

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА КАРБОНАТНОМ ПЕСКЕ

И.А.Столевич<sup>1</sup>, к.т.н., доц., А.Н.Гергега<sup>2</sup>, д.т.н., проф.

<sup>1</sup> Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
г. Одесса

<sup>2</sup> Одесская национальная академия пищевых технологий г. Одесса

**Введение.** Керамзитобетон на карбонатном песке - разновидность легкого бетона, в котором в качестве мелкого заполнителя использованы отсеянные или дробленые и отсеянные (крупностью <5 мм) отходы разработок карьеров известняковых пород.

Карбонатный песок по своей природе - пористый, однако, будучи использованным в качестве заполнителя, в бетоне приобретает признаки плотного. По некоторым свойствам, таким как плотность, прочность при сжатии, модуль упругости, ползучесть, керамзитобетон на карбонатном песке следует относить к бетону на плотном заполнителе. Другие его свойства - водопотребность бетонной смеси, прочность при растяжении, предельная растяжимость, усадка - характерны для бетонов на пористом песке.

**Постановка проблемы.** При проектировании элементов из керамзитобетона на карбонатном песке, полученного из низкопрочных известняковых пород, необходимо учитывать особенности свойств такого бетона и принадлежность его при соблюдении требований норм к бетону на плотном или на пористом мелком заполнителе. В исследовании поставлена задача выделить важные для расчетов особенности прочностных и деформативных свойств керамзитобетона на карбонатном песке.

**Основная часть.** Исследования проводили на призмах размерами 10x10x40 см. Для испытаний бетона на растяжение изготавливали бетонные цилиндры диаметром 12 см высотой 40 см. Прочность бетона при сжатии контролировали на кубах с ребром 10 см.

Предварительно было установлено, что размеры кубов с ребрами 10 и 15 см по сравнению с естественным разбросом незначительно влияют на прочность.

Для приготовления бетона использовали керамзит размером зерна 5...20 мм, насыпной плотностью  $\rho = 430...500 \text{ кг/м}^3$  и прочностью в цилиндре  $R = 2,2...3,0$  МПа; карбонатный песок - фракционированные (0...5 мм) отходы камнепиления известняка-ракушечника, прочность исходной породы 0,9...1,1 МПа; модуль крупности  $M_{кр} = 2,1$ ; плотность зерен песка в цементном тесте  $\rho = 2420 \text{ кг/м}^3$ ; содержание мельчайших частиц (<0,14 мм) в пределах 16...20%; кварцевый песок - морской, средней крупности, удельным весом 2450  $\text{кг/м}^3$ ; вяжущее - портландцемент активностью  $R = 35...50$  МПа.

Для выяснения влияния термовлажностной обработки на свойства керамзитобетона часть образцов пропаривали по режиму 3+8+3ч при  $t=80^\circ\text{C}$ . Остальные образцы твердели в нормально-влажных условиях.

Составы керамзитобетона назначали по результатам планированного эксперимента с целью получения бетона проектных классов В5-В30 при минимальном расходе цемента, а для группы конструкционно-теплоизоляционных бетонов классов В5-В10 - при возможно наименьшей плотности. Жесткость бетонной смеси всех составов находилась в пределах 20...30 с; расход цемента на 1  $\text{м}^3$  бетона - от 150 до 600 кг. Для бетона классов В5-В10 агрегатно-структурный фактор  $r=0,3$ , для конструктивных бетонов  $r=0,53...0,66$ . Для сопоставления результатов часть образцов изготавливали из керамзитобетона на кварцевом песке, дублируя соответствующие составы с заменой карбонатного песка кварцевым.

Прочность бетона в возрасте 28 сут. всех исследуемых образцов  $R=6,2...32,0$  МПа при плотности в сухом состоянии  $\rho=1160...1720 \text{ кг/м}^3$ .

Результаты исследований призмочной прочности показаны на рис.1. Каждая точка соответствует среднему арифметическому испытаний не менее трех призм.

