

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СОСТАВА НА СВОЙСТВА КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА КАРБОНАТНОМ ПЕСКЕ И ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОМ ВЯЖУЩЕМ

Дорофеев В.С., Столевич И.А., Зинченко С.В., Столевич А.С.,
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса)

Получены удобные для практического использования зависимости прочностных и деформативных свойств керамзитобетона на карбонатном песке с применением цементно-зольного вяжущего.

Большинство основных конструкций в современном строительстве выполняется из различных видов железобетона – материала, сохраняющего за собой доминирующее положение на самую далекую перспективу.

Существенную роль в совершенствовании бетонных и железобетонных конструкций должно сыграть снижение их массы. В связи с этим за последние время значительно возросла роль легких бетонов на пористых заполнителях, которые находят все более широкое и комплексное применение не только как изоляционный, но и как эффективный конструкционный материал для несущих конструкций различных зданий и сооружений. Использование искусственных пористых заполнителей позволяет решить острую проблему замены природных тяжелых заполнителей. Однако в этой области предстоит многое сделать, чтобы повысить эффективность их использования. Здесь имеются значительные резервы повышения качества и снижения стоимости бетона и, следовательно, конструкций.

Одним из направлений увеличения производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций, в тоже время, позволяющим снизить их себестоимость, получить экономию цемента, песка - является использование золы-уноса ТЭС, отходов камнепиления низкопрочных известняков-ракушечников и химические добавки [1,2,5,6].

Широкое использование зол в бетоне началось после того, как выяснилось, что мелкие частицы высококачественной золы обладают пуццолановыми свойствами. К 1980г. во всем мире зола была признана материалом, имеющим важное значение в качестве добавки к бетону, заменяющей части цемента.

Проведенные исследования в ОИСИ, НИИЖБ, ГИСИ, НИИСМИ, выполненные исследовательские, производственно - технологические и технико-экономические работы, их внедрение в производство убедительно показывают целесообразность более широкого использования керамзитобетона на карбонатном песке в сборном и монолитном строительстве, что должно обеспечить качество и экономическую эффективность.

Исследование керамзитобетона на цементно-зольном (ЦЗ)-вяжущем проводилось в лабораториях кафедры ЖБиКК ОГАСА и ЗЖБК ООО «Кулиндоровского индустриального концерна».

Для определения свойств керамзитобетона на карбонатном песке и (ЦЗ)-вяжущем были использованы следующие материалы:

- портландцемент ОАО «ЮГ цемент» марка 400 – ДСТУ Б В.2.7-6-96;
- зола-унос Ладыжинской ТЭС – ГОСТ 25818-91;
- керамзитовый гравий Кулиндоровского завода из глин Фонтанского месторождения Одесской области – ДСТУ Б В.2.7-17-95;
- песок карбонатный из известняков-ракушечников Орловского месторождения Одесской области – ДСТУ Б В.2.7-95;
- пластификатор С-3 в качестве 0,6% от массы цемента.

Таблица 1

Оптимальные составы керамзитобетона на карбонатном песке

Проектная прочность, МПа	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг/м ³						Плотность бетона, ρ кг/м ³	Прочность R ₂₈ , МПа
	г	Цемент	Зола-унос	Керамзит	Песок	Вода		
10	0,52	180	150	560	610	210	1520	11,2
15	0,53	220	150	560	620	230	1585	16,8
20	0,54	250	150	580	685	250	1695	21,7
25	0,53	290	150	610	705	260	1780	25,9
30	0,54	330	150	610	720	275	1825	32,4

Готовую смесь укладывали в формы и уплотняли на виброплощадке СМЖ 529. После выдержки 2...4ч. Образцы кубов и призм загружали в универсальную пропарочную камеру КПУ-1.

