

УДК 691.327:666.973.2

**ВЛАСТИВОСТІ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА ЦЕМЕНТНО - ЗОЛЬНОМУ
В'ЯЖУЧОМУ ТА КАРБОНАТНОМУ ПІСКУ**

**СВОЙСТВА КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ЦЕМЕНТНО - ЗОЛЬНОМ
ВЯЖУЩЕМ И КАРБОНАТНОМ ПЕСКЕ**

**PROPERTIES KERAMZITE CONCRETE ON CEMENT-ASH
ASTRINGENT AND CARBONATE SAND**

**Кравченко С.А., к.т.н., доцент, Костюк А.І., к.т.н., доцент, Постернак
О.О., к.т.н., доцент, Столевич І.А., к.т.н., доцент (Одеська державна
академія будівництва та архітектури, м. Одеса)**

**Кравченко С.А., к.т.н., доцент, Костюк А.И., к.т.н., доцент, Постернак
А.А., к.т.н., доцент, Столевич И.А., к.т.н., доцент, (Одесская
государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)**

**Kravchenko S.A., candidate of technical sciences, docent, Kostuk A.I.,
candidate of technical sciences, docent, Posternak A.A., candidate of technical
sciences, docent, Stolevic I.A., candidate of technical sciences, docent, (Odessa
state academy of civil engineering and architecture)**

**Наведені данні експериментального дослідження міцності
керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому і карбонатному піску.**

**Приведены данные экспериментального исследования прочности
керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем и карбонатном песке.**

**The results of experimental researches of durability of keramzite concrete on
cemente-ash astringent and carbonate sand.**

Ключові слова:

Міцність, керамзитобетон, цементно-зольне в'язуче.

Прочность, керамзитобетон, цементно-зольное вяжущее.

Durability, keramzite concrete, cemente-ash astringent.

Введение. Особое значение в практике строительства имеет широкое внедрение в производство бетонных и железобетонных изделий из отходов и вторичных продуктов промышленности.

Проведенные ранее исследования показали техническую возможность и экономическую целесообразность использования карбонатного песка в бетонах на искусственных пористых заполнителях, и в первую очередь в керамзитобетоне, составляющем около 70% общего объема легких бетонов. Использование лёгких бетонов позволяет снизить массу конструкций на 20-40%, повысить их несущую способность и сократить расход арматурной стали. Кроме того, достигается большой эффект за счёт сокращения затрат на транспорт и монтаж конструкций, а также за счёт снижения нагрузки на все нижележащие конструкции.

Постановка проблемы. Проблема использования легких бетонов, в частности керамзитобетонов, на цементно-зольном вяжущем является весьма актуальной задачей, поскольку предусматривает экономию сырьевых ресурсов, цемента, утилизацию отходов производства и улучшения состояния окружающей среды [1,2].

Анализ последних достижений. За последнее время накопилось много исследований прочности и деформаций легких бетонов и конструкций на их основе, приведены в работах М.А. Ахматова, Е.М. Бабича, В.Н. Вырового, Б.С. Комисаренко, Р.Л. Маиляна, Л.П. Орендлихера, Н.Я. Спивака, И.А. Столевича, В.Г. Суханова, А.Б. Пирадова, Камаль Мади и др.

На современном уровне значительный вклад в развитие бетонов с использованием шлака и золы внесли Ш.Т. Бабаев, Е.В. Гончикова, С.А. Высоцкий, Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, А.Г. Зоткин, М.Ю. Лещинский и др., но в основном использование и применение золы и шлака рассматривается для тяжелых бетонов.

Основная цель статьи заключается в исследовании прочностных и деформативных свойств керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем.

Методика исследования. Для получения исследуемых данных по характеру деформирования керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем и карбонатном песке при воздействии нагрузок был проведен комплекс экспериментальных исследований, состоявший из кратковременных и длительных исследований как бетонных образцов (кубов, призм), так и железобетонных (балок и плит перекрытия).

В соответствии с целью и поставленными задачами проведены четыре серии экспериментальных исследований.

I серия: Подбор и выбор рациональных составов керамзитобетона на карбонатном песке и цементном вяжущем с добавлением золы-уноса.

II серия: Исследование прочностных и деформативных свойств керамзитобетона и изменение их во времени при кратковременном и длительном действии нагрузок.

