образцы-призмы необходимо установить в испытательное устройство рамы № 4 испытательного пресса *ControlsMCC-8* (схема испытания приведена на рис. 1.1) и нагружать до разрушения со скоростью 0,05 МПа/с (так же как и при испытании на сжатие, скорость нагружения необходимо пересчитать в Н/мм²).

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

Прочность бетона на растяжение при изгибе вычисляют с точностью до 0,01 МПа по формуле 1.6:

$$R_t = \delta \frac{Fl}{ab^2}, \quad (1.6)$$

где F — разрушающая нагрузка, Н;

a, b, l — соответственно, ширина, высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами, мм;

δ — масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона на образцах базовых размера и формы (для призм размером 100×100×400 мм $\delta = 0,92$).

Оформление результатов работы: полученные результаты испытаний заносят в таблицу, в которой должны быть указаны все промежуточные расчетные и конечные значения. На основании полученных результатов делают вывод о соответствии полученных физико-механических характеристик разработанного состава бетона проектным требованиям и в случае несоответствия дают предложения о количественной корректировке разработанного состава тяжелого бетона.

1.4. Определение эксплуатационных свойств тяжелых бетонов

К эксплуатационным свойствам бетонов относят морозостойкость и водонепроницаемость. В каждом задании по проектированию составов тяжелых бетонов должны быть указаны требования по морозостойкости и водонепроницаемости.

Марка по морозостойкости обозначается буквой *F* и указывает количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые бетон выдерживает без внешних признаков разрушения (трещины, сколы, шелушение ребер образцов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик.

Марка по водонепроницаемости обозначается буквой *W* и указывает давление (в атмосферах), при котором бетон не пропускает воду сквозь свою толщину.

Для определения марок по морозостойкости и водонепроницаемости из каждого разработанного состава бетона должно быть изготовлено — 12 образцов-кубов 150×150×150 мм и шесть образцов-цилиндров диаметром 150 и высотой 150 мм соответственно.

1.4.1. Определение морозостойкости

Цель работы: освоить методику определения морозостойкости бетонов по третьему ускоренному методу.

Приборы и материалы: линейка металлическая; штангенциркуль; пресс гидравлический 50-С4600FRControlsMCC-8; климатическая камера WK3-180/70WeissTechnik; весы электронные GF-2000.

Морозостойкость бетона определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 10060-2012. В данном испытании морозостойкость определяется по ускоренному третьему методу. Для испытания необходимо две серии образцов-кубов — контрольных (6 шт.) и основных (6 шт.). Основные и контрольные образцы бетона перед испытанием насыщают 5%-ным водным раствором хлористого натрия при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$. Для насыщения образцы погружают в раствор хлорида натрия на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень раствора повышают до 2/3 высоты образцов и выдерживают в таком состоянии еще 24 ч, после чего образцы полностью погружают в указанный раствор на 48 ч так, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм. После окончания насыщения раствором все образцы взвешивают. Контрольные образцы через 2—4 ч после извлечения из раствора испытывают на прочность при сжатии по методике, приведенной в п. 1.3.2.

Число циклов замораживания и оттаивания принимается в зависимости от проектной марки бетона по морозостойкости по табл. 1.5.

При определении морозостойкости по третьему ускоренному методу основные образцы помещают в климатическую камеру в закрытых сверху емкостях, наполненных 5 %-ным водным раствором хлорида натрия. Температуру в закрытой камере понижают до значения $-50 \pm 2^\circ\text{C}$ и поддерживают ее в течение трех часов. После этого температуру в камере повышают до значения температуры -10°C и поддерживают ее в течение 1,5 часов. Затем образцы помещают в 5 %-ный водный раствор хлорида натрия с температурой 20°C и выдерживают в нем в течение трех часов.

Таблица 1.5

**Соотношение марки по морозостойкости и количества циклов
замораживания-оттаивания по третьему ускоренному методу**

Марка по морозостойкости F_1	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
Число циклов по третьему методу	2	3	4	5	8	12	15	19	27	35

После выполнения заданного количества циклов попеременного замораживания и оттаивания основные образцы осматривают и взвешивают. Если уменьшение массы образцов не превышает 2 % и на них отсутствуют трещины, сколы и шелушение ребер, то образцы допускаются к дальнейшим испытаниям по определению прочности при сжатии по методике, приведенной в п. 1.3.2.

