

ВЛИЯНИЕ КРУПНОСТИ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА КАЧЕСТВО КЕРАМЗИТОБЕТОНА

Керамзит как строительный материал представляет собой химически мало-активный керамический зернистый сыпучий материал, получаемый обжигом со вспучиванием подготовленных гранул или зерен из природного глинистого сырья с добавками или без добавок. Его можно использовать в качестве легкого мало-теплопроводного заполнителя для изготовления неармированных и армированных легких бетонов [1].

Установлено, что прочность керамзитобетона увеличивается не только при большей прочности заполнителей, но и при уменьшении их крупности [3]. Целью настоящего исследования является определение показателей бетона при изменении крупности заполнителя. Важной особенностью легких бетонов на пористых заполнителях является то обстоятельство, что каждый крупный заполнитель позволяет получать бетоны только до определенной прочности R_b , по достижении которой дальнейшее повышение прочности невозможно. Существенное влияние на прочность легких бетонов оказывает концентрация заполнителя, влияние которой зависит от соотношения его прочности и прочности цементного камня [2].

Для установления механизма повышения прочности керамзитобетона нужно рассматривать структуру зоны контакта между заполнителем и цементным камнем.

Фактором, способствующим повышению когезионной прочности, является зона контакта. При уплотнении бетонной смеси на пористых заполнителях цементное тесто частично заполняет поры заполнителя. М. Штоль, О.Ш. Кикава установили, что благодаря частичному заполнению пор крупного заполнителя цементным тестом прочность R_b на относительно легких заполнителях благодаря заполнению широких пор выравнивается по сравнению с бетоном на плотных заполнителях [5].

Для экспериментальной проверки было отобрано около двухсот зерен шаровидной формы. Определялись диаметр, объемная масса каждого зерна и предел прочности при растяжении в условиях диаметрального сжатия. Исследования парной корреляции между измеренными величинами подтверждают, что с уменьшением размера зерен увеличивается их объемная масса и прочность. Влияние плотности на прочность не установлено, поскольку корреляция между указанными признаками не наблюдалась (рис. 1,а).

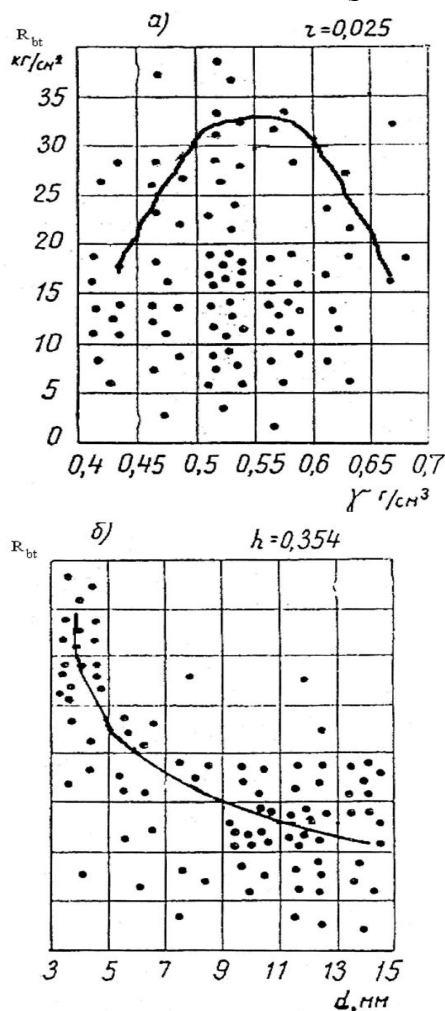


Рис. 1. Поля корреляции зависимости предела прочности при растяжении при диаметральной сжатии зерен керамзита от их плотности (а) и от диаметра (б)

Поле корреляции, представленное справа (рис. 1, б), показывает влияние размера зерен на прочность. Так как эмпирическая линия регрессии имела криволинейный характер, «тесноту» связи выразили не коэффициентом корреляции, а корреляционным отношением $\eta=0,354$. Показатель достоверности при этом был равен 4,12, что соответствует вероятности результата 0,9999. Наименьшую сумму квадратов отклонений дало уравнение связи:

$$R_p = 65,3 \cdot d - 0,6, \quad (1)$$

где R_p - предел прочности на растяжение при диаметральной сжатии зерен, кгс/см²; d - диаметр зерен, мм.

