

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ И КОНСТРУКЦИЙ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Зинченко С.В. аспирант., **Столевич И.А.** к.т.н., доц., **Столевич А.С.** к.т.н., проф.,
Дорофеев В.С. д.т.н., проф.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

Вопросы совершенствования структуры и свойств легких бетонов, а также их особенности и преимущества на смешанных заполнителях и композиционных вяжущих нашли отражение во многих отечественных и зарубежных исследованиях. Увеличить объем изготавливаемого бетона снизить стоимость можно путем применения многокомпонентного вяжущего в состав, которого кроме уменьшенного количества портландцемента, входят негашеная известь, зола-унос ТЭЦ и химические добавки [1,2].

Среди многочисленных отходов и побочных продуктов (отходы ГОК, металлургические шлаки и фосфорного производства, золы ТЭЦ и др.) наибольший интерес представляет использование зол ТЭЦ, обладающих сравнительно высокой гидравлической активностью. В настоящее время на Украине и зарубежной практике накоплен значительный опыт использования пылевидной золы-уноса при производстве бетонов и конструкций из них [1].

Дополнительный экономический эффект можно получить при использовании для строительства зданий и сооружений легких бетонов на местных заполнителях юга Украины (керамзит, кERALИТ) и конструкций на их основе по-прежнему актуальны и перспективны.

Кералитобетон – новый местный материал для южных районов Украины, это аналог керамзиту получен, впервые в мире, обжигом при высокой температуре гранул из морских илов.

Экологически и экономически выгодной альтернативой дампингу является береговой отвал грунтов, регулируемых и укладываемых в картах намывам по специальной безотходной технологии. Безотходная технология обеспечивает полную или частичную утилизацию вынутых грунтов с минимальным антропогенным воздействием на окружающую среду.

Исследование керамзитобетона, кералитобетона на мелких заполнителях (карбонатном и кварцевом песках) проводились в лабораториях кафедры ЖБ и КК ОГАСА и ЗЖБК ООО «Кулиндоровского индустриального концерна».

В исследованиях использовали: портландцемент ОАО «ЮГ цемент» марка 400; известь активностью 60% на СаО; зола-унос Ладыжинской ТЭС с $S_{уд}=3000 \text{ см}^2/\text{г}$; керамзитовый гравий фракций 5...10 и 10...20мм в соотношении $V_{5...10}/V_{10...20} = 1,5$; кералитовый гравий получен в печах обжига ПВ 2,5х40, в качестве сырья использовали илистые грунты на береговых гидроотвалах портов Белгород-Днестровский, Усть-Дунайск и Южный фракций 5...10 и 10...20мм; карбонатный песок Орловского месторождения; песок речной плотный "Тельмановский карьер", модуль крупности 1,36; пластификатор С-3.

Подбор составов и изучение свойств конструкционных легких бетонов производили расчетно-экспериментальным методом. Данные обрабатывали с помощью экспериментально-статического (ЭС) моделирования, которое позволило оценить степень влияния каждого из выбранных факторов на прочностные и деформативные свойства легких бетонов [3].

Оптимальные составы и характеристики исследуемых бетонов приведены в табл.1.

КЕРАМЗИТОБЕТОН. В работах [4,6,7] исследованы основные свойства керамзитобетона на карбонатном и кварцевом песках с применением многокомпонентных

вяжущих, назначены оптимальные составы для изготовления сборных и монолитных железобетонных элементов и конструкций.

По результатам экспериментальных исследований с 95% надежностью получены квадратичные уравнения регрессий кубиковой и призмочной прочности на 28 суток, керамзитобетона на цементно-известково-зольном (ЦИЗ)-вяжущем и кварцевом песке, которые с учетом только значимых коэффициентов регрессии имеют вид:

$$R_{(28)}=19,95+3,7x_1+1,7x_2+1,9x_3+3,0x_4+2,7x_1^2+1,2x_1x_3-1,4x_4^2-2,1x_5^2; \quad (1)$$

$$R_{b(28)}=18,5+3,3x_1+1,5x_2+1,7x_3+2,8x_4+2,5x_1^2+1,1x_1x_3-1,178x_4^2-1,833x_5^2. \quad (2)$$

Для упрощения квадратичных уравнений регрессии (1,2), была использована линейная зависимость вида:

$$R_{(28)} = 55,2 - 34,4[(В/ЦИЗ) + r]; \quad (3)$$

$$R_{b(28)} = 19,2 - 30,3[(В/ЦИЗ) + r]. \quad (4)$$

В результате применения регрессионного анализа принято линейное уравнение регрессии модуля упругости керамзитобетона на кварцевом песке и ЦИЗ-вяжущем, которое представлено в виде:

$$E_{b(28)} \cdot 10^{-3} = 25,136 - 12,8[(В/ЦИЗ) + r]. \quad (5)$$

Получены нами данные по керамзитобетону на карбонатном песке, близки с результатами, для керамзитобетона на кварцевом песке и на 15-20% превышают значения модуля упругости керамзитобетона на керамзитовых песках. На рис.1 представлена зависимость модуля упругости от прочности.

