МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСТИТЕТ»

Кафедра «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе «Подбор состава легкого бетона на пористых заполнителях» по дисциплине «Технология легких и ячеистых бетонов»

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2018

УДК 691.327.32

Составители: Х.С. Явруян, Е.С. Гайшун

Методические указания к лабораторной по дисциплине «Технология легких и ячеистых бетонов» – Ростов на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2018.–17 с.

Методические указания включают теоретическое изложение материала, описание применяемых материалов и оборудования, методику проведения опытов и обработки полученных результатов испытаний и предназначены для систематизации и закрепления студентами теоретических разделов курса, углублению знаний в области изучения свойств теплоизоляционных материалов.

Предназначены для подготовки бакалавров направления 08.03.01 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», очной и заочной формы обучения.

УДК 691.327.32

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор канд. техн. наук, доцент А.И. Шуйский

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики» канд. техн. наук, доцент А.И. Шуйский

В печать ___.___.2018г.
Формат 60×84/16. Объем ___ усл.п.л.
Тираж 50 экз. Заказ № ___.

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
Технический университет, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Задача подбора состава легкобетонной смеси состоит в том, чтобы для принятых материалов в соответствии с назначением бетона, местными условиями и экономическими соображениями установить расходы вяжущего, добавок, воды и зерновой состав заполнителей, обеспечивающие требуемую среднюю плотность и прочность бетона при наименьшем расходе вяжущего.

Вследствие особых свойств пористых заполнителей при подборе состава легкого бетона трудно установить истинное водоцементное отношение, определить требуемую подвижность (жесткость) смеси и рассчитать зерновой состав заполнителей. Учитывая это, задачу подбора состава легкого бетона целесообразно решать опытным путем, определяя оптимальный расход воды для каждого состава бетона и устанавливая зависимости прочности бетона от расхода цемента при оптимальных расходах воды.

Достоинством рекомендуемого способа определения состава является то, что непосредственно опытом учитывается влияние всех производственных факторов на свойства бетона. Предлагаемые приемы подбора состава легкого бетона дают возможность:

- определить оптимальную водную добавку;
- установить влияние расхода цемента на прочность и среднюю плотность бетона и определить требуемый расход цемента;
- в результате дополнительных подборов на различных зерновых составах выявить экономически оправданный зерновой состав заполнителей, обеспечивающий минимальный расход вяжущего и требуемую среднюю плотность легкого бетона;
- при изготовлении контрольных образцов, близких по своим размерам к поперечному сечению изделия, и применении методов уплотнения, близким к производственным, получить требуемую удобоукладываемость смеси.

Цель настоящей лабораторной работы – определить показатели конструктивности легкого бетона с требуемыми свойствами и установить основные функциональные зависимости свойств от параметров его состава.

1 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Подбор состава бетона с оптимальным расходом воды производится по способу опытных затворений и складывается из следующих этапов:

- анализ исходных данных на подбор состава и оценка качества принимаемых материалов;
- выбор предварительных расходов вяжущего и добавок для предварительных замесов;
- определение оптимального расхода воды для выбранных расходов вяжущего при принятых параметрах уплотнения смеси;
- установление зависимости между расходом вяжущего и прочностью бетона в заданных условиях уплотнения и твердения;
- назначение номинального состава бетона.

В соответствии с этим при данном способе подбора состава легкого бетона рекомендуется изготовить:

а) 3 партии пробных замесов, отличающихся зерновым составом смеси заполнителей;

б) в каждой партии – три серии пробных замесов, отличающихся расходом цемента, в пределах которых может быть установлен необходимый расход цемента;

в) в каждой серии – по 3 пробных замеса с различным содержанием воды (при постоянном расходе цемента и зерновом составе заполнителей).

Следовательно, для полного подбора состава легкого бетона требуется приготовить 27 пробных замесов (3x3x3), а при постоянном зерновом составе – 9 пробных замесов.

