

Лабораторная работа №11
*Проектирование состава легких бетонов
на пористых заполнителях и исследование основных
факторов, влияющих на их состав*

Цель работы. Освоить методику проектирования состава легкого бетона на пористых заполнителях, исследовать основные технологические факторы, влияющие на получение бетона заданных параметров.

Введение. Подбор состава легкого бетона производится по такому же принципу, что и тяжелого бетона, на основе расчетно-экспериментального метода с той лишь разницей, что вследствие значительного разнообразия свойств и характеристик пористых заполнителей (даже в пределах одного и того же вида) невозможно пользоваться формулами для расчета прочности бетона и необходимо учитывать особенности свойств пористых бетонов и влияние на них качества заполнителей. При изготовлении легкобетонных изделий и конструкций наибольшее применение находит керамзитобетон. Поэтому в лабораторной работе приводится пример подбора состава керамзитобетона.

Содержание лабораторной работы. Работа состоит из нескольких заданий. Каждое звено выполняет задание по указанию преподавателя. Задания могут отличаться прочностью и средней плотностью бетона в сухом состоянии, удобоукладываемостью бетонной смеси. При одинаковой прочности бетона переменным фактором может быть марка и вид цемента, крупность гравия, соотношение между песком и гравием и др. Примерные задания для проектирования состава керамзитобетона приводятся ниже.

Задание 1. а) 1-е звено: подобрать состав керамзитобетона с прочностью 7,5 МПа, средней плотностью 900 кг/м³; жесткость бетонной смеси 6...7 с (ГОСТ 10181.1—81). Материалы: портландцемент марки 400; керамзитовый гравий — $D_{\text{наиб}}=20$ мм; песок—керамзитовый, доля песка g в смеси заполнителя равна 0.35; б) 2-е звено выполняет то же, что и звено 1, но уменьшается доля песка в смеси заполнителя $g=0,3$; в) 3-е звено выполняет работу, аналогичную звену 1, но увеличивается доля песка в смеси заполнителя $g=0,4$;

Задание 2. а) 4-е звено: подобрать состав конструктивного керамзитобетона с прочностью 20 МПа, средней плотностью 1600 кг/м³; жесткость бетонной смеси 6...7 с. Материалы: портландцемент марки 400; керамзитовый гравий — 20мм; песок—кварцевый; б) 5-е звено выполняет ту же работу, что звено 4, но использует портландцемент марки 500; в) 6-е звено выполняет ту же работу, что звено 4, но жесткость бетонной смеси принимает 15 с.

Указание по проведению лабораторной работы. В основу проектирования состава легких бетонов положено экспериментальное построение зависимостей $R_6 = f(\Pi)$ и $\rho_6 = f(\Pi)$ для данных конкретных условий (исходные материалы, активность цемента, подвижность смеси и др.). Для

построения этих зависимостей готовят три опытных замеса равноподвижных бетонных смесей с различными расходами цемента.

Проектирование состава легких бетонов на пористых заполнителях по расчетно-экспериментальному методу складывается из трех последовательно выполняемых этапов: 1) предварительно назначается (рассчитывается) ориентировочный расход составляющих материалов на 1 м³ бетона и на приготовление опытного замеса объемом V (л) для трех составов бетона, отличающихся расходом цемента, например один замес с расходом цемента, выбранным по табличным данным, и два других, отличающихся от принятого значения на ±20...25%; 2) в процессе приготовления пробных замесов уточняются составы бетона, изготавливаются контрольные образцы, по которым и определяют показатели прочности при сжатии и среднюю плотность бетона в сухом состоянии и др.; 3) по полученным результатам испытаний строят кривые зависимости прочности и средней плотности, а также водопотребности бетонной смеси от расхода цемента и определяют искомый состав бетона.

I этап. Для предварительного назначения ориентировочного расхода составляющих материалов на 1 м³ и на опытные замесы бетонной смеси объемом V (л) производятся следующие расчеты.

1. Назначается ориентировочный расход цемента в зависимости от требуемой прочности легкого бетона, от марки керамзита и средней плотности керамзитобетона в соответствии с рекомендациями табл. 1.