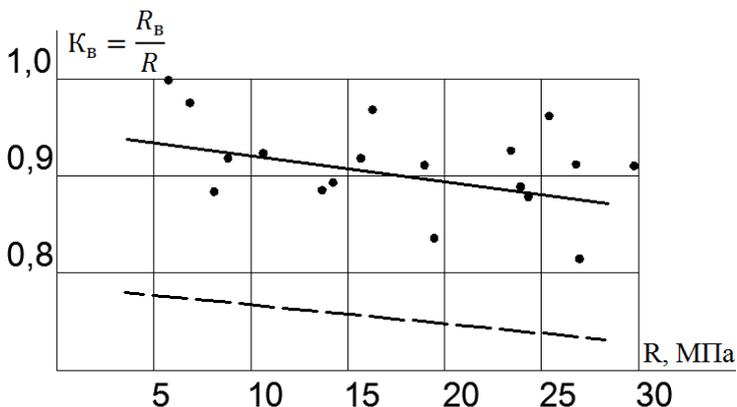


Рис.1. Зависимость коэффициента призмной прочности от кубиковой прочности керамзитобетона по ДБН В.2.6-98:2009

Зависимость коэффициента призмной прочности от кубиковой прочности аппроксимируется выражением  $K_b = 0,94 - 0,002R$  при коэффициенте корреляции  $r = 0,68$  и ошибке уравнения  $\delta = 0,02$ .

Результаты исследований указывают на более высокие значения коэффициента призмной прочности легких бетонов по сравнению с тяжелыми. Так, по обобщенным данным НИИЖБ [1], для легких бетонов  $K_b = 0,9 \dots 0,001R$ . Объяснение этому находят в большей однородности легких бетонов и лучшем распределении напряжений между цементным камнем и заполнителем, что связано с меньшей, чем в тяжелом бетоне, разностью их модулей упругости. Эта особенность в действующем ДБН В.2.6-98:2009 не отражена. Призмная прочность легких и тяжелых бетонов принята одинаковой.

Коэффициенты  $K_b$  керамзитобетона на карбонатном песке на 15...20% превышают соответствующие значения для керамзитобетона на кварцевом песке и близки значениям, принятым в ДБН В.2.6-98:2009 для ячеистых бетонов. Высокие значения  $K_b$  могут быть объяснены высокой однородностью этого бетона, а также повышенным сцеплением зерен песка с цементным камнем и повышенной прочностью их контактной зоны, обусловленных шероховатой формой зерен песка и их химической активностью по отношению к цементу. Это приводит к повышенной деформативности бетона при поперечном расширении и в результате – к повышенным значениям призмной прочности.

Прочность керамзитобетона при растяжении определяли двумя способами: осевым растяжением до

разрыва цилиндров и призм, а также раскалыванием призм в поперечном направлении. Дисперсионный анализ результатов испытаний по разным методикам показал, что они принадлежат одной и той же генеральной совокупности. После рассмотрения результатов испытаний на разрыв и раскалывание получены следующие зависимости (рис.2):

для пропаренного керамзитобетона  $R_{bt}=0,5+0,04R$  при коэффициенте корреляции  $r = 0,86$  и ошибке уравнения  $\delta = 0,07$  МПа;

для керамзитобетона естественного твердения  $R_{bt}=0,5+0,03R$  при  $r = 0,82$  и  $\delta = 0,1$  МПа.

Как видно из уравнений и графиков, пропаривание керамзитобетона на карбонатном песке увеличивает его прочность на растяжение по сравнению с бетоном естественного твердения от 8 до 22% при изменении прочности бетона на сжатие от 5 до 35 МПа.

Превышение прочности на осевое растяжение пропаренного керамзитобетона над керамзитобетоном естественного твердения связано в значительной мере с меньшей усадкой пропаренного керамзитобетона и соответственно меньшей концентрацией внутренних напряжений и пониженным микротрещинообразованием по сравнению с бетоном естественного твердения. Второй причиной является, очевидно, более интенсивное химическое взаимодействие составляющих карбонатного песка с цементом при пропаривании, в результате чего в зоне контакта образуется прочное соединение – карбоалюминат кальция. Зерна песка в пропаренном бетоне оказываются заключенными в более прочные оболочки, чем в бетоне естественного твердения. Такое улучшение микроструктуры бетона в наибольшее степени сказывается именно при растяжении, напряженном состоянии, наиболее чувствительном к микродефектам структуры. При сжатии заметного влияния пропаривания на прочность не отмечено.