2. МЕТОДИКА ПОДБОРА СОСТАВА БЕТОНА С ОПТИМАЛЬНЫМ РАСХОДОМ ВОДЫ

2.1 Для подбора состава легкого бетона необходимо знать:

- вид конструкции (изделия) и способы его изготовления;

- требуемую прочность бетона в определенном возрасте;

- условия твердения изделий;

- характеристики применяемого вяжущего (его активность, вещественный состав, истинную и насыпную плотности);

- показатели свойств пористого заполнителя (насыпную плотность, отдельных фракций, прочность).

Обычно физико-механические свойства легкого бетона определены проектом, а технологические параметры производства – принятым способом изготовления изделия.

Свойства вяжущего определяются в соответствии с указаниями ГОСТ 310.1-76, ГОСТ 310.6-85 «Цементы. Методы испытаний».

Качество заполнителя оценивается по ГОСТ 9758-2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний».

Пригодность марки крупного заполнителя для получения экономичного бетона требуемой средней плотности устанавливается по таблице 1.

Таблица 1 – Соотношение насыпной плотности крупного заполнителя к средней плотности легкого бетона

Заданная средняя плотность легкого бетона в высушенном состоянии, кг/м^3	Отношение насыпной плотности крупного пористого заполнителя к средней плотности легкого бетона	
	плотного	поризованного
	Не более	Не более
До 800	0,40	0,55
900-1100	0,45	0,60
1200-1400	0,50	0,65
1500-1800	0,55	0,70

В случае применения цементов марки 300 следует применять коэффициенты: для бетона класса В 3,5 – 1,05; для бетонов класса В 7,5 – 1,10.

Для изделий из конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов расход цемента не должен быть ниже 200 кг/м^3 , а из конструкционных легких бетонов – 220 кг/м^3.

2.2 Предельная крупность заполнителя назначается из условий:

а) не более 1/3 наименьшего размера конструкции;

б) не более 3/4 от расстояния в свету между стержнями арматуры;

в) для плит и пустотелых стеновых камней допускается до 50% зерен заполнителя с предельной крупностью, равной половине толщины плиты или наименьшей толщины стенки камня;

г) для теплоизоляционного и кострукционно-теплоизоляционного бетона – не более 40 мм, для конструкционного – не более 20 мм.

Зерновой состав пористых заполнителей (по объему) назначается из условия получить смесь с наименьшей пустотностью и минимальной суммарной поверхностью зерен. Такой состав требует наименьшего расхода цемента для получения плотного бетона и обеспечивает получение бетона с наименьшей средней плотностью.

Зерновой состав пористых заполнителей устанавливают по графикам рекомендуемого зернового состава для виброуплотняемых смесей (по рисунку 1). Кривые просеивания пористого заполнителя должны находиться в соответствующих площадях.