Обработка результатов испытания основных и контрольных образцов на прочность при сжатии осуществляется в следующем порядке.

Рассчитывают среднее значение прочности X_{cp} по формуле 1.7:

$$X_{cp} = \frac{\sum X_i}{n}, \quad (1.7)$$

где X_i — прочность одного образца, МПа;

n — число образцов.

Рассчитывают среднеквадратическое отклонение σ_n по формуле 1.8:

$$\sigma_n = \frac{W_n}{\alpha}, \quad (1.8)$$

где W_n — размах единичных значений прочности бетона в серии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями прочности, МПа;

α — коэффициент, зависящий от числа единичных значений прочности бетона n в серии, принимаемый по табл. 1.6.

Таблица 1.6

Коэффициент α

Число единичных значений	2	3	4	5	6
Коэффициент	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5

Коэффициент вариации прочности V_m рассчитывают по формуле 1.9:

$$V_m = \frac{\sigma_n}{X_{cp}}, \quad (1.9)$$

Определяют нижнюю границу доверительного интервала для контрольных образцов X_{min}^I по формуле 1.10:

$$X_{min}^I = X_{cp}^I - t_{\beta} \sigma_n^I \quad (1.10)$$

и X_{min}^{II} для основных образцов после замораживания и оттаивания по формуле 1.11:

$$X_{min}^{II} = X_{cp}^{II} - t_{\beta} \sigma_n^{II}, \quad (1.11)$$

где t_{β} — критерий Стьюдента при доверительной вероятности $p = 0,95$, принимаемый по табл. 1.7 в зависимости от числа испытываемых образцов.

Образцы считают выдержавшими испытание на морозостойкость, если соблюдается соотношение 1.12:

$$X_{min}^{II} \geq 0,9 X_{min}^I, \quad (1.12)$$

Таблица 1.7

Зависимость критерия Стьюдента от числа испытываемых образцов

Число образцов, n	4	5	6
Критерий Стьюдента, t_{β}	3,182	2,776	2,570

1.4.2. Определение водонепроницаемости

Цель работы: освоить методику определения водонепроницаемости образцов тяжелых бетонов.

Приборы и материалы: вакуумный измеритель проницаемости ВИП-1.

Водонепроницаемость тяжелого бетона определяется по ГОСТ 12730.5-2018. В данной работе испытания проводятся ускоренным методом по значению воздухопроницаемости испытываемого бетона. Для определения водонепроницаемости изготавливают образцы-цилиндры диаметром 150 мм и высотой 150 мм в количестве шести штук.

Испытание образцов проводят на приборе ВИП-1, который в ходе испытания фиксирует параметр воздухопроницаемости бетона (a_c), после чего рассчитывается сопротивление бетона прониканию воздуха (m_c).

Проведение испытания для каждого образца должно быть выполнено в следующем порядке.

1. Фиксация и сохранение в приборе значения атмосферного давления.
2. Закрепление на обратной стороне прибора по кругу жгута из герметизирующей мастики.
3. Пуск режима испытания на приборе.
4. Закрытие основного клапана.
5. Фиксация прибора на цилиндре из бетона (со значительным усилием).
6. Присоединение насоса и откачка воздуха из рабочей камеры прибора до требуемого вакуума.
7. Открытие основного клапана — начало испытания.
8. Фиксация полученного значения воздухопроницаемости.

Полученные значения a_c бетона отдельных образцов необходимо записать в порядке их возрастания и определить среднее арифметическое значение a_c двух средних показаний (третьего и четвертого) в качестве параметра, характеризующего воздухопроницаемость бетона в серии. По данному значению (в соответствии со значениями, приведенными в таблице 7 ГОСТ 12730.5-2018) определяют марку по водонепроницаемости данного бетона.