III серия: Определение критического коэффициента интенсивности напряжений (КИН) для оценки трещиностойкости керамзитобетона.

VI серия: Исследование напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов и конструкций при кратковременном

и длительном действии нагрузок, в том числе предварительно напряженных.

Подбор составов керамзитобетона на карбонатном песке должен обеспечить получение конструкционного керамзитобетона заданной прочности при минимальном расходе цемента с возможно меньшей объемной плотностью.

При подборе составов использовали расчетно-экспериментальный метод в соответствии с рекомендациями [3], включающий следующие операции:

- выбор заполнителя;
- назначение предварительного расхода вяжущего;
- назначение зернового состава и расхода заполнителя;
- определение расхода воды, обеспечивающего удобоукладываемость бетонной смеси;
- установление зависимостей между расходом вяжущего и прочностью бетона;
- корректировка и назначение производственного состава.

Исходя из вышеизложенного, подбор состава конструкционного керамзитобетона сводился к определению рационального соотношения между керамзитовым гравием, карбонатным песком, золой и цементом.

Составы дозировались по весу [3]. Вначале сухие компоненты перемешивали в следующем порядке: цемент, зола-унос, карбонатный песок, керамзит. Затем порциями добавлялось необходимое количество воды, чтобы смесь имела осадку конуса 5-6 см, что соответствует жесткости по техническому вискозиметру 8-10 сек. Производили перемешивание в течении 2...3 минут до получения однородной смеси.

Значения расхода цемента и воды принимали с учетом рекомендаций [4], а агрегатно-структурный фактор принят в пределах $0,4 \leq r = M/(M+K) \leq 0,7$ в соответствии с рекомендациями [3, 4, 5].

Расслоение бетонной смеси в процессе проведения эксперимента не наблюдалось. Это объясняется тем, что были получены жесткие и малоподвижные смеси, а вязкости цементно-зольного теста и раствора было достаточно для предотвращения расслоения.

Для подбора рационального состава керамзитобетона на карбонатном песке и цементном вяжущем с добавлением золы-уноса использовался метод математического планирования эксперимента [6].

В работе применен полный факторный эксперимент в соответствии с методикой [7]. Для реализации принят близкий к Д - оптимальному трехуровневый план типа В₄. Исследуемые факторы и уровни их варьирования приведены в табл. 1.

Для подбора оптимальных составов бетона была получена модель "состав-свойство" в виде полинома второй степени, выражающая зависимости влияния исследуемых факторов на свойства бетона:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \neq j}^k b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный	-1	0	+1	ΔX
Расход цемента Ц, кг/м ³	X ₁	250	300	350	±50
Расход золы-уноса З, кг/м ³	X ₂	90	120	150	±30
Расход песка П, кг/м ³	X ₃	270	360	450	±90
Расход керамзита К, кг/м ³	X ₄	550	700	850	±150

Проверка значимости коэффициентов экспериментально–статистических моделей осуществлялась по критерию Стьюдента (t – критерия), проверка адекватности полученных моделей – по критерию Фишера (F – распределение) [7, 8].

Результаты исследования. После обработки экспериментальных данных для керамзитобетона на карбонатном песке и цементно-зольном вяжущем были получены следующие ЭС - модели:

$$\ln(\rho_0) = 7,440 + 0,034x_1 + 0,012x_1^2 + 0,004x_1x_2 - 0,004x_3x_4 + 0,015x_2 - 0,015x_3^2 - 0,005x_1x_3 + 0,091x_3 + 0,052x_4; \quad (2)$$

$$\ln(R_{\text{нп}}) = 2,878 + 0,169x_1 + 0,067x_1^2 - 0,045x_1x_2 + 0,054x_2x_3 + 0,064x_2 - 0,072x_3^2 - 0,066x_4^2; + 0,055x_4; \quad (3)$$

$$\ln(\rho_{\text{свх}}) = 7,363 + 0,034x_1 + 0,011x_1^2 + 0,004x_1x_2 - 0,003x_2x_3 + 0,015x_2 - 0,015x_3^2 - 0,005x_1x_3 + 0,097x_3 + 0,054x_4; \quad (4)$$

$$\ln(R_{28}) = 3,036 + 0,190x_1 - 0,049x_3^2 - 0,054x_1x_2 + 0,052x_2x_3 + 0,088x_2 + 0,059x_4. \quad (5)$$

Уравнения регрессии (2...5) построены с использованием типовой версии COMPEX–99, реализующей последовательный регрессионный анализ с генерирующей ошибкой эксперимента $s\{T\} = 0,028$ при $\alpha = 0,022$.