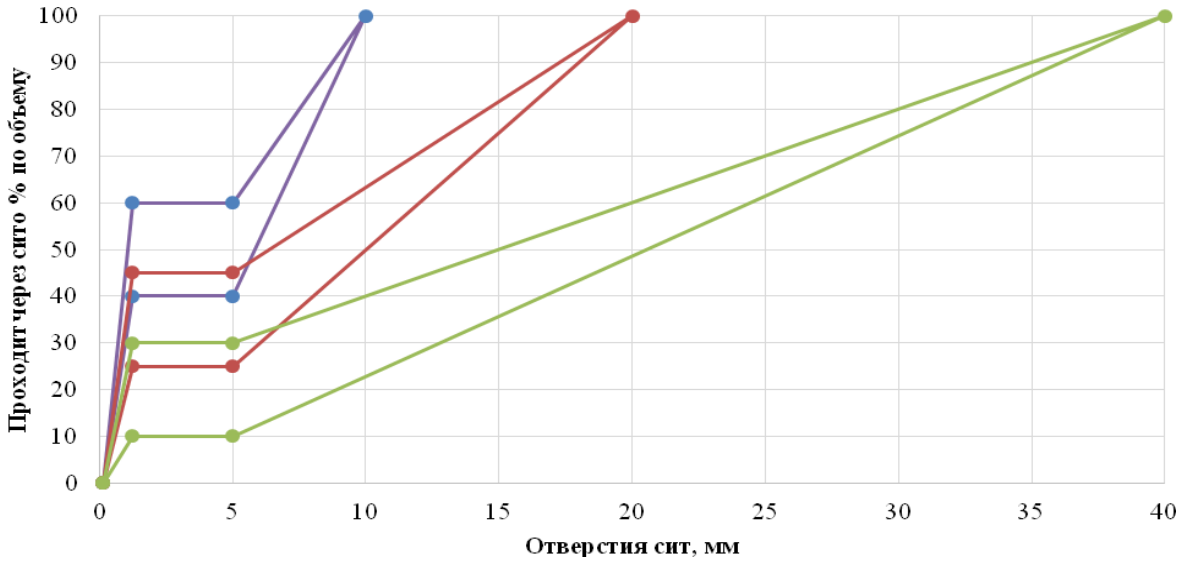

Рисунок 1 – Графики зернового состава пористых заполнителей

Графически определенный зерновой состав следует считать предварительным (начальным) и уточнять путем изготовления нескольких дополнительных замесов с заполнителем разного зернового состава.

2.3 Определение оптимального расхода воды является основной операцией при подборе состава бетона. Величина оптимальной водной добавки в основном зависит от следующих факторов:

I - вида и зернового состава заполнителей;

II - вида вяжущего и добавок;

III - количества вяжущего;

IV - метода и режима уплотнения.

Каждому составу бетона на определенных материалах при данном методе и режиме уплотнения соответствует оптимальный расход воды, при котором бетон в принятых условиях твердения приобретает максимальную прочность.

2.4 Назначение расхода вяжущего при подборе состава бетона должно осуществляться с учетом возможного колебания количества цемента в пробных замесах. При подборе состава необходимо изготовить образцы с несколькими (не менее чем с тремя) расходами цемента.

Предварительное назначение среднего исходного расхода цемента ($Ц_2$) для начального состава бетона требуемого класса по прочности производится по таблице 2.

Таблица 2 - Расход цемента марки 400 на 1 $м^3$ виброуплотняемого бетона на гравиеподобных пористых заполнителях (для подбора начальных составов бетона)

Марка бетона по плотности	Средний расход цемента в кг для бетона класса поп прочности				
	В 3,5	В 5	В 7,5	В 10	В 15
Д 900	220	240	280	300	320
Д 1000	210	230	260	280	300
Д 1100	200	220	240	260	280
Д 1200	-	215	225	250	260
Д 1300	-	210	215	240	250
Д 1400	-	-	210	230	240
Д 1500	-	-	200	220	230

Два дополнительных расхода цемента принимаются на 25% меньше и на

35% больше исходного ($Ц_1$= 0,75$Ц_2$; $Ц_3$ = 1,35$Ц_2$).

Оптимальный расход воды и цемента, которые обеспечивают при принятых условиях уплотнения отптимальную удобоукладываемость, определяется оптыным путем по наибольшей прочности бетона или по наименьшему коэффициенту выхода.

Наименьший выход бетона показывает на его максмимальную плотность (минимум межзерновой пустотности).

Коэффициент выхода бетона определяется как отношение объема уложенной бетонной смеси к сумме объемов всех ее составляющих:

$$r = \frac{V_{б.с.}}{\sum V} = \frac{\sum G}{\rho_{б.с.} \sum V} = \frac{G_ц + G_в + G_з}{\rho_{б.с.}(V_ц + V_в + V_з)}, \qquad (1),$$

где $G_ц, G_в, G_з$ - расходы цемента, воды и заполнителей, кг;

$V_ц, V_в, V_з$-объем цемента, воды, заполнителей, м^3;

$\rho_{б.с.}$ - средняя плотность свежеуложенной смеси, кг/м^3.