Исследование макроструктуры зерен различного размера, но одного объемного веса, показало, что характер структуры у них примерно одинаковый. Искать причину повышения прочности зерен можно с позиций статистической теории хрупкого разрушения, которое зависит от местного напряжения в точке, где встречается наиболее опасный дефект структуры. В теле имеется большое количество таких дефектов и они подчиняются статистическому распределению. Чем больше тело, тем больше вероятность обнаружения элемента низкой прочности, тем вообще ниже прочность тела в целом [5]. Таким образом, увеличение прочности зерен керамзита при уменьшении их размера обуславливается не только увеличением относительного объема плотной корочки, как это

считали [6], но и вероятностным уменьшением дефектов структуры.

Таблица 1 - Интервалы варьирования независимых переменных

	Переменные в натуральном масштабе			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄ в мм
Основной уровень A_i ($x_i=0$)	1,75	0,55	-	-
Интервал варьирования Δt	0,25	0,05	-	-
Верхний уровень ($x_i=+1$)	2	0,6	К	0-20
Нижний уровень ($x_i=-1$)	1,5	0,5	С	0-5

При изучении влияния крупности заполнителя на прочность бетона пред-полагалось, что все прочие условия оставались идентичными. Но эти условия невозможно выдержать одинаковыми: либо можно сохранить одно и тоже водоцементное отношение, либо подвижность бетонной смеси.

Перевод переменных из натурального масштаба к кодовому производился по формуле (2):

$$x_i = \frac{X_i - A_i}{\Delta_i} \quad (2)$$

Бетонная смесь изготавливалась на керамзите, состоящем из зерен 0-5 и 5-20 мм. При этом соотношение между объемами фракций 5-10 и 10-20 мм в керамзитовой смеси было равно 1,67. Использовался цемент марки 400.

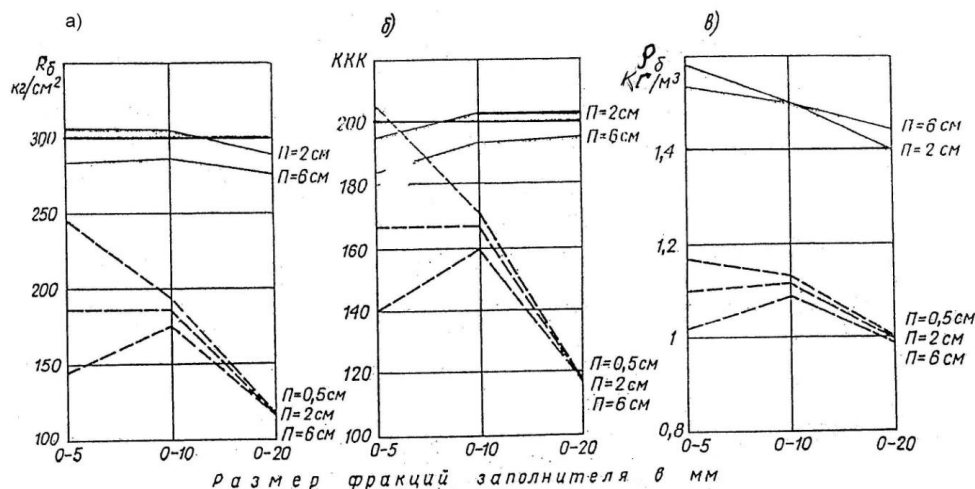


Рис. 2. Зависимость прочности (а), коэффициента конструктивного качества (б), и плотности (в) керамзитобетона от крупности заполнителя при различной подвижности бетонной смеси.

В табл. 2 приведены матрицы планирования экспериментов и результаты экспериментов.

Ниже представлена обработка результатов опытов методом наименьших квад-

ратов для следующей модели прочности, коэффициента конструктивного качества бетона и подвижности бетонной смеси:

Таблица 2 - Матрица планирования и результаты экспериментов

№ п/п	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	Прочность бетона при сжатии в кгс/см ²	Плотность высушенного бетона в г/см ³	Коэффициент конструктивного качества бетона	Подвижность бетонной смеси по ГОСТ 10181-62 в см	Фактический расход цемента на 1 м ³ бетона в кг
1	1	+1	+1	+1	+1	203,8	1,34	152	8,5	460
2	1	+1	+1	+1	-1	211,0	1,51	140	1,0	500
3	1	+1	+1	-1	+1	110,2	0,88	126	8,5	440
4	1	+1	+1	-1	-1	176,6	1,06	167	-	484
5	1	+1	-1	+1	+1	211,0	1,39	152	2,5	480
6	1	+1	-1	+1	-1	290,7	1,57	185	-	520
7	1	+1	-1	-1	+1	116,0	0,89	131	0,5	440
8	1	+1	-1	-1	-1	111,3	1,03	108	-	470
9	1	-1	+1	+1	+1	193,1	1,32	147	25,0	540
10	1	-1	+1	+1	-1	198,5	1,48	134	20,0	580
11	1	-1	+1	-1	+1	103,6	0,94	110	25,0	520
12	1	-1	+1	-1	-1	198,3	1,11	179	3,0	575
13	1	-1	-1	+1	+1	238,0	1,36	175	13,0	552
14	1	-1	-1	+1	-1	298,3	1,57	190	4,5	610
15	1	-1	-1	-1	+1	114,3	0,99	115	7,6	550
16	1	-1	-1	-1	-1	246,5	1,16	212	0,5	660