Таблица 1. Ориентировочный расход цемента (марки 400) для керамзитобетона плотного строения различных классов (жесткость бетонной смеси Ж-25...30с по ГОСТ 10181-62 или 6...7с по ГОСТ 10181.1—81)

Марка керамзита	Расход цемента, кг/м ³ , керамзитобетона класса:											
	B3,5		B5		B7,5		B10		B15		B22,5	
350...400	220	230	270	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	950	950	1100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
450...500	210	220	250	270	300	340	400	—	—	—	—	—
	1050	1050	1100	1700	1400	1800	1500	—	—	—	—	—
550...600	200	210	230	250	280	320	380	470	500	—	—	—
	1150	1150	1200	1800	1400	1800	1500	1800	1700	—	—	—
700	—	200	220	240	270	310	360	440	470	—	—	—
	—	1250	1250	1800	1400	1800	1500	1800	1700	—	—	—
800	—	—	—	230	250	300	340	480	460	—	—	—
	—	—	—	1800	1500	1800	1500	1800	1600	—	—	—

Примечание. Предварительно определяется, к какому классу исходя из заданной прочности относится керамзитобетон, а также к какой марке по

насыпной плотности относится применяемый для приготовления легкого бетона керамзит и соответствует ли его прочность при сдавливании в цилиндре этой марки. Над чертой - расход цемента, под чертой – средняя плотность бетона в высушенном состоянии. При использовании цемента марки 300 норма его расхода для бетона класса В3,5; В5; В7,5; В10; В15 соответственно повышается на 3, 7, 10, 15 и 20%. При использовании цемента марки 500 его расход понижается для бетонов класса В7,5; В15; В20 и В22,5 соответственно на 10, 12, 14, 16%. При повышении подвижности бетонной смеси до 2,5 и 8 см расход цемента соответственно повышается на 7, 15 и 20%, а при повышении жесткости бетонной смеси до 40...60с расход цемента снижается на 10%.

Таблица 2. Ориентировочный расход воды на приготовление керамзитобетонной смеси плотного строения

Показатель удобоукладываемости смеси		Расход воды, л/м ³ , керамзитобетона на песке				
		кварцевом			керамзитовом	
осадка конуса, см	жесткость, с	при насыпной плотности керамзитового гравия				
	по ГОСТ 10181-81	300	500	800	300	500
—	22...25	175...190	165...180	155...170	210...225	200...215
—	15...20	185...200	175...190	165...180	225...240	215...235
—	7...13	195...210	185...200	175...190	250...270	240...260
—	4...7	205...220	195...210	185...200	275...300	265...290
3...5	—	215...230	205...220	195...210	300...325	290...315
6...8	—	225...240	215...230	205...220	325...350	315...340
9...12	—	235...250	225...240	215...230	350...375	340...360

Примечание. Таблица рассчитана на сухой керамзитовый гравий с $D_{\text{наиб}} = 20\text{мм}$ и на песок средней крупности. При $D_{\text{наиб}} = 10\text{мм}$ расход воды увеличивается на 20л на 1м³. При $D_{\text{наиб}} = 40\text{мм}$ — уменьшается на 15л. При использовании мелкого песка или зоны - уноса расход воды увеличивается на 10 л/м³ бетона. Данные относятся к керамзитобетону содержащему 35-45% песка от общего объема смеси заполнителей. При меньшем или большем содержании песка расход воды соответственно уменьшается или увеличивается на 1..1,5 л на каждый процент изменения содержания песка. При применении пуццолановых или шлакопортландских» цементов расход воды увеличивается на 15-.20 л/м³ бетона.

Назначается ориентировочный расход воды в соответствии с заданным показателем подвижности жесткости смеси по табл. 2. в зависимости от вида песка и насыпной плотности керамзитового гравия.

Рассчитывается ориентировочный расход крупного и мелкого заполнителя, кг на 1 м^3 бетонной смеси, исходя из заданной средней плотности бетона в сухом состоянии по формуле

$$Z_0 = \rho_6 - 1,15Ц,$$

где ρ_6 — заданная плотность сухого бетона, кг/м^3 ; $1,15Ц$ — масса цементного камня в бетоне с учетом химически связанной гидратной воды в нем, кг.

Затем определяют расход гравия и песка по массе кг на 1 м^3 :

$$П = \frac{Z_0 r^п}{r^п + (1 - r) r^г},$$

где $r^п$ и $r^г$ — насыпная плотность соответственно фракционированного песка и гравия; r — доля песка в смеси заполнителей (выбирают по данным табл. 3, суммируя зерновой состав фракций до 5 мм).

Таблица 3. Ориентировочные зерновые составы смеси фракционированных заполнителей для легкого бетона

Размер зерна, мм	Зерновой состав заполнителя, % от суммы объемов отдельных фракций смеси для бетона				
	конструктивно-теплоизоляционного			конструкционного	
	при наибольшей крупности зерен, мм				
	10	20	40	10	20
До 1,25	25	20	15	25	20
1,25 ... 2,5	15	15	10	20	15
2,5 ... 5	10	10	10	10	15
5 ... 10	50	25	15	45	20
10 ... 20	—	30	20	—	30
20 ... 40	—	—	30	—	—

Примечания, При переходе от гравия к щебню содержание песчаных частиц увеличивается на 5... 7% и соответственно уменьшается содержание фракций крупного заполнителя.