Пропарку изделий производили по режиму 3+7+2 при t = 85±5°. Температурно-влажностные условия в помещении лаборатории: t =

$21 \pm 4^\circ$; влажность – $w = 70 \pm 10\%$. Из каждого состава керамзитобетона изготавливали по два экспериментальных элемента и по 6 кубов и 6 призм. Призмы и кубы испытывали после пропарки, на 28 сутки и в день испытания конструктивного элемента.

Для изучения свойств керамзитобетона на карбонатном песке и (ЦЗ)-вяжущем использовали методы математического планирования эксперимента [3,4]. Обработка результатов эксперимента с целью выявления закономерностей влияния исследуемых факторов – расход: цемента (x_1); золы-унос (x_2); керамзитового гравия (x_3); карбонатного песка (x_4) на водопотребность керамзитобетонных смесей – V , объем межзерновых пустот V_n , плотность керамзитобетонной смеси – ρ_0 и плотность керамзитобетона ρ позволили получить с 95% надежностью квадратичные уравнения регрессии, которые с учетом только значимых коэффициентов регрессии имеют вид:

$$V = 252,3 + 4,7x_1 + 6,8x_2 + 2,2x_3 + 3,11x_1x_2 + 2,22x_2x_3 + 10,2x_3^2 - 4,1x_3x_4 + 3,41x_4^2; \quad (1)$$

$$\rho_0 = 1643 + 56,7x_1 + 26,2x_2 + 31,4x_3 + 121x_4 + 11,62x_2^2 - 12,56x_3x_4; \quad (2)$$

$$V_n = 1,504 - 0,22x_1 - 0,18x_4 - 0,28x_1^2 + 0,22x_1x_2 + 0,26x_1x_3 + 0,48x_2^2 + 0,13x_2x_4 + 0,14x_3^2. \quad (3)$$

Водопотребность керамзитобетонных смесей почти в одинаковой мере зависит от содержания вяжущих компонентов и от содержания крупного, мелкого заполнителей [1,2,5,6].

По результатам экспериментальных исследований с 95% надежностью получены квадратичные уравнения регрессий кубиковой и призмочной прочности в возрасте 1(п.п.), 28, 115*, 180* и 360* сут., керамзитобетона на (ЦЗ)-вяжущем и карбонатном песке, которые с учетом только значимых коэффициентов регрессии имеют вид:

$$R_{(п.п)} = 18,2 + 3,2x_1 + 1,5x_2 + 1,8x_3 + 2,1x_4 + 2,3x_1^2 + 2,3x_1x_2 + 1,2x_1x_3 - 1,3x_3x_4 - 1,7x_4^2; \quad (4)$$

$$R_{(28)} = 20,75 + 4,7x_1 + 3,1x_2 + 1,8x_3 + 2,1x_4 + 2,9x_1^2 + 2,4x_1x_2 - 1,3x_3x_4 - 1,3x_4^2; \quad (5)$$

$$R_{b(п.п)} = 16,72 + 3,7x_1 + 2,8x_2 + 1,9x_3 + 1,5x_4 - 2,7x_1^2 + 2,2x_1x_2 + 1,7x_1x_3 - 1,1x_3x_4 - 1,2x_4^2; \quad (6)$$

$$R_{b(28)} = 19,8 + 4,4x_1 + 1,8x_2 + 1,9x_3 + 2,8x_4 + 2,5x_1^2 + 2,1x_1x_3 - 1,1x_3x_4 - 1,1x_4^2. \quad (7)$$

ПРИМЕЧАНИЕ: Результаты возраста 115*, 180*, 360* сут. здесь и в дальнейшем не приведены из-за сокращения объема статьи.