Примечание. Значения прочности, объемного веса и подвижности являются средними значениями трех параллельных определений.

$$R_6 = 188,8 - 10 x_1 - 14,4 x_2 + 41,7 x_3 - 27,6 x_4 + 11 x_1 x_2 + 8,5 x_1 x_3 + 9 x_1 x_4 - 14,5 x_2 x_3 + 5,9 x_2 x_4 + 8,5 x_3 x_4 - 3,7 x_1 x_2 x_3 - 5,7 x_1 x_2 x_4 - 12 x_1 x_2 x_4 + 10 x_2 x_3 x_4 + 8 x_1 x_2 x_3 x_4; \quad (3)$$

$$K_{кк} = 157,75 - 15,25 x_2 + 3,75 x_3 - 21 x_4 - 5,75 x_2 x_3 + 7 x_2 x_4 + 20,5 x_3 x_4; \quad (4)$$

$$\Pi = 12,33 + 5,93 x_2 + 3,26 x_3 + 5,33 x_4 + 0,95 x_2 x_3 + 1,43 x_2 x_4 - 1,92 x_3 x_4 - 2,3 x_2 x_3 x_4; \quad (5)$$

Уравнение (3) получено обработкой результатов всех опытов, представленных в табл. 2, а уравнения (4) и (5) - обработкой

только восьми последних при постоянном значении $x_1 = -1$.

При выполнении некоторых опытов (опыты 4, 6 и 8) подвижность бетонной смеси зафиксировать не удалось, эти смеси оказались слишком жесткими.

Проверка коэффициентов регрессии уравнения (3) по критерию Стьюдента показала, что все они значимы с достоверностью 0,95.

Наибольшее влияние на прочность бетона в принятом интервале варьирования

переменных оказывает прочность заполнителя (x_3). Увеличение ее ведет к увеличению прочности бетона. Далее по силе влияния идет крупность заполнителя (x_4). Знак коэффициента перед этой переменной отрицательный. Следовательно, уменьшение крупности заполнителя ведет к росту прочности бетона. Действие факторов x_1 и x_2 более слабое, отрицательные значения коэффициентов при них подтверждают известные зависимости: увеличение водоцементного отношения и увеличение расхода заполнителя приводит к снижению прочности бетона.

Рассмотрим влияние эффектов взаимодействия факторов на примере x_1 и x_2 . Коэффициент регрессии перед фактором положительный. Следовательно, совместное увеличение или уменьшение x_1 и x_2 приводит к увеличению прочности бетона.

Анализ уравнения (4) показывает, что характер влияния переменных факторов на конструктивные качества бетона аналогичен характеру их влияния на прочность бетона. Однако по силе влияния факторы располагаются в несколько ином порядке по степени убывания: крупность заполнителя, водоцементное отношение, прочность заполнителя.

Из уравнения (5) видно, что на подвижность бетонной смеси наибольшее влияние оказывает водоцементное отношение, затем крупность заполнителя и, наконец, фактор x_3 , который в этом случае следует рассматривать с точки зрения водопотребности песка. Подвижность бетонной смеси увеличивается с ростом этих факторов.

Представляется целесообразным исследовать влияние крупности заполнителя на прочность и коэффициент конструктивного качества бетона при некотором постоянном значении подвижности бетонной смеси.

Графически зависимости выражены на рис. 2, там же приведены производные зависимости объемного веса от крупности заполнителя. Из графиков видно, что кривые, соответствующие бетонам на керамзите, при разной подвижности бетонной смеси имеют разный характер. При подвижности бетонной смеси, равной 0,5

см - это убывающая функция, при подвижности 2 см - функция с максимумом, расположенным где-то между $x_4=0-5$ и $x_4=0-10$ мм. То же при подвижности 6 см, но максимум смещается в сторону крупных фракций.