Таблица 1

Составы и характеристика легких бетонов

Проектная прочность, МПа	Цемент, кг/м ³	Зола, кг/м ³	Известь, кг/м ³	Крупный заполнитель, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Вода, л	R _(нп) , МПа	R ₍₂₈₎ , МПа	ρ, кг/м ³	Примечание
Керамзитобетон на карбонатном песке										
10	250	-	-	392	72	270	-	10,6	1190	Бетон естественного твердения
15	400	-	-	267	50	250	-	19,7	1480	
20	550	-	-	152	1002	230	-	22,9	1670	
25	550	-	-	143	933	270	-	25,7	1690	
Керамзитобетон на карбонатном песке										
10	250	-	-	211	194	202	7,4	10,7	1685	Карбонатный песок Орловского месторождения
15	280	-	-	342	1025	178	11,7	19,1	1675	
20	360	-	-	325	975	192	15,4	23,7	1690	
25	455	-	-	306	919	203	20,1	25,9	1710	

Керамзитобетон на кварцевом песке и цементно-известно-зольном вяжущем										
15	120	200	150	350	430	266	13,2	16,1	1425	С-3 – 0,3...0, 5%, гипс – 25кг/м ³
20	180	150	125	440	360	275	18,6	21,9	1400	
25	240	200	150	350	280	284	25,8	28,5	1450	
Керамзитобетон на карбонатном песке и цементно-зольном вяжущем										
15	250	0	-	545	572	210	14,5	16,4	1565	С-3 - 0,6%
20	300	20	-	430	725	225	17,6	20,7	1665	
25	350	50	-	505	540	245	21,2	26,6	1690	

Из рис.1 следует заметить, что модуль упругости керамзитобетона на кварцевом песке больше, чем на карбонатном, и в среднем их значения отличаются на 10%. Пониженный модуль упругости для некоторых видов легких бетонов отмечался также и в работах других авторов.

Одним из основных факторов, влияющих на параметрические точки микротрещинообразования, являются прочность сцепления между цементным камнем и зернами заполнителя.

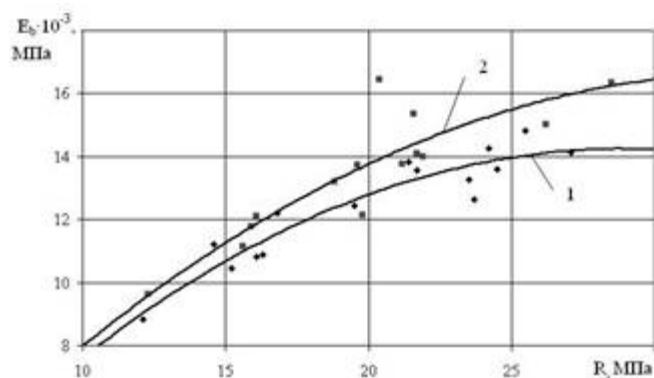


Рис. 1. Зависимость модуля упругости от кубиковой прочности:
1- керамзитобетон на карбонатном песке[6];
2 – керамзитобетон на кварцевом песке [4].

Из рис. 2 для линии 1 получены линейные зависимости напряжений осевого сжатия от призмной прочности керамзитобетона (6) и (7).

$$R_{ср}^0/R_b = 0,2618 + 0,08731g(R_b); \quad (6)$$

$$R_{ср}^v/R_b = 0,7629 + 0,05891g(R_b). \quad (7)$$

На рис.2 приведены данные о характеристиках деформирования призм, из которых видно, что напряжения осевого сжатия для керамзитобетона М200 равно $R_{ср}^0 = (0,49 - 0,54)R_b$ и для марки М250 - $R_{ср}^0 = (0,51-0,57)R_b$. Напряжения, соответствующие началу образования магистральных трещин разрушения, очень близки к призмной прочности керамзитобетона ($R_{ср}^v = 0,9 - 0,95R_b$), что и, объясняет хрупкое разрушение призм.

В настоящих исследованиях повышенные границы микротрещинообразования, позволяют рекомендовать керамзитобетоны, в том числе и на цементно-зольном вяжущем для конструкций.