Для упрощения квадратичных уравнений регрессии (4-7), была использована линейная зависимость. При назначении аргумента "х" исходили из необходимости учета существенно влияющего на прочность, но не

включенного в качестве фактора расхода воды. Окончательно аргументом назначим $x = [(B/ЦЗ)+r]$, который можно принять в качестве обобщенного фактора состава. По результатам математико-статистического анализа установлено, что случайные величины $x=[(B/ЦЗ)+r]$ подчиняются закону нормального распределения. Нулевая гипотеза о равенстве нулю генерального коэффициента корреляции $H_0: \rho_{xy}=0$ отвергнута в пользу альтернативной $H_1: \rho_{xy} \neq 0$ при уровне зависимости $\alpha = 0,05$, что свидетельствует о наличии линейной связи между $R_b(t)$ и $x=[(B/ЦЗ)+r]$ на каждом из принятых возрастов керамзитобетона. Это позволило, используя методику регрессионного анализа, для каждого из принятых возрастов получить линейные уравнения регрессии вида:

$$R_{(n,n)} = 52,4 - 30,7[(B/ЦЗ) + r]; \quad (8)$$

$$R_{(28)} = 57,3 - 31,4[(B/ЦЗ) + r]; \quad (9)$$

$$R_{b(n,n)} = 48,6 - 28,8[(B/ЦЗ) + r]; \quad (10)$$

$$R_{b(28)} = 53,1 - 29,5[(B/ЦЗ) + r]; \quad (11)$$

Для перехода от кубиковой прочности R к призмочной R_b , которая непосредственно применяется в расчетах конструкций, используют коэффициент призмочной прочности $\phi_b = R_b/R$. Как показали многочисленные исследования [1,2,5] величина ϕ_b для легких бетонов несколько выше, чем для тяжелых, и изменяется в пределах 0,85...1. При установлении зависимости были использованы опытные значения контролируемых параметров $R_{(28)}$, $R_{b(28)}$, для оценки влияния изменения прочности керамзитобетона на величину ϕ_b методом наименьших квадратов получено уравнение регрессии:

$$\phi_b = 0,867 + 0,0048R - 0,0002R^2 \quad (12)$$

Рекомендуемые различными исследователями аналитические выражения для описания изменения прочности бетона во времени, как правило, не содержат параметров, характеризующих составов.

По результатам экспериментальных исследований с 95% надежностью получены квадратичные уравнения регрессий модуля упругости керамзитобетона на карбонатном песке и (ЦЗ)-вяжущем в возрасте 28, 115*, 180* и 360* сут. Полученные уравнения по F-критерию Фишера адекватны ($F_{ад} < F_{табл.}$) и имеют информационную ценность ($F_{инф} > F_{табл.}$).

$$E_{b(28)} = 14276 + 2216x_1 + 1437x_2 - 110x_3 + 79x_4 + 1773x_1x_2 - 106x_3x_4 - 56x_4^2; \quad (13)$$

Из этого уравнения видно, что «мощность» влияния расхода цемента (x_1) на модуль упругости несколько больше фактора (x_2), хотя он в значительной степени влияет на указанную величину.

В результате применения регрессионного анализа для каждого из принятых возрастов керамзитобетона приняты линейные уравнения регрессии вида:

$$E_{b(28)} \cdot 10^{-3} = 19,77 - 3,9[(B/ЦЗ) + r]. \quad (14)$$

Статические расчеты показали, что характер влияния исследуемых факторов на модуль упругости не зависит статически значимо от возраста керамзитобетона $F_{ад} < F_{табл}$ при уровне значимости $\alpha=0,05$.

Основываясь на имеющихся рекомендациях, изменение модуля упругости во времени в наших исследованиях предложено описывать зависимостью вида:

$$E_b(t) = E_b(\infty)[1 - e^{-\alpha t}]. \quad (15)$$

В случае если влиянием расхода воды на изменение во времени характера модуля упругости не пренебрегать, то для определения значений параметров $E_b(\infty)$ и α можно использовать линейные выражения, имеющие вид:

$$E_b(\infty) = 18790 - 4085[(B/ЦЗ) + r]; \quad (16)$$

$$\alpha = 0,89 - 35[(B/ЦЗ) + r]. \quad (17)$$

Эти выражения с несколько меньшей точностью по сравнению с квадратичными уравнениями описывают параметры $E_b(\infty)$ и α , но удобны для практических расчетов.