Оформление результатов работы: полученные результаты испытаний заносят в таблицу. На основании полученных результатов делают вывод о соответствии полученных эксплуатационных характеристик разработанного состава бетона проектным требованиям, а в случае несоответствия дают обоснованные предложения о количественной корректировке разработанного состава тяжелого бетона.

Лабораторная работа № 2 «Мелкозернистые бетоны»

2.1. Проектирование состава мелкозернистого бетона

Наиболее просто и точно состав мелкозернистого бетона определяют расчетно-экспериментальным путем. Вначале на основе определенных зависимостей рассчитывают предварительный состав бетона, обеспечивающий получение прочности мелкозернистого бетона из смеси заданной подвижности. Рассчитанный состав проверяют путем пробных замесов и корректируют в случае необходимости.

Состав мелкозернистого бетона рассчитывают в следующем порядке.

1. Определяют водоцементное отношение, необходимое для получения заданной прочности бетона, по формуле 2.1:

$$B/C = \frac{AR_{ц}}{R_b + 0,8 \cdot AR_{ц}}, \quad (2.1)$$

где A — коэффициент, равный 0,8 для высококачественных материалов, 0,75 — для материалов среднего качества и 0,65 — для цемента низких марок и мелкого песка;

$R_{ц}$ — активность цемента, МПа.

Приведенная формула 2.1 действительна при коэффициенте уплотнения бетонной смеси более 0,97. Если невозможно достичь данного уплотнения, следует учитывать возможное снижение прочности бетона примерно на 6 % на каждый процент недоуплотнения.

2. По графикам, приведенным на рис. 2.1, определяют соотношение между цементом и песком, обеспечивающее заданную подвижность или жесткость цементно-песчаной смеси при определенном B/C , установленном по формуле (2.1). На графиках показана подвижность и жесткость цементно-песчаной смеси, приготовленной на песке с модулем крупности 2,5 и водопотребностью 7 %. При применении другого песка влияние его крупности на подвижность цементно-песчаной смеси учитывают в соответствии с примечаниями к рис. 2.1 или, если неизвестна водопотребность песка, по графику на рис. 2.2.

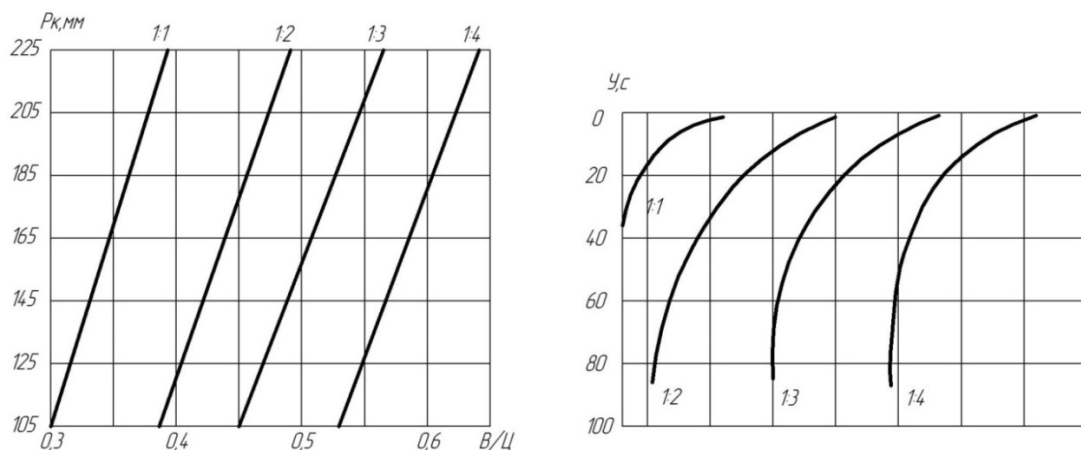


Рис. 2.1. График для выбора соотношения между цементом и песком средней крупности (с водопотребностью 7 %), которое обеспечивает заданную подвижность по распылу конуса P_K и жесткость U цементно-песчаной смеси при определенном водоцементном отношении B/C

Примечания. 1. Если применяют мелкий песок с водопотребностью свыше 7 %, содержание его уменьшают на 5 % на каждый процент увеличения водопотребности; при использовании крупного песка с водопотребностью ниже 7 % содержание его увеличивают на 5 % на каждый процент уменьшения водопотребности.