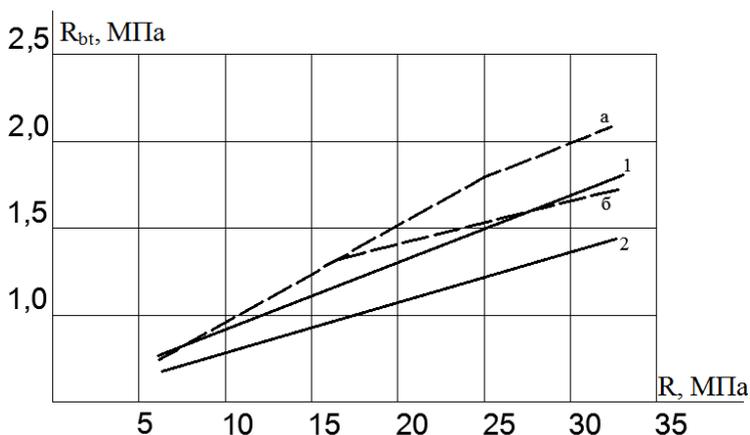


Рис.2. Зависимость прочности керамзитобетона на растяжение от его прочности при сжатии: 1 - керамзитобетон на карбонатном песке пропаренный; 2 - то же, естественного твердения; а - на плотном песке; б - на пористом песке.

Сравнение результатов опытов с данными ДБН В.2.6-98:2009 показывает, что прочность при растяжении пропаренного керамзитобетона на карбонатном песке на 6...13% ниже прочности, нормируемой ДБН В.2.6-98:2009 для легких бетонов на плотном мелком заполнителе и близка прочности легкого бетона на пористом песке. Прочность при растяжении керамзитобетона естественного твердения ниже нормируемой ДБН В.2.6-98:2009 для легких бетонов на пористом песке на 15...22%.

Модуль упругости определяли по общепринятой методике при напряжениях  $(0,25...0,3)R_b$ . Часть образцов пропаривали для выяснения влияния на модуль тепловлажностной обработки. После испытаний определяли влажность керамзитобетона и его плотность  $\rho$  в сухом состоянии.

В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие зависимости.

Для бетона естественного твердения  $E_b = 2100\rho^{2\sqrt[3]{R}}$  при среднеквадратичном отклонении выборочных данных от линии регрессии  $\sigma = 215\rho^{2\sqrt[3]{R}}$ . У пропаренного керамзитобетона значения модуля упругости были

ниже, чем у бетона естественного твердения, в среднем на 10%. Уравнение регрессии  $E_b = 1900\rho^{2.3}\sqrt[3]{R}$  при среднеквадратичном отклонении  $\sigma = 195\rho^{2.3}\sqrt[3]{R}$ . Для каждой из линий регрессии на рис.3 показаны границы интервалов  $E_b \pm 2\sigma$ , в которые попадает 95% экспериментальных точек.

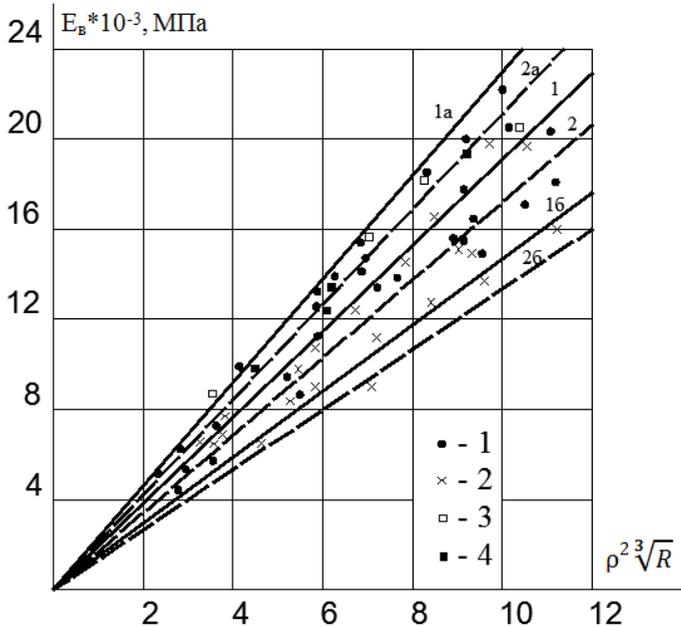


Рис.3. Зависимость модуля упругости керамзитобетона от  $\rho^{2.3}\sqrt[3]{R}$ :

1- керамзитобетон на карбонатном песке естественного твердения; 2 - то же, пропаренный; 3- керамзитобетон на кварцевом песке естественного твердения; 4 - то же, пропаренный.