Иногда, увеличение расхода воды не приводит к повышению коэффициента r; после уменьшения его значения кривая получается без восходящего участка. Это указывает на частичное расслоение бетонной смеси при ее уплотнении.

В этих случаях для большей точности оптимальную водную добавку находят по коэффициенту выхода β – отношению объема ухоженной смеси к сумме объемов сухих компонентов:

$$\beta = \frac{V_{б.с.}}{V_c} = \frac{Q_ц + Q_в + Q_з}{\rho_{б.с.}(V_ц + V_з)} \qquad (2)$$

При подборе состава легкого бетона необходимо определить величины трех оптимальных водных добавок ($В_1$;$В_2$;$В_3$) для трех составов с различными расходами цемента ($Ц_1$;$Ц_2$;$Ц_3$).

Одним из путей сокращения количества опытных замесов может явиться нахождение оптимальных расходов воды только для двух составов. Определить оптимальный расход воды для любого другого состава можно методом

графической интерполяции (рисунок 2) или по формуле 3.

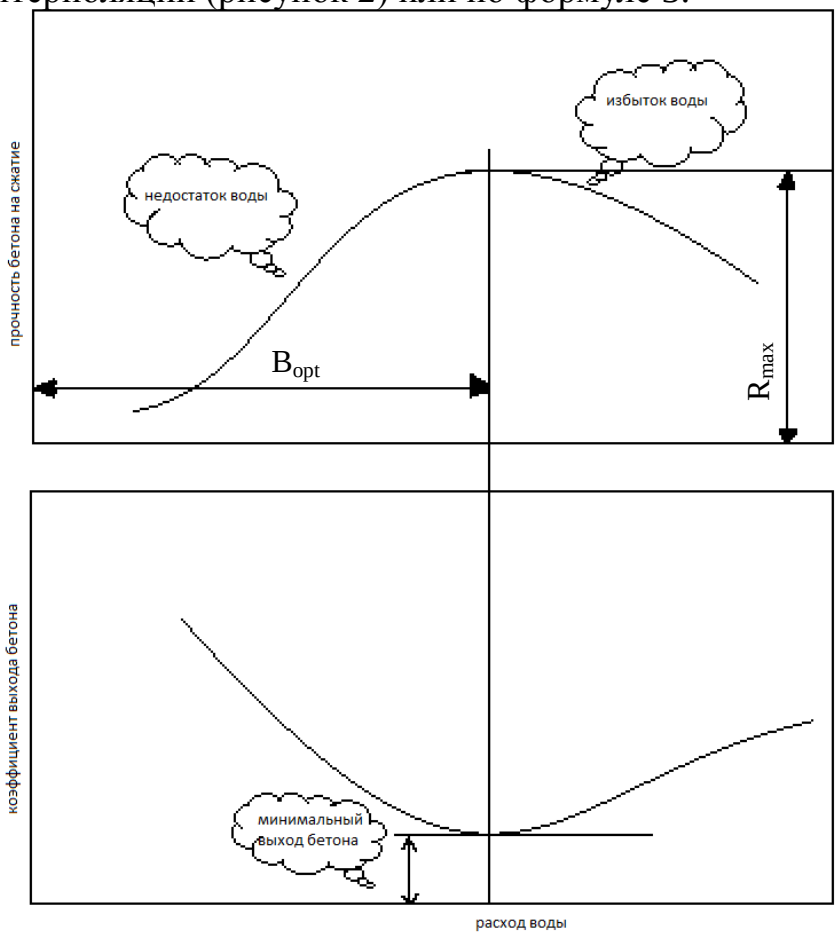

Рисунок 2 – Графики для нахождения оптимального расхода воды

$$B_x = \frac{(B_2 - B_1)(Ц_x - Ц_1)}{(Ц_2 - Ц_1)}, \qquad (3)$$

где B_x – искомый оптимальный расход воды в л на 1м^3 бетона при расходе цемента $Ц_x$ в кг на 1 м^3;

B_1, B_2 – оптимальные расходы воды в составах с расходами цемента, соответственно, $Ц_1$ и $Ц_2$.