2. Если водопотребность песка неизвестна, то соотношения между цементом и песком корректируют по модулю крупности песка с помощью рис. 2.2.

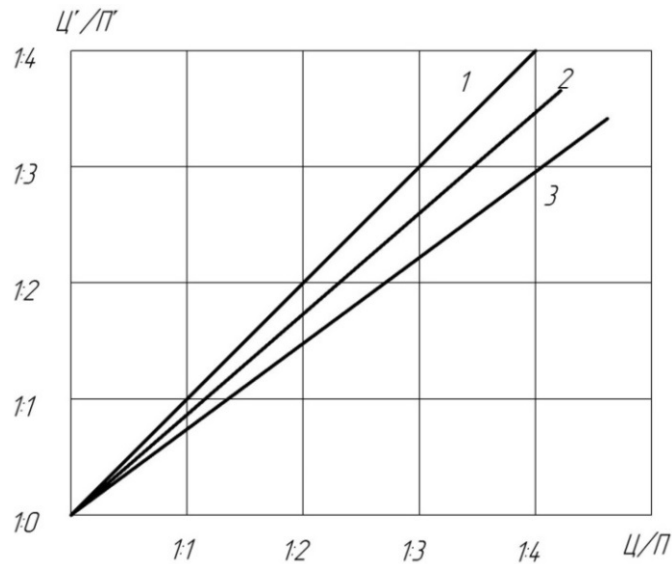


Рис. 2.2. График для корректировки соотношения Ц/П, обеспечивающего заданную подвижность цементно-песчаной смеси в зависимости от крупности песка: 1 — МКР = 2,5; 2 — МКР = 1,5; 3 — МКР = 0,75 (Ц/П — соотношение для песка средней крупности, принимаемое по рис. 2.1)

3. Рассчитывают расход цемента по формуле 2.2:

$$Ц = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_{ц}} + В/Ц + \frac{n}{\rho_{п}}}, \quad (2.2)$$

где $\rho_{ц}$, $\rho_{п}$ — истинные плотности цемента и песка;

n — соотношение между цементом и песком, определяемое в соответствии с указаниями п. 2.

Формула 2.2 выведена из уравнения 2.3:

$$Ц/\rho_{ц} + В/\rho_{в} + П/\rho_{п} = 1000, \quad (2.3)$$

полученного из условия, что сумма абсолютных объемов составных частей плотного цементно-песчаного бетона равна 1 м³ или 1000 л готового плотного бетона, если в нем нет вовлеченного воздуха или объем воздушных пор менее 1,5 %.

В случае большего объема вовлеченного воздуха расход цемента определяют по формуле 2.4:

$$Ц = \frac{1000 - ВВ}{\frac{1}{\rho_{ц}} + В/Ц + \frac{n}{\rho_{п}}}, \quad (2.4)$$

где ВВ — объем вовлеченного воздуха, л; для ориентировочных расчетов можно принять объем ВВ: для подвижной бетонной смеси на среднем и крупном песке — 20 л, то же на мелком песке — 30 л, для жесткой смеси на среднем и крупном песке — 50 л, то же на мелком песке — 70 л.

Действительное количество вовлеченного воздуха уточняют в опытных замесах путем корректировки состава.

4. Определяют расход воды:

$$В = Ц \cdot В/Ц. \quad (2.5)$$

5. Рассчитывают расход песка:

$$\Pi = n \cdot Ц. \quad (2.6)$$

В результате проведенных расчетов получают состав мелкозернистого бетона, выраженный в расходе сырьевых материалов на 1 м³ бетонной смеси. Для проведения пробного замеса заданного объема (для проведения испытаний достаточно 7...8 л мелкозернистой бетонной смеси) масса необходимых материалов рассчитывается по формуле 1.1.

2.2. Определение свойств мелкозернистых бетонных смесей

Определение удобоукладываемости

Удобоукладываемость мелкозернистых бетонных смесей может определяться так же, как и удобоукладываемость тяжелых бетонных смесей (п. 1.2.1). Однако в связи с отсутствием крупного заполнителя испытания по удобоукладываемости мелкозернистых бетонных смесей наиболее рационально проводить на образцах малых размеров.