Расход гравия кг:

$$Г = Z - П$$

Ориентировочный расход крупного заполнителя для конструктивно-теплоизоляционных бетонов в объемном исчислении может быть равным примерно $0,90\text{ м}^3$ на 1 м^3 бетона. Для конструкционного керамзитобетона этот

расход может быть определен в зависимости от марки керамзита (по насыпной плотности) и класса керамзитобетона по табл. 3.

Зная общий расход песка и гравия, можно рассчитать их расход по отдельным фракциям, пользуясь рекомендациями оптимальных зерновых составов смеси заполнителей в соответствии с табл. 3. Для расчета расхода каждой фракции заполнителей по массе вначале необходимо определить соотношение фракций по массе. Для этого перемножают объемные доли соотношений фракций заполнителей из табл. 3. на значение соответствующей насыпной плотности каждой фракции, определенную до начала расчета. Затем рассчитывают расход каждой фракции заполнителей на 1 м³ бетонной смеси по массе (кг), исходя из найденных выше расходов песка и гравия по формулам. Определив расход материалов на 1 м³ бетонной смеси при принятом значении расхода цемента (см. табл.1), аналогично рассчитывают расходы материалов для двух других составов при расходе цемента ±20...25% против табличного.

Затем рассчитывают ориентировочные расходы материалов на три опытных замеса объемом V (л).

Таблица 4. Ориентировочный расход керамзитового гравия

Класс керамзитобетона	Марка керамзитового гравия	Расход керамзита, м ³ на м ³ бетона, при плотности керамзитобетона, кг/м ³				
		1400	1500	1600	1700	1800
B10	400	0,70	0,64	0,54	—	—
	500	0,74	0,67	0,57	—	—
	600	0,80	0,74	0,67	0,56	—
	700	0,84	0,77	0,70	0,60	—
B15	500	0,77	0,70	0,58	0,50	—
	600	0,83	0,77	0,68	0,58	—
	700	0,85	0,80	0,72	0,60	0,50
	800	0,88	0,83	0,75	0,67	0,53
B20	500	—	0,71	0,59	0,57	—
	600	0,84	0,78	0,69	0,59	0,50
	700	0,86	0,82	0,73	0,62	0,52
	800	0,89	0,84	0,77	0,68	0,54
B22,5	600	—	0,80	0,70	0,60	0,50
	700	—	0,84	0,75	0,67	0,53
	800	—	0,86	0,80	0,70	0,56

II этап. 1. Готовят опытные замесы с корректированием содержания воды в каждом из них до получения заданной подвижности или жесткости бетонной смеси исходя из положения, что каждому составу бетонной смеси, при принятом режиме уплотнения соответствует оптимальный расход воды, обеспечивающий наибольшую среднюю плотность при сохранении

однородности и наибольшей прочности. Для каждого опытного замеса изготавливают 3...4 серии бетонной смеси с разным расходом воды (объем замеса 1,5. ..2 л) отличающиеся на $\pm 10. \dots 20\%$ от табличного значения. При этом бетонная смесь должна обладать связностью, иметь характерный блеск и комковаться при сжатии в руке. Отсутствие блеска и связности указывает на недостаток воды. Отделение цементного молока при перемешивании является признаком избытка воды в смеси. Для каждого