Прочность бетона на керамзите смеси фракций 0-20 мм практически не зависит от подвижности бетонной смеси, а, следовательно, и от водоцементного отношения. Так как прочность цементного камня с уменьшением водоцементного отношения растет, можно сделать вывод, что прочность бетона, равная 116 кгс/см^2 , будет предельной при использовании керамзита смеси фракций 0-20 мм, т.е. керамзита, у которого прочность фракции 10-20 мм составляет 11 кгс/см^2 . Этот вывод согласуется с известным положением А.И. Ваганова [8] о наличии предельной прочности бетона на данном конкретном пористом заполнителе. Дальнейшее увеличение прочности возможно за счет уменьшения в нем относительного содержания заполнителя (например, уменьшения фактора x_1), но при этом резко увеличивается объемный вес и уменьшается коэффициент конструктивного качества бетона.

Другой путь повышения прочности без значительного увеличения расхода цемента и увеличения объемного веса заключается в использовании менее крупного заполнителя. Так, предельной прочностью бетона на керамзите смеси фракций 0-10 мм является $R_b \approx 200 \text{ кгс/см}^2$.

Рекомендации по применению в керамзитобетонах заполнителей той или иной крупности легче сделать, используя отношение R_b/R_k , где R_k – средняя прочность керамзитового гравия фракции 10-20 мм.

Из-за отсутствия стандартных методов оценки прочности мелких заполнителей величина R_k , равная прочности керамзита фракции 10-20 мм, в нашем случае является условным прочностным показателем керамзитового заполнителя. Условная прочность керамзитового заполнителя равна $11-31 \text{ кгс/см}^2$.

Поскольку предельная прочность бетона на керамзите смеси фракций 0-20 мм равна 116 кгс/см^2 , то предельное отношение R_b/R_k для этого случая будет равно

116/11 \approx 10, для керамзита смеси фракций 0-10 мм: 200/11 \approx 20.

Учитывая значительное количество реликтовых зерен в структуре бетона, а также условия внешней среды (повышенная влажность, положительные температуры, особенности напряженного состояния) можно утверждать о наличии существенного ресурса адаптивности, имеющегося в бетоне строительных конструкций объектов различного назначения [9]. Что касается наших выводов относительно механизмов влияния крупности заполнителя в структуре керамзитобетона, то они вполне вероятны, поскольку подтверждены экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Скрамтаев Б.Г., Гереванов Н.А., Мудров Г.Г. Строительные материалы. Строй-издатнаркома. - 1940. - 300 с.
2. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат. - 1984. - С. 670-672.
3. Гасанов А.Б. Керамзитобетонные дренажные трубы повышенной прочности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Харьков. - 2002. - С. 81-87.
4. Бужевич Г.А. и др. Исследование свойств керамзитобетона. // «Бетон и железобетон». - №4. - 1964.
5. Штоль М., Кикава О.Ш. Технология керамзитобетонных изделий на горячем заполнителе. М.: Стройиздат. - 1986. - 136с.
6. Спивак Н.Я. Производство крупнопанельных ограждающих конструкций и зданий из керамзитобетона. М.:Стройиздат. - 1961.
7. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экспериментов. М.:Наука - 1965.
8. Ваганов А.И. Исследование свойств керамзитобетона. М.: Стройиздат. - 1960.
9. Чернявский В.Л., Гасанов А.Б. К адаптации абиотических систем. // Всеукраинский научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы и изделия». - №5-6 (82-83). - Спецвыпуск 2013. - с.43.

УДК 691.32:002.2:697.14

Кугаєвська Т.С., Бондар Л.В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ ТЕПЛОПОВІТРЯНИХ БАЛАНСІВ ФОРМУВАЛЬНОГО ЦЕХУ ЗАВОДУ ЗБВ У ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД РОКУ

Вступ. Енергозбереження при теплової та теплової обробці бетонних і залізобетонних виробів є одним із пріоритетних напрямів досліджень у цій сфері виробництва.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Дослідники значну увагу приділяють зменшенню витрат теплоносія при теплової та теплової обробці бетонних і залізобетонних виробів. Так, у статті [1] наведено, зокрема, порівняння економічності використання для теплової обробки залізобетонних виробів у касетах водяної пари, суміші продуктів спалювання газу й повітря, а також електронагріву. У джерелі [2] відображено дослідження процесу теплової обробки бетонних виробів у пропарювальній камері з

аеродинамічним нагрівачем роторного типу на основі енергетичних і матеріальних балансів для подальшого вибору раціональних режимів технологічного процесу з меншою витратою енергії. У роботі [3] проаналізовано елементи методики вибору енергозберігаючих режимів теплової обробки бетону. У роботі [4] наведено характеристики інфрачервоних випромінювачів, оптимальних для теплової обробки бетонних виробів. У джерелі [5] відображено результати експериментальних досліджень теплової обробки бетону продуктами спалювання газу.

Аналіз доцільності застосування нових способів теплової чи теплової обробки бетонних і залізобетонних виробів та вдосконалення існуючих способів