2.5 Для определения зависимости между прочностью бетона и расходом вяжущего R_B=R(Ц) необходимо изготовить и испытать три серии образцов с различными расходами цемента ($Ц_1$;$Ц_2$;$Ц_3$) при соответствующих им оптимальных расходах воды (B_1;B_2;B_3) и определить прочность бетона после твердения в принятых условиях.

Средний предел прочности при сжатии образцов для каждого из трех составов наносится на график, по оси абсцисс которого откладывается расход цемента на 1м^3 бетона, по оси ординат – предел прочности бетона (рисунок 3).

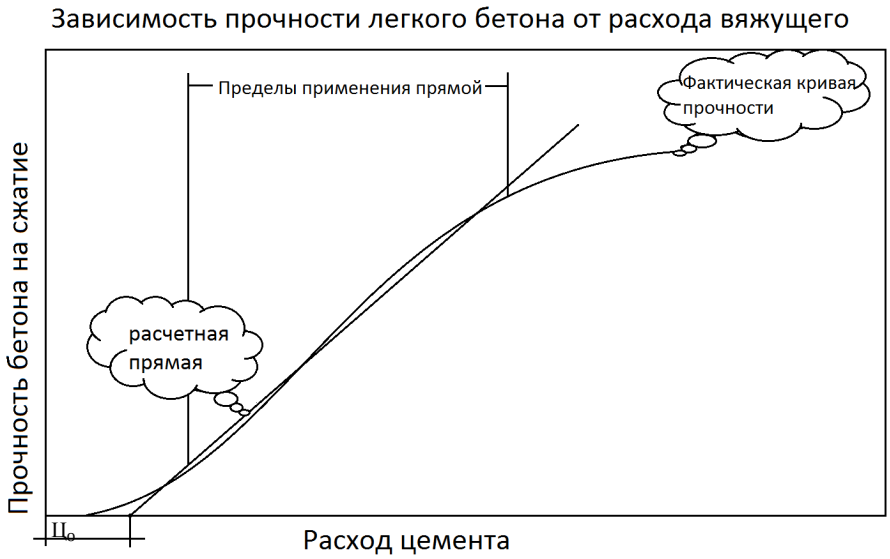

Рисунок 3 – Зависимость прочности легкого бетона от расхода вяжущего

2.6 Производственный состав бетона определяют следующим образом. Требуемый расход цемента для получения бетона заданного класса по прочности при принятых условиях уплотнения и твердения находят по графику R_b=R(Ц). Оптимальный расход воды для состава с количеством вяжущего, обеспечивающим заданный класс бетона, определяют по формуле (3) или устанавливают путем построения графика зависимости оптимальных водных добавок от расхода цемента.

Пример построения графика для определения производственного состава приведен на рисунке 4.