Подвижность мелкозернистых бетонных смесей можно определить по расплыву конуса на встряхивающем столике, применяемом для испытания цемента. При проведении данного испытания конус-форму с верхним диаметром 70 мм, нижним диаметром 100 мм и высотой 60 мм устанавливают на встряхивающий столик и на половину высоты заполняют приготовленной смесью, после чего уплотняют 15 раз металлической штыковкой. Затем наполняют конус до верха с небольшим избытком и штыкуют 10 раз. После уплотнения верхнего слоя избыток смеси удаляют линейкой, и конус медленно поднимают вертикально вверх.

Мелкозернистую бетонную смесь встряхивают на столике 30 раз (приблизительно одно встряхивание в секунду), после чего штангенциркулем измеряют диаметр конуса по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За результат принимают среднее значение проведенных измерений.

Определение пористости

Пористость (воздухововлечение) мелкозернистых бетонных смесей определяется аналогично методике, используемой для тяжелых бетонов (п. 1.2), с рядом изменений.

1. Для определения воздухововлечения компрессионным методом используется прибор *64-C0171 Controls* объемом 1 литр.

2. Уплотнение подвижных мелкозернистых смесей с расплывом конуса от 120 мм и выше производят в чаше прибора аналогично уплотнению подвижных тяжелых бетонных смесей марок по удобоукладываемости П4, П5.

3. Уплотнение мелкозернистых смесей с расплывом конуса менее 120 мм осуществляется в чаше прибора на вибростоле. Продолжительность вибрирования определяют по прекращению оседания бетонной смеси, выравнивания ее поверхности с появлением на ней тонкого слоя цементного теста.

Плотность бетонной смеси определяется по методике, приведенной в п. 1.2.3, в литровой цилиндрической емкости.

Оформление результатов: полученные результаты испытаний по определению свойств мелкозернистой бетонной смеси заносят в таблицу, в которой должны быть указаны все промежуточные расчетные и конечные значения. На основании полученного значения средней плотности мелкозернистой бетонной смеси делают вывод о ее соответствии расчетному значению и в случае отклонения более чем на 20 кг/м³ проводят корректировку разработанного состава мелкозернистого бетона.

2.3. Определение физико-механических свойств мелкозернистых бетонов

Для проведения испытаний по определению физико-механических характеристик мелкозернистого бетона изготавливают 3...6 образцов-кубов размером $70 \times 70 \times 70$ мм и три образца-призмы размером $70 \times 70 \times 280$ мм.

Средняя плотность бетона определяется на образцах-кубах по методике, приведенной в п. 1.3.1.

Прочность на сжатие мелкозернистого бетона определяется на образцах-кубах по методике, приведенной в п. 1.3.2. При расчете значений прочности на сжатие по формуле 1.5 масштабный коэффициент α принимается равным 0,85.

Прочность на растяжение при изгибе мелкозернистого бетона определяется на образцах-призмах по методике, приведенной в п. 1.3.3. При расчете значений прочности на растяжение при изгибе по формуле 1.6 масштабный коэффициент δ принимается равным 0,86.

Оформление результатов: полученные результаты испытаний заносят в таблицу, в которой должны быть указаны все промежуточные расчетные и конечные значения. На основании полученных результатов делают вывод о соответствии полученных характеристик разработанного состава бетона проектным требованиям и в случае несоответствия дают предложения о количественной корректировке разработанного состава мелкозернистого бетона.

2.4. Определение эксплуатационных свойств мелкозернистых бетонов

Для определения марок по морозостойкости и водонепроницаемости каждого разработанного состава бетона должно быть изготовлено 12 образцов-кубов размером $70 \times 70 \times 70$ мм и шесть образцов-цилиндров диаметром 150 и высотой 100 мм.

Методика, приведенная в п. 1.4.1, применяется для определения марки по морозостойкости мелкозернистого бетона без корректировок.

Методика, приведенная в п. 1.4.2, применяется для определения марки по водонепроницаемости мелкозернистого бетона без корректировок.