По испытаниям на сцепление арматуры с бетоном по зависимостям: $\tau_{сц} = N / \pi d \ell_{зад}$; $\sigma_0 = N / A_s$, получены с 95 % надежностью уравнения регрессии разрушающих напряжений

сцепления $\tau_{\text{сц}}^{\text{п}}$ и $\tau_{\text{сц}}^{\text{ест}}$ и напряжений в арматуре в момент сдвига незагруженного конца арматуры $\sigma_0^{\text{п}}$, $\sigma_0^{\text{ест}}$:

$$\tau_{\text{сц}}^{\text{п}} = 6,884 + 0,638x_1 - 1,38x_2 - 0,242x_1^2 - 0,09x_1x_2 + 0,863x_2^2; \quad (8)$$

$$\tau_{\text{сц}}^{\text{ест}} = 8,117 + 0,837x_1 - 1,645x_2 + 0,02x_1^2 - 0,068x_1x_2 + 0,885x_2^2; \quad (9)$$

$$\sigma_0^{\text{п}} = 170,3 + 57,44x_1 + 103,1x_2 + 3,955x_1^2 + 29,97x_1x_2 + 29,88x_2^2; \quad (10)$$

$$\sigma_0^{\text{ест}} = 195,5 + 60,0x_1 + 129,0x_2 - 1,603x_1^2 + 31,61x_1x_2 + 36,1x_2^2. \quad (11)$$

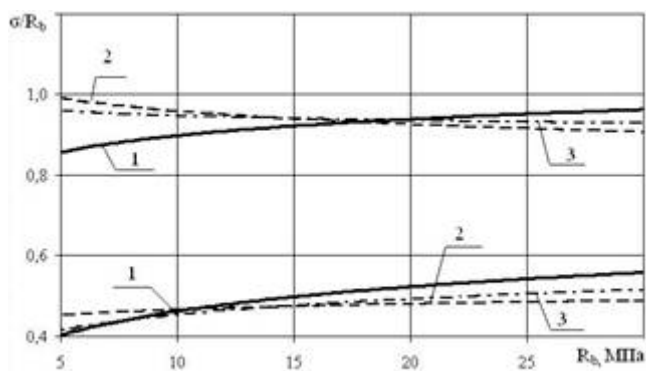


Рис. 2. Зависимость верхней и нижней границ микрокрешинообразования керамзитобетона от призменной прочности: 1 – на карбонатном песке и цементно-зольном вяжущем [6]; 2 – на кварцевом песке и ЦИЗ-вяжущем [4]; 3 – на карбонатном песке [7].

С возрастанием прочности (класса) бетона $\tau_{\text{сц. разр.}}$ увеличивается пропорционально. Для равных длин заделки приращение $\tau_{\text{сц. разр.}}$ разное и уменьшается с увеличением заделки.

Для разной прочности керамзитобетона на ЦИЗ-вяжущем пропаренного и естественного твердения перемещения незагруженного конца, которые пропорциональны нагрузкам, разные, и находятся в таких пределах: R15 МПа – 8–12 мкм; R20 МПа – 10–15 мкм; R25 МПа – 15–20 мкм.

Опытные значения усадочных деформаций керамзитобетона естественного твердения составили $(66...90)10^{-5}$, при использовании тепловлажностной обработки усадку керамзитобетона на известняковом песке можно уменьшить на 30%.

Ползучесть пропаренного керамзитобетона на кварцевом песке выше на 18-22,6% значения ползучести керамзитобетона на карбонатном песке.

Работу предварительно напряженных элементов из керамзитобетона на карбонатном песке проверяли на промышленных изделиях – ребристых плитах покрытия, которые запроектированы под нагрузку 300кг/м^2 . При сравнении опытных нагрузок трещинообразования с расчетными подсчитанными в соответствии с СНиП 2.03.01-84, указывает на хорошую сходимость результатов. Максимальное отклонение составило 8% для ребристых плит. Относительный прогиб при нормативной нагрузке составил $(1/890...1/640)$ от расчетной длины. Максимальное отклонение прогибов от расчетных подсчитанных при коэффициенте $\varphi_{b1} = 0,85$, составляет 15% при среднем значении 6%.

КЕРАЛИТОБЕТОН. По результатам экспериментальных исследований прочности свойств кералитобетона с 95% надежностью были получены квадратичные уравнения регрессий кубиковой и призменной прочностей, модуля упругости, микрокрешинообразования, предельной сжимаемости, усадки, ползучести на 28 сутки, для их упрощения была исследована и линейная зависимость [5].

$$R_{b(28)} = 41,3 - 14,7[(B/C) + r]. \quad (12)$$

Для установления коэффициента призмной прочности φ_b были использованы опытные значения контролируемых параметров $R_{(28)}$, $R_{b(28)}$, что позволило методом наименьших квадратов получить уравнение регрессии:

$$\varphi_b = 0,933 + 0,0032R - 0,000149R^2. \quad (13)$$

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

$$E_{b(28)} \cdot 10^{-3} = 19,14 - 4,71[(B/C) + r]. \quad (14)$$

Для определения границ области микротрещинообразования кералитобетона на карбонатном песке использовали квадратичные уравнения регрессии R_{crc}^0 (28) и R_{crc}^V (28) в зависимости от факторов состава. В результате применения регрессионного анализа для каждого из принятых возрастов кералитобетона были получены линейные уравнения регрессии вида:

$$R_{crc}^0(28) = \{0,571 - 0,064(B/C + r)\} R_b; \quad (15)$$

$$R_{crc}^V(28) = \{0,982 - 0,030(B/C + r)\} R_b; \quad (16)$$

Развитие во времени процесса усадки и ползучести кералитобетона достаточно достоверно может быть аппроксимировано зависимостью (17) в любой момент времени $t > 1$.