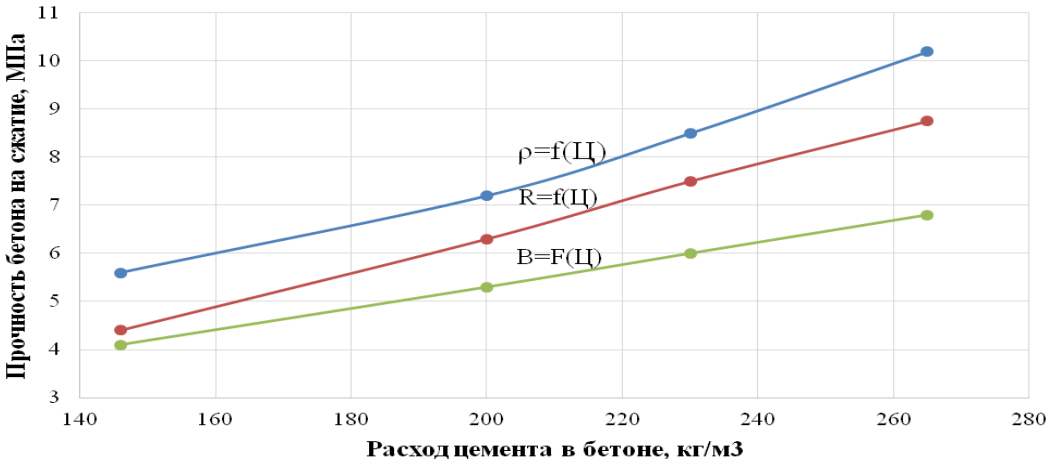

Рисунок 4 – Экспериментальная зависимость для определения

производственного состава легкого бетона

3 ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется по следующему плану:

Введение.

1. Аналитический обзор.

2. Подбор состава бетона на пористых заполнителях.

3. Заключение.

Во введении определяется цель работы, приводятся сроки выполнения, оценивается актуальность работы.

Аналитический обзор содержит краткое описание особых свойств легких бетонов на пористых заполнителях и связанных с этим особенностей подбора состава таких бетонов. Приводится методика подбора состава легкого бетона с оптимальным расходом воды.

Второй раздел отчета должен содержать теоретические расчеты и экспериментальные данные по подбору состава бетона. Здесь же необходимо вывести аналитическую зависимость между расходом вяжущего и прочностью бетона. Заканчивается раздел построением графиков для определения производственного состава бетона.

В заключение следует привести выводы по проделанной работе.

Обеспечение лабораторной работы.

1. Подготовить материалы: цемент, песок, керамзит. Дать их характеристику в соответствии с ГОСТами на испытания.

2. Подготовить формы – кубы 10*10*10 см – 3 шт.

3. Подготовить на рабочих местах весы, емкости для сырьевых материалов и бетонной смеси, мерные сосуды для определения плотности бетонной смеси.

4. Привести в рабочее состояние лабораторную виброплощадку.

Приложение А

ВЫПОЛНЕНИЕ ПОДБОРА СОСТАВА БЕТОНА С ОПТИМАЛЬНЫМ РАСХОДОМ ВОДЫ

Требуется подобрать состав керамзитобетона плотной структуры со средней плотностью не более 1500 кг/м^3 (в высушенном состоянии).

Керамзитобетон предназначен для изготовления панелей толщиной 140 мм, армированных сеткой 150х150 мм из холоднокатанной проволоки диаметром 4 мм. Формирование панелей в металлических формах производится на виброплощадках с амплитудой колебаний 0,5 мм и частотой 2800 кол/мин без применения пригруза в течение 60 сек.

Для приготовления бетона имеется: портландцемент $R_ц$=43 МПа (плотность цемента $\rho_н^ц$=1200 кг/м^3); керамзитовый гравий фракций 5-20мм с насыпной плотностью 655 кг/м^3 и кварцевый песок фракции 0-5 мм с насыпной плотностью 1450 кг/м^3.

Устанавливаем пригодность пористого заполнителя для бетона требуемой средней плотности. Отношение насыпной плотности крупного заполнителя к средней плотности бетона равно:

$$\frac{\rho_н^з}{\rho_\alpha^б} = \frac{655}{1500} = 0.45 < 0.55$$

и свидетельствует о пригодности керамзитового гравия.

Предельную крупность заполнителя устанавливаем по наименьшему размеру конструкции

140*1/3 = 46 мм

и по расстоянию в свету между стержнями арматуры

(150 – 4)*3/4 = 100 мм

По назначению бетона предельная крупность должна быть не более 40 мм. Принимаем имеющийся гравий с наибольшей крупностью 20 мм. Для оптимального зернового состава пористого заполнителя определяем насыпную плотность отдельных фракций керамзитового гравия и песка. Результаты

приводим в таблице А1.