Оформление результатов работы: полученные результаты испытаний заносят в таблицу, в которой должны быть указаны все промежуточные расчетные и конечные значения. На основании полученных результатов делают вывод о соответствии полученных эксплуатационных характеристик разработанного состава бетона проектным требованиям и в случае несоответствия дают обоснованные предложения о количественной корректировке разработанного состава мелкозернистого бетона.

Лабораторная работа № 3 «Легкие бетоны»

Для выполнения лабораторной работы преподаватель выдает каждой бригаде задание на проектирование состава легкого конструкционного бетона, которое включает: класс бетона прочности $B_{12,5} \dots B_{40}$, марку по плотности $D_{1100} \dots D_{2000}$, марку по морозостойкости $F_{100} \dots F_{500}$, марку по водонепроницаемости $W_2 \dots W_{12}$, а также марку бетонной смеси по удобоукладываемости, вид крупного пористого заполнителя и его марку по прочности. В качестве мелкого заполнителя используется строительный песок.

3.1. Проектирование состава легкого бетона

Номинальный состав легкого бетона на пористом заполнителе и плотном песке рассчитывают в следующем порядке.

1. Расход цемента определяется в зависимости от заданного класса бетона, удобоукладываемости бетонной смеси, марки цемента и прочности крупного заполнителя по табл. 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Ориентировочный расход цемента (кг) для расчета состава бетонов на пористых заполнителях с предельной крупностью 20 мм и плотном песке с жесткостью бетонной смеси 20–30 с

Класс бетона	Рекомендуемая марка цемента	Марка пористого заполнителя по прочности						
		75	100	125	150	200	250	300
B10	400	300	280	260	240	230	220	210
B15	400	—	340	320	300	280	260	250
B20	400	—	—	390	360	330	310	290
B22,5	500	—	—	—	420	390	360	330
B25	500	—	—	—	—	450	410	380
B30	500	—	—	—	—	—	480	450
M500	600	—	—	—	—	—	570	540

Таблица 3.2

Коэффициенты изменения расходов цемента при изменении его марки, вида песка, предельной крупности заполнителя и подвижности бетонной смеси

Характеристика материала и подвижность бетонной смеси	Класс бетона по прочности на сжатие						
	B10	B15	B20	B22,5	B25	B30	B40
Марка цемента							
300	1,15	1,2	—	—	—	—	—
400	1	1	1	1,5	1,2	1,25	—
500	0,9	0,88	0,85	1	1	1,1	1,1
600	—	—	0,88	0,9	0,88	0,85	1
D_{max} , мм:							
40	0,9	0,9	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95
20	1	1	1	1	1	1	1
10	1,1	1,1	1,07	1,0	1,05	1,05	1,05
Жесткость, с:							
20...30	1	1	1	1	1	1	1
30...50	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
50...80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

Характеристика материала и подвижность бетонной смеси	Класс бетона по прочности на сжатие						
	B10	B15	B20	B22,5	B25	B30	B40
Осадка конуса, см:							
1...2	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
2...5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
8...12	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

2. Определяют начальный расход воды по табл. 3.3 в зависимости от заданной удобоукладываемости бетонной смеси, наибольшей крупности и вида заполнителя.

3. Определяют объемную концентрацию крупного заполнителя в зависимости от расхода цемента и воды, заданной плотности зерен крупного заполнителя и водопотребности песка (табл. 3.4).

Таблица 3.3

Ориентировочный начальный расход воды (л/м³) для приготовления бетонной смеси с использованием плотного песка и крупного заполнителя

Осадка конуса, см	Жесткость, с	Предельная крупность, мм					
		гравия			щебня		
		10	20	40	10	20	40
8—12	—	235	220	205	265	250	235
3—7	—	220	205	190	245	230	215
1—2	10—20	205	190	175	225	210	195
—	20—30	195	180	165	215	200	185
—	30—50	185	170	160	200	185	175
—	50—80	175	160	150	190	175	165

Если полученные значения находятся между значениями, указанными в табл. 3.4, то объемную концентрацию крупного пористого заполнителя выбирают по интерполяции. Если объемная концентрация крупного заполнителя превышает более чем на 0,05 оптимальное значение, указанное в табл. 3.5, то следует применить более легкие заполнители или произвести поризацию бетона.