ЭС-модели плотности и прочности бетона являются адекватными для принятого уровня доверительной вероятности, так как $F_p \leq F_T$.

Следовательно, эти уравнения целесообразны для проектирования составов из керамзитобетона на карбонатном песке и цементно-зольном вяжущем прочностью 15,2...26,2 МПа и плотностью 1400...1700 кг/м³.

Анализ уравнений (2...4) по знакам и величине коэффициентов при линейных факторах и их произведениях позволяет судить о направлении регулирования и сравнительной степени каждого фактора. Так факторы x_3 (расход карбонатного песка) и x_4 (расход керамзита) значительно влияют на плотность керамзитобетонной смеси и плотность бетона. Меньше всего на плотность влияет расход x_2 (золы-уноса).

В уравнениях (3) и (5) кубиковой прочности керамзитобетона на карбонатном песке наибольшие значения имеют x_1 (расход цемента), x_2 (расход золы) и x_4 (расход керамзита). Незначимость коэффициента x_3 (расход песка), свидетельствует о том, что влияние этого фактора на прочность керамзитобетона незначительно.

Графическая интерпретация полученных уравнений в зависимости плотности смеси и бетона, а также прочности после тепловлажностной обработки и нормального твердения керамзитобетона от факторов x_2, x_3, x_4 при фиксированном x_1 , показана на диаграммах в виде куба, рис.1...4.

Анализ полученных зависимостей позволил установить граничные значения варьируемых факторов ($\text{ЦЗ} = 340\text{-}500\text{кг/м}^3$; $r = 0,4\text{-}0,6$) и назначить составы конструкционного керамзитобетона классов В12,5-В20.

Из диаграмм на рис.1 (а, б, в) видно, что при минимальном, среднем и максимальном расходе цемента существенное влияние на плотность смеси оказывают расход керамзита - 27% и карбонатного песка - 48%. Эту закономерность можно заметить и на диаграммах плотности бетона (рис.2 а, б, в).

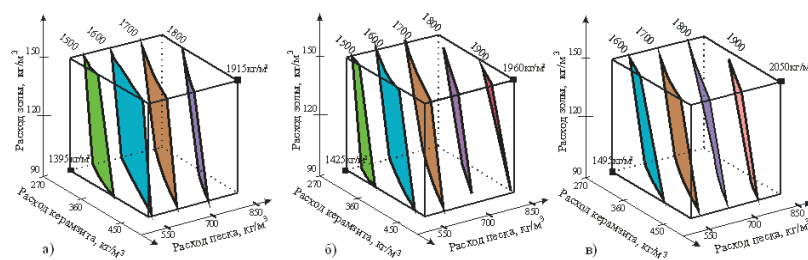


Рис. 1. Влияние факторов состава на плотность смеси (а, б, в) при расходе цемента – 250; 300; 350кг/м³.

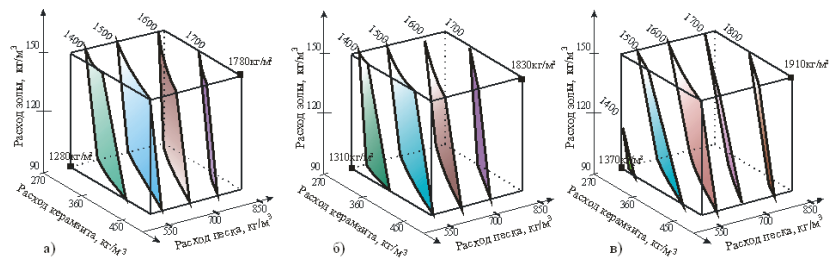


Рис. 2. Влияние факторов состава на плотность бетона (а, б, в) при расходе цемента – 250; 300; 350кг/м³.

Расход цемента и золы линейно пропорциональны прочности керамзитобетона, но увеличение расхода цемента повышает прочность бетона при сжатии до определенного предела.

На диаграммах в виде куба (рис.3) показаны изоповерхности прочности керамзитобетона после тепловлажностной обработки. Следует отметить, что средний расход всех составляющих бетона дает возможность получения прочности от 14,5 до 20,5 МПа. При увеличении растворной составляющей прочность увеличивается.