Для контрольных образцов из керамзитобетона на кварцевом песке заметного влияния пропаривания на  $E_b$  из-за ограниченного объема выборки установить не удалось. Значения модуля упругости керамзитобетона на карбонатном песке естественного твердения в среднем на 10% ниже модуля упругости бетона контрольных образцов на кварцевом песке. Причем, наибольшая разница  $\approx 20\%$  наблюдается для бетона меньшей прочности. При увеличении

прочности на сжатие превышение модуля упругости бетона на кварцевом песке над модулем упругости бетона на песке карбонатном уменьшается. Сравнение модулей упругости легких бетонов по ДБН В.2.6-98:2009 и по результатам эксперимента, приведенным к классу бетона по прочности на сжатие показывает, что для конструктивно-теплоизоляционных бетонов классов В5-В10 нормируемый ДБН В.2.6-98:2009 модуль упругости в зависимости от плотности на 5...15% выше модуля упругости керамзитобетона на карбонатном песке. Для бетонов классов В12,5-В25 модуль упругости исследуемого бетона близок нормируемому ДБН В.2.6-98:2009, а для класса бетона В30 превосходит его до 10%.

Коэффициент упругости керамзитобетона на карбонатном песке, вычисленный как отношение упругих деформаций к полным, линейно уменьшается при увеличении относительного обжатия  $\eta = \frac{\sigma_b}{R_b}$  и может быть описан выражением  $\nu = 1 - 0,22\eta$ .

Коэффициент коррекции  $r = 0,75$ , ошибка уравнения  $\delta = 0,038$ . Контрольные образцы из керамзитобетона на кварцевом песке показали  $\nu$  в среднем на 5% ниже, чем для исследуемого бетона. Сравнение результатов опытов с результатами исследований ряда авторов, проведенных для разных видов легких бетонов и обобщенных в [2], также указывают на высокое значение  $\nu$  для керамзитобетона на карбонатном песке. Превышение над средними значениями, измеренными при  $\eta = 0,2$ ;  $\eta = 0,5$  и  $\eta = 0,8$ , составляет 8...9%.

Предельная сжимаемость керамзитобетона на карбонатном песке выше, чем у бетона на кварцевом песке и может быть определена по формуле  $\epsilon_{b,u} = (100 + 4,6 R) \cdot 10^{-5}$ ; коэффициент корреляции  $r = 0,89$ , ошибка уравнения  $\delta = 14,5 \cdot 10^{-5}$ .

### ***Выводы***

1. При проектировании элементов из керамзитобетона на карбонатном песке его прочностные и деформативные характеристики можно определить по ДБН В.2.6-98:2009, принимая их при сжатии как для легкого бетона на плотном песке, а при растяжении - как для бетона на пористом песке.

2. Для более полной реализации прочностных и деформативных свойств керамзитобетона на карбонатном песке его характеристики рекомендуется определять по приведенным экспериментальным зависимостям.

3. Коэффициент упругости керамзитобетона на карбонатном песке, вычисленный как отношение упругих деформаций к полным, линейно уменьшается при увеличении относительного обжатия  $\eta = \frac{\sigma_b}{R_b}$  и может быть описан

выражением  $\nu = 1 - 0,22\eta$ .

4. Предельная сжимаемость керамзитобетона на карбонатном песке выше, чем у бетона на кварцевом песке и может быть определена по формуле  $\varepsilon_{b,u} = (100 + 4,6 R) \cdot 10^{-5}$ ; коэффициент корреляции  $r = 0,89$ , ошибка уравнения  $\delta = 14,5 \cdot 10^5$ .

5. Сравнение модулей упругости легких бетонов по ДБН В.2.6-98:2009 и по результатам эксперимента, приведенным к классу бетона по прочности на сжатие показывает, что для конструктивно-теплоизоляционных бетонов классов В5-В10 нормируемый ДБН В.2.6-98:2009 модуль упругости в зависимости от плотности на 5...15% выше модуля упругости керамзитобетона на карбонатном песке. Для бетонов классов В12,5-В25 модуль упругости исследуемого бетона близок нормируемому ДБН В.2.6-98:2009, а для класса бетона В30 превосходит его до 10%.

### **Summary**

**The results of the researches of strength and deformation properties of expanded clay on carbonate sand and their peculiarities are listed.**

### *Литература*

1. Вилков К.И. Конструкционный керамзитожелезобетон при обычных и сложных деформациях. -М.: Стройиздат, 1984.-с. 12.

2. Пирадов А.Б. Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона. -М.: Стройиздат, 1973.-с. 55.

3. ДБН В.2.6-98:2009.