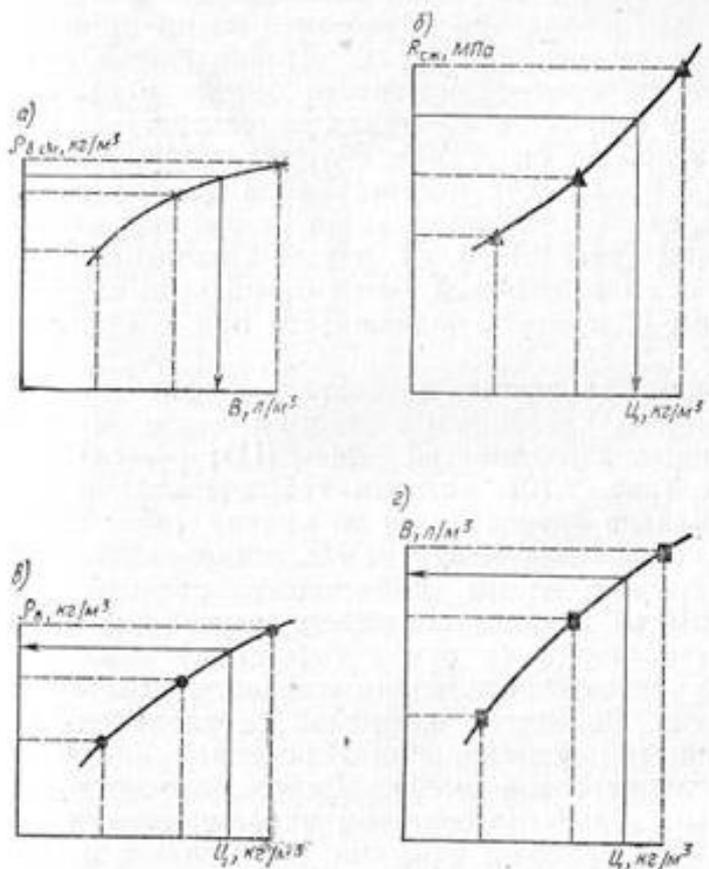


Рис. 1. Пример построения графических зависимостей при подборе состава керамзитобетона:
 а — определение оптимального расхода воды; б — зависимость прочности керамзитобетона от расхода цемента; в — зависимость средней плотности керамзитобетона от расхода цемента; г — определение водосодержания бетонной смеси по установленному расходу цемента

состава при разном расходе воды определяют среднюю плотность бетонной смеси (в сосуде вместимостью 1л), вибрируя ее в течение заданного времени уплотнения. По результатам определения плотности смеси строят график $\rho_{б.см}=f(V)$ при постоянном времени уплотнения (рис.1) и уточняют количество воды, обеспечивающее получение заданной средней плотности бетонной смеси (кг/м^3)

$$\rho_{б.см} = \rho_б + (V - 0,15C).$$

Для каждого замеса, исходя из полученной средней плотности бетонной смеси и уплотненном состоянии определяется фактический расход материалов на 1 м³ бетона по методике, изложенной в предыдущей лабораторной работе.

Из бетонной смеси каждого замеса изготавливают образцы-кубы размером 100x100x100 мм с их последующим твердением в нормальных температурных условиях или с тепловой обработкой по принятому режиму; образцы испытывают в установленный срок для определения средней плотности бетона в высушенном состоянии и прочности бетона при сжатии.

III этап. На основании полученных результатов испытаний производят построение зависимостей прочности и средней плотности бетона от расхода цемента на 1 м³ бетона, а также зависимость содержания воды в бетонной смеси от расхода цемента при заданном показателе подвижности или жесткости.

Назначение искомого состава, удовлетворяющего требованиям, указанным в задании, делается на основе полученных зависимостей $R_b=f(C)$; $\rho_b=f(C)$ и $V=f(C)$ (рис.1) методом графической интерполяции. Сначала определяется по кривой (рис.1б) необходимый расход цемента, обеспечивающий заданную: прочность бетона; по найденному расходу цемента (рис.1в) находят соответствующие ему среднюю: плотность бетона (в сухом состоянии) и затем (рис.1г) уточняют необходимое водосодержание бетонной смеси. Расход заполнителей определяется из графической (интерполированной) средней плотности уплотненной бетонной смеси. Далее, в соответствии с принятым зерновым составом заполнителей, рассчитывают расход каждой фракции для мелкого и крупного заполнителей. В тех случаях, когда оптимальное содержание заполнителей уточняется экспериментальным способом, необходимо сделать еще две серии аналогичных опытных замесов (по три замеса в каждой серии соответственно трем принятым расходам цемента) при двух значениях r — с увеличенным и уменьшенным на 10% от исходного содержания песка в первой серии. В этом случае (при девяти опытных замесах) вместо одной кривой на каждом графике (см. рис.1 б, в, г) будет по три кривых для каждого значения r . Оптимальное содержание заполнителей должно обеспечить заданные показатели по удобоукладываемости смеси, средней плотности и прочности бетона при сжатии при наименьшем расходе цемента.

По результатам работы трех звеньев делается сравнительная оценка эффективности подобранных составов керамзитобетона, с учетом стоимости материалов на 1 м³ бетона.

Проектирование состава керамзитобетона может быть также выполнено с применением планирования эксперимента и с использованием математико-статистических методов.

Рекомендуемая литература:

1. Баженов Ю. М. Технология бетона. М., 2007.
2. Баженов Ю. М., Комар А. Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М., 2005.
3. Инструкция по изготовлению изделий и деталей сборных конструкций из силикатного бетона плотной структуры. Изд. ВНИИСТРОМ им. П. П. Будникова,—М., 2004.
4. Ицкович С. М. Заполнители для бетона. Минск. 2005.
5. Лещинский М. Ю. Испытание бетона. М., 2005.
6. Методические рекомендации по определению фактического водоцементного отношения в свежеприготовленной бетонной смеси. Изд. НИИЖБ Госстроя СССР.—М., 1980.