Таблица А1 - Результаты определения насыпной плотности заполнителей

Виды заполнителя	Крупность зерен, мм	Насыпная плотность, кг/м^3
Керамзитовый гравий	5-10	700
	10-20	560
Песок кварцевый	0-5	1450

Назначаем зерновой состав заполнителей и расход материалов для опытных замесов. По графику (рисунок 1) устанавливаем содержание в смеси отдельных фракций в % по объему и общий расход заполнителя на замес.

Объем заполнителя для пробных замесов принимаем из расчета, что на 1 м^3 бетона расходуется 1,4-1,5 м^3 крупного и мелкого заполнителей. При определении оптимального расхода воды по наименьшему коэффициенту выхода бетона используем сосуд емкостью 2 литра. С учетом возможной ошибки в 25% требуемый объем заполнителей равен:

$$2*1,25*1,5 = 3,75 \text{ (л)}$$

Принимаем объем заполнителей равным 4 литра.

Расчет зернового состава и расход заполнителей на замес приводим в таблице А2.

Таблица А2 - Зерновой состав и расход заполнителей на замес

Вид заполнителя	Крупность зерен,мм	Насыпная плотность,кг/м^3	Содержание в смеси,% по объему	Расход на замес	
				По объему, л	По массе, кг
Керамзитовый гравий	5-10	700	30	1,2	0,84
	10-20	560	35	1,4	0,784
Песок кварцевый	0-5	1450	3,5	1,4	2,030
Всего			100	4,0	3,654

Назначаем расход цемента для трех пробных замесов. Средний исходный расход цемента для требуемой марки назначаем по таблице 2. Расход цемента составит Ц = 200 кг/м^3 бетона, что допустимо для конструктивно-теплоизоляционного бетона с монтажной арматурой.

Для пробного замеса объемом 2,5 л расход цемента принимаем на 25% меньше и на 35% больше:

$$Ц_1 = 0,5*0,75 = 0,375 \text{ кг}$$

$Ц_з = 0,5*1,35 = 0,675$ кг

Устанавливаем предварительный расход воды путем затворения замеса. Для этого высыпаем на противень отвешенные цемент, мелкую и крупную фракции заполнителя и перемешиваем мастерком в течение 3 мин. Продолжаем перемешивание и постепенно вливаем такое количество воды, которое обеспечивает комкуемость смеси, не пачкающей руку при ее сжатии. Общая длительность перемешивания должна составить 8 минут.

По окончании перемешивания смесь засыпаем в предварительно взвешенный сосуд (масса m_1) для определения средней плотности в уплотненном состоянии.

Бетонную смесь уплотняем на лабораторной виброплощадке ЦНИИПС при режиме, соответствующем производственному. После уплотнения, ножом срезаем избыток смеси и мастерком выравниваем и уплотняем поверхность бетона, добавляя при этом бетонную смесь в каверны на поверхности.

Сосуд с бетоном взвешиваем (масса m_2) и определяем среднюю плотность бетонной смеси по формуле:

$$\rho_{ср}^{б.с.} = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ кг/л},$$

где V – объем сосуда, л.

Аналогично приготавливаем два дополнительных замеса для того же состава, но с расходом воды на 20-25% больше и меньше полученного в первом замесе. После приготовления бетонных смесей и определения средней плотности и уплотненном состоянии подсчитываем объем уплотненной смеси, коэффициента выхода бетона и расходы материалов на 1м^3 бетона. Полученные данные сводим в таблицу А3.