4. Расход крупного заполнителя определяют по формуле 3.1:

$$K = 1000 \cdot \varphi \gamma_{з.к.}, \quad (3.1)$$

где $\gamma_{з.к.}$ — плотность зерен крупного заполнителя в цементном тесте, кг/л.

5. Определяют расход песка по формуле 3.2:

$$П = \gamma_б - 1,15 \cdot Ц - К, \quad (3.2)$$

где $\gamma_б$ — плотность бетона, кг/м³.

6. Определяют расход воды по формуле 3.3:

$$В = В_0 + В_1 + В_2 + В_3, \quad (3.3)$$

где $В_0$ — расход воды, определенный по табл. 3.3;

$В_1$ — поправка на водопотребность песка, отличную от 7 %, определяемая по формуле 3.4:

$$В_1 = 0,02 \frac{П}{\gamma_{з.п.}} (В - 7), \quad (3.4)$$

$В_2$ — поправка при высоких расходах цемента, определяемая по формуле 3.5:

$$B_2 = 0,15(C - 450), \quad (3.5)$$

B_3 — поправка в зависимости от объемной концентрации заполнителя, определяемая по формуле 3.6:

$$B_3 = 2000(\varphi - 0,37)^2, \quad (3.6)$$

где $\varphi = K/\gamma_{з.к.}$ — объемная концентрация крупного заполнителя.

Таблица 3.4

Объемная концентрация φ крупного заполнителя для легких бетонов на плотном песке

Плотность бетона, кг/м ³	Плотность зерен крупного заполнителя в цементном тесте, кг/дм ³	Водопотребность песка, %								
		6			8			10		
		Расход воды, л								
		160	200	240	160	200	240	160	200	240
1500	1	0,47	0,43	0,38	0,46	0,41	0,35	0,45	0,4	0,32
	1,2	0,5	0,46	0,42	0,5	0,45	0,4	0,48	0,44	0,38
	1,4	—	0,5	0,46	—	0,49	0,45	—	0,48	0,43
1600	1	0,43	0,38	0,32	0,42	0,35	0,25	0,39	0,32	—
	1,2	0,47	0,42	0,35	0,46	0,4	0,3	0,44	0,38	0,27
	1,4	0,5	0,46	0,41	0,5	0,45	0,39	0,48	0,43	0,36
	1,6	0,54	0,5	0,45	0,53	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43
1700	1	0,39	0,31	—	0,36	0,26	—	0,32	—	—
	1,2	0,43	0,38	0,27	0,41	0,33	—	0,38	—	—
	1,4	0,47	0,41	0,33	0,45	0,39	0,3	0,43	0,28	0,29
	1,6	0,5	0,46	0,4	0,49	0,44	0,37	0,48	0,36	0,31
	1,8	0,54	0,5	0,45	0,53	0,49	0,43	0,53	0,42	0,41
1800	1,2	0,37	0,2	—	0,33	—	—	—	—	—
	1,4	0,42	0,34	0,25	0,39	—	—	0,36	—	—
	1,6	0,45	0,4	0,26	0,49	0,37	0,25	0,42	0,3	—
	1,8	0,51	0,45	0,38	0,49	0,44	0,3	0,48	0,41	0,27
	2	—	0,5	0,44	—	0,49	0,42	—	0,48	0,44

Примечание. Значения φ даны при расходе цемента 300 кг/м³, при большем расходе цемента значения φ возрастают приблизительно на 0,01 на каждые 100 кг/м³ цемента, при уменьшении расхода цемента значения φ , соответственно, сокращаются.