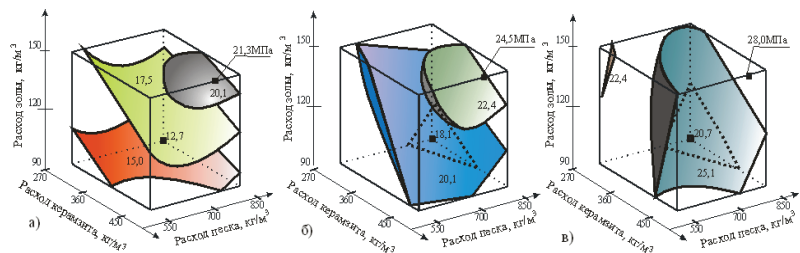


Рис. 3. Влияние факторов состава на кубиковую прочность после тепловлажностной обработки (а, б, в) при расходе цемента, соответственно – 250; 300; 350кг/м³.

Испытанные образцы после тепловлажностной обработки и нормального твердения имеют прирост прочности в среднем на 20%. На рис.4 показано влияние факторов состава на кубиковую прочность керамзитобетона, испытанного на 28 сутки. С повышением расхода вяжущего от 320 до 500 кг/м³, наблюдается прирост прочности до 23%.

При максимальных расходах песка, керамзита и золы прочность почти одинакова (рис.4). Рост прочности заметен при увеличении расходов цементно-зольного вяжущего и керамзита, чего нельзя сказать о песке.

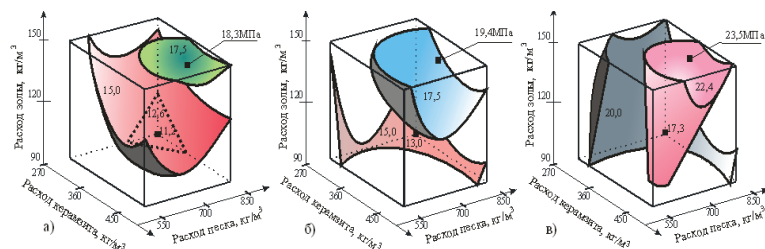


Рис. 4. Влияние факторов состава на кубиковую прочность в возрасте бетона 28 суток (а, б, в) при расходе цемента соответственно 250; 300; 350 кг/м³.

Выводы:

1. Для подбора состава конструкционного цементно-золяного керамзитобетона использован экспериментально-расчетный метод, включающий опытную проверку и установление составов исследуемого бетона при сочетании выбранных факторов.
2. С применением математико-статистического метода планирования эксперимента разработаны рациональные составы конструкционного керамзитобетона на цементно-золяном вяжущем прочностью 15,2...26,2 МПа и средней плотностью 1400...1700 кг/м³.
3. Получены и проанализированы уравнения регрессии (2.2)...(2.5), которые рекомендуется использовать для определения прочности и плотности исследуемого бетона.
4. По результатам исследования кубиковой прочности следует отметить, что при замене доли цемента на 20-35% золой прочность керамзитобетона на карбонатном песке и цементно-золяном вяжущем не уменьшается.

1. Высоцкий С.А., Смирнов В.П. Экономия портландцемента при изготовлении бетонов с добавкой золы ТЭС. // Бетон и железобетон. – 1987. - №1. 2. Дворкин, Л.И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями Текст. / Л.И. Дворкин, В.И. Соломатов, В.Н. Выровой; под ред. Дворкина Л.И. - Киев: Будивзлник, 1991.- 136 с. 3. Рекомендации по производству и применению керамзитобетона на известняковом песке для конструктивных элементов жилых домов / НИЛЭП ОИСИ. – М.: Стройиздат, 1986. – 64 с. 4. Рекомендации по выбору крупных пористых заполнителей для конструктивных легких бетонов марок 150...500 / НИИЖБ. – М. - 1972. – 30 с. 5. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 80 с. 6. Рекомендации по учету комплекса технологических и эксплуатационных параметров, оптимизирующих свойства конструкционного керамзитобетона на карбонатном песке / НИЛЭП ОИСИ.– М.: Стройиздат, 1989.– 67с. 7. Современные методы композиционных материалов / [В.А. Вознесенский, В.Н. Выровой, В.Я. Керш и др.]; под ред. д.т.н. В.А. Вознесенского. - Киев: "Будівельник", 1983. - 144 с. 8. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. шк., 1982. – 224 с.