Модуль упругости бетонов зависит не только от рецептурно-технологических факторов, но и от прочности и плотности. Учет этого обстоятельства необходим и позволяет получить, и прогнозировать значения модуля упругости с заданной надежностью.

Как известно, полное представление о физико-механических свойствах бетонов невозможно без анализа микроразрушений их структуры в процессе нагружения. При этом область напряжённого состояния, находящаяся в границах микроразрушений, имеет принципиальное значение для оценки многих важных процессов деформирования и прочности бетона.

Для определения границ области микротрещинообразования керамзитобетона на карбонатном песке и (ЦЗ)-вяжущем использовали квадратичные уравнения регрессии $R_{сгс}^0(7, 28, 115)$ и $R_{сгс}^v(7, 28, 115)$ в зависимости от факторов состава.

В результате применения регрессионного анализа для каждого из принятых возрастов бетона были получены линейные уравнения регрессии вида:

$$R_{сгс}^0 = \{0,573 - 0,063[(B/ЦЗ) + r]\} R_b; \quad (18)$$

$$R_{сгс}^v = \{0,985 - 0,029[(B/ЦЗ) + r]\} R_b; \quad (19)$$

Полученные зависимости (18-19) для определения $R_{сгс}^0/R_b$ и $R_{сгс}^v/R_b$ хоть и характеризуют степень влияния на эти величины различных факторов, но не очень удобны для практических расчетов, поскольку связаны с использованием параметров, обычно неизвестных при проектировании.

Для описания зависимости предельных деформаций сжатия ε_{bu} от обобщенного фактора состава $[(B/ЦЗ)+r]$, независимо от возраста керамзитобетона, может быть использовано усредненное линейное уравнение регрессии вида:

$$\varepsilon_{bu} = [198+97(B/ЦЗ) + r] \cdot 10^{-3}; \quad (20)$$

Проведенные корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализы не позволили выявить статически надежную связь между предельными деформациями сжатия керамзитобетона на карбонатном песке и его призменной прочностью. Это следовало ожидать, если учесть результаты опытов по определению влияния факторов состава, а призменную прочность и предельные деформации сжатия.

Выводы

1. Керамзитобетон на карбонатном песке и цементно-зольном вяжущем прочностью 15, 20, 25, 30 МПа может быть рекомендован как конструкционный материал для изготовления бетонных и железобетонных конструкций.

2. Рецептурно-технологические факторы оказывают существенное влияние на формирование основных свойств керамзитобетона на карбонатном песке, смесей и бетона. Учет влияния указанных факторов с достаточной для практики точностью рекомендуется осуществлять, используя квадратичные уравнения регрессии для смесей и линейных уравнений для бетона.

3. Значения R_b , φ_b , E_b , ε_{bu} керамзитобетона на карбонатном песке рекомендуется определять по выражениям (6, 7, 12, 14, 16, 20).

4. Факторы состава оказывают существенное влияние на границы микроразрушения: увеличение расхода вяжущего и концентрации керамзитового гравия повышает $R_{сгс}^0$ и $R_{сгс}^v$.

Литература

1. Бужевич Г.А., Корнев Н.А. Керамзитобетон. - М.: Госстройиздат, 1963. - 236 с.
2. Легкие бетоны. Проектирование и технология. А. Шорт, П.В. Аблес, Б.К. Бардхен Рой и др. Пер. с англ. Под редакцией Ярмановского В.Н.: Стройиздат, 1981. - 240 с.
3. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высш. школа, 1982. - 224 с.
4. Вознесенский В.А. Современные методы композиционных материалов. - Киев: "Будівельник", 1983. - 144 с.
5. Бабич Е.М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. - Киев: "Вища школа", 1988. - 207 с.
6. Высоцкий С.А., Смирнов В.П. Экономия портландцемента при изготовлении бетонов с добавкой золы ТЭС. // Бетон и железобетон. - 1987. - №1.