Таблица 3.5

Оптимальная объемная концентрация крупного заполнителя

Межзерновая пустотность	Оптимальная объемная концентрация			Межзерновая пустотность	Оптимальная объемная концентрация		
	жесткость свыше 30 с	осадка конуса 1—3 см или жесткость 10—30 с	осадка конуса свыше 3 см		жесткость свыше 30 с	осадка конуса 1—3 см или жесткость 10—30 с	осадка конуса свыше 3 см
0,36	0,52	0,49	0,47	0,46	0,42	0,39	0,37
0,38	0,50	0,47	0,45	0,48	0,4	0,37	0,35
0,4	0,48	0,45	0,43	0,5	0,38	0,35	0,38
0,42	0,46	0,43	0,41	0,52	0,36	0,33	0,31
0,44	0,44	0,41	0,39	0,54	0,34	0,31	0,29

В результате проведенных расчетов получают состав легкого бетона, выраженный расходом сырьевых материалов на 1 м^3 бетонной смеси. Для проведения пробного замеса заданного объема (для проведения испытаний достаточно 10...12 л легкобетонной смеси) масса необходимых материалов рассчитывается по формуле 1.1.

3.2. Определение свойств легких бетонных смесей

Удобоукладываемость легких бетонных смесей определяется по методике, приведенной в п. 1.2.1.

Определение пористости бетонной смеси на пористых заполнителях осуществляют объемным методом (п. 6.2 ГОСТ 10181-2014).

Плотность бетонной смеси определяется по методике, приведенной в п. 1.2.3, с помощью пятилитровой цилиндрической емкости. При определении плотности жесткой бетонной смеси необходимо использовать пригруз, закрывающий поверхность цилиндра, для предотвращения «всплывания» крупного заполнителя.

Оформление результатов: полученные результаты испытаний по определению свойств легкой бетонной смеси заносят в таблицу, в которой должны быть указаны все промежуточные расчетные и конечные значения. На основании полученного значения средней плотности легкой бетонной смеси делают вывод о ее соответствии расчетному значению и в случае отклонения более чем на 20 кг/м^3 от требуемого значения, проводят корректировку разработанного состава легкого бетона.

3.3. Определение физико-механических свойств легких бетонов

Для проведения испытаний по определению физико-механических характеристик легкого бетона изготавливают шесть образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$.

Средняя плотность бетона определяется на образцах-кубах по методике, приведенной в п. 1.3.1.

Прочность при сжатии легкого бетона определяется на образцах-кубах по методике, приведенной в п. 1.3.2. При расчете значений прочности на сжатие по формуле 1.5 масштабный коэффициент α принимается равным 0,95.

Оформление результатов: полученные результаты испытаний заносят в таблицу, в которой должны быть указаны все промежуточные расчетные и конечные значения. На основании полученных результатов делают вывод о соответствии полученных характеристик разработанного состава бетона проектным требованиям и в случае несоответствия дают предложения о количественной корректировке разработанного состава легкого бетона.

3.4. Определение эксплуатационных свойств легких бетонов

Для определения марок по морозостойкости и водонепроницаемости каждого разработанного состава легкого бетона изготавливают 12 образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ и шесть образцов-цилиндров диаметром 150 и высотой 100 мм.

Методика, приведенная в п. 1.4.1, применяется для определения марки по морозостойкости легкого бетона марки по плотности D1500 и выше без корректировок. При марке по плотности легкого бетона менее D1500 для определения морозостойкости используется первый основной метод, при котором все образцы насыщают в воде, основные образцы замораживают при температуре $-18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение трех часов и оттаи-

вают в воде с температурой 20 ± 2 °С в течение 2,5 часа. Обработка результатов осуществляется по методике, приведенной в п. 1.4.1.

Методика, приведенная в п. 1.4.1, применяется для определения марки по водонепроницаемости мелкозернистого бетона без корректировок.

Оформление результатов работы: полученные результаты испытаний заносят в таблицу, в которой должны быть указаны все промежуточные расчетные и конечные значения. На основании полученных результатов делается вывод о соответствии полученных эксплуатационных характеристик разработанного состава легкого бетона проектным требованиям и случае несоответствия дают обоснованные предложения о количественной корректировке разработанного состава легкого бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия.
2. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний.
3. ГОСТ 12730.5-2018. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
4. ГОСТ 10060 -2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости.
5. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
6. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
7. ГОСТ 25820-2014. Бетоны легкие. Технические условия.