Таблица А3 – Результаты расчета состава легкого бетона

	Замесы		
	1	2	3
1. Расход материалов на замес			
- цемента Ц, кг	0,5	0,5	0,5
- заполнителя, З,кг	3,654	3,654	3,654
- воды В,л	0,44	0,550	0,66

	1	2	3
2. Масса бетонной смеси ∑М,кг	4,594	4,704	4,814
3. Средняя плотность смеси $\rho_{ср}^{б.с.}$,кг/л	1,552	1,639	1,638
4. Объем смеси ($V_{б.с.} = \frac{\sum M}{\rho_{ср.}^{б.с.}}$),л	2,96	2,87	2,94
5.Коэффициент выхода бетона: ($r = \frac{V_б}{Ц / \rho_В^Ц + В + З / \rho_В^З}$)	0,61	0,57	0,58
6.Коэффициент выхода бетона: ($\beta = \frac{V_б}{Ц / \rho_В^Ц + З / \rho_В^З}$)	0,68	0,65	0,66
7. Расход материалов на 1м^3 бетона,кг			
- цемента $Ц = \frac{Ц*1000}{V_{б.с.}}$	169	174	170
- заполнителя $З = \frac{З*1000}{V_{б.с.}}$	1234	1273	1243
- воды $В = \frac{В*1000}{V_{б.с.}}$	149	192	224

Оптимальный расход воды для данного состава устанавливаем построением графика, аналогично рисунку 2.

Для определения расхода цемента, обеспечивающего достижение бетоном требуемой прочности для данного состава заполнителей дополнительно, по вышеописанной методике, изготовляем две партии составов с расходами цемента 0,375 и 0,675 кг на замес. В каждом составе определяем среднюю плотность свежеуложенной смеси и устанавливаем оптимальный расход так же, как и для первого замеса с расходом цемента 0,5 кг.

В результате опытных затворений и вычислений определены следующие составы с оптимальным расходом воды. Результаты приведены в таблице А4.

Таблица А4 – Результаты опытного подбора составов с оптимальным расходом воды

Расход материалов на замес, кг			Средняя плотность бет.смеси, кг/м^3	Расход материалов на м^3, кг		
Ц	В	З		Ц	В	З
0,375	0,515	3,654	1585	131	179	1275
0,5	0,55	3,654	1639	174	192	1273
0,675	0,585	3,654	1650	226	196	1222

Для установления окончательного расхода цемента определяем

зависимость $R_б$ = f(Ц), для чего готовим три серии образцов с различными расходами цемента при соответствующих им оптимальных расходах воды.

Приготовленные образцы твердеют в формах 1 стуки, после чего образцы распалубливаются и устанавливаются в камеру влажностного хранения, где находятся до срока испытания. Непосредственно перед испытанием образцы подвергаем осмотру. Образцы, имеющие видимые трещины и околы ребер глубиной более 20 мм, а также следы явного расслаивания бетонной смеси, испытанию не подлежат.

После осмотра определяем рабочее положение образца куба при испытании на сжатие, измеряем и взвешиваем образцы и испытываем их на сжатие.

Для определения расчетной средней плотности бетона куски образцов, испытанных на сжатие, измельчаем и сушим среднюю пробу при температуре 105-110 ^{o}C до постоянной массы.

Вычисляем среднюю плотность бетона в сухом состоянии по формуле:

$$\rho_{ср}^{б} = \frac{100 * \rho_{ср.ест}^{б}}{100 + W},$$

где $\rho_{ср.ест}^{б}$ - средняя плотность образцов бетона при испытании;

W – влажность бетона, %.

Результаты испытаний приводим в сводной ведомости и изображаем графически зависимость прочности аналогично рисунку 4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Баженов Ю.М. Технология бетона: Учебник для студентов вузов, обуч. по строит. спец. М.: АСВ, 2007. – 350 с.

2 Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 381 с.

3 Ушеров-Маршак А.В. Бетоноведение: лексикон: Толковый словарь. - М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2010. – 112 с.

4 ГОСТ 310.1-76* - ГОСТ 310.6-85* Цементы. Методы испытаний. Введен 1.01.78. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 40 с., ил.

5 ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний. Введен 1.11.2013. – М.: Издательство стандартов, 2013. – 67 с., ил.

6 СНиП 5.01.23-83. Типовые нормы расхода цемента для приготовления бетонов сборных и монолитных бетонных, железобетонных изделий и конструкций /Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 44с.