$$\varepsilon_{sc}(t, t_w) = \left[144,7 \left(\frac{B}{C} + r \right) - 73,1 \right] \cdot \left[1 - e^{-0,0101 \left(\frac{B}{C} + r \right) (t-1)} \right] \quad (17)$$

Предельное значение меры ползучести в возрасте 28 суток можно определить по линейному уравнению (18).

$$C(\infty, 28) = 1,317 \left(\frac{B}{C} + r \right)^{2,1}; \quad (18)$$

На Кулиндоровском ЗЖБИ из кералитобетона были изготовлены и испытаны партии стеновых камней, стеновых блоков и плит покрытий и перекрытий.

Средние значения по блокам составили: прочности – 8,3 МПа; кубов и призм, соответственно, 10,6 МПа и 9,7 МПа, модуля упругости – 7650 МПа; коэффициента Пуассона – 23; возникновение первой трещины при 0,92 $N_{разр.}$; плотности в воздушно-сухом состоянии – 1310 кг/м³; в высушенном до постоянного веса – 1140 кг/м³.

Плиты покрытий и перекрытий – предварительно-напряженные, по серии 1.141-1, вып.63, марки ПБ3.15-8Ат-Vл, сплошного сечения, из кералитобетона, класса по прочности на сжатие – В12,5; плотностью Д1600. Средние результаты испытаний: прочность кубиковая – $R = 16,3$ МПа, призмная – $R_b = 14,2$ МПа, $E_b = 13630$ МПа, $\rho = 1570$ кг/м³. Контрольная разрушающая нагрузка – $q_p^k = 1310$ кг/м², опытная разрушающая нагрузка на 9-том этапе составила $q_{разр.}^{оп} = 1616$ кг/м², контрольный прогиб при контрольной нагрузке $q_f^k = 593$ кг/м² составляет $f_k = 14,8$ мм. Фактический прогиб при контрольной нагрузке q_f^k составил $f_{оп}^k = 7,95$ мм. Первые трещины появились при нагрузке $q_{оп} = 1422$ кг/м².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Учет влияния указанных факторов с достаточной для практики точностью рекомендуется осуществлять, используя квадратические уравнения регрессии для смесей и линейных уравнений для бетона.

2. Для оптимизации составов рекомендуется использовать методику комплексного подхода, учитывающую технологические и эксплуатационные требования к бетону. Использование золы-уноса и карбонатного песка в легких бетонах является наиболее перспективным способом экономного потребления цемента и заполнителей.

3. Легкие бетоны юга Украины могут быть рекомендованы для изготовления бетонных и железобетонных конструкций прочностью 5...30 МПа.

SUMMARY

Strength and deformation properties of different kinds of concrete: ceramist concrete and ceralit concrete on carbonated and quartz small fillers, and constructions from them, including preliminary strained constructions, were investigated

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий С.А., Смирнов В.П. Экономия портландцемента при изготовлении бетонов с добавкой золы ТЭС.// Бетон и железобетон. – 1987. - №1.

2. Бабич Е.М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. - Киев: "Вища школа", 1988. – 207 с.

3. Вознесенский В.А. Современные методы композиционных материалов. - Киев: "Будівельник", 1983. - 144 с.

4. Столевич А.С., Макаров С.В., Столевич И.А., Мадии К.М., Кравченко С.А. Конструкционные легкие бетоны//Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. № 17 Одеса Зовнішрекламсервіс. 2005. – С. 246-255.

5. Столевич И.А. Костюк А.И. Конструктивные элементы из кералитобетона//Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. № 13 Одеса Зовнішрекламсервіс. 2004. – С. 154-159.

6. Дорофеев В.С., Зинченко С.В., Луцкин Е.С., Столевич А.С. Исследования кералитобетона на карбонатном песке и цементно-зольном вяжущем//Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. № 32 Одеса Зовнішрекламсервіс. 2008. – С. 118-123.

7. Костюк А.И., Столевич А.С., Макаров С.В. Влияние структуры на прочностные и деформативные свойства кералитобетона на карбонатном песке// Строительные конструкции: Респ. межведомств. науч.-техн. сб. – Киев.: Будівельник, 1991. – С.104-107.