

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ЮГА УКРАИНЫ

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

Досліджені міцнісні й деформативні характеристики різних видів бетонів: карбонатний, керамзитобетон та кєралітобетон на карбонатних і кварцових дрібних заповнювачах та конструкцій з них, в тому числі й переднапружених.

Введение. Применение в разных областях строительства легких бетонов на пористых заполнителях вызывает большой интерес во многих странах. 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.

Наиболее общие правила конструирования легкого бетона как композиционного материала – это обоснованный выбор вяжущего с учетом предъявляемых требований к изделию, конструкции и сооружению, а также рациональный подбор отдельных составных компонентов с учетом минимальной их стоимости.

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

Кєралитобетон – 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.

Материалы и методы исследований. Исследование керамзитобетона, кєралитобетона и карбонатного бетона на мелких заполнителях (карбонатном и кварцевом песках) и конструкций на их основе проводили в лабораториях кафедры ЖБ и КК ОГАСА и ЗЖБК ООО «Кулиндоровского индустриального концерна».

В исследованиях использовали: портландцемент ОАО «ЮГ цемент» марка 400; известь Александровского силикатного завода, активностью 60% на СаО; зола-унос Ладыжинской ТЭС с удельной поверхностью $S_{уд}=3000 \text{ см}^2/\text{г}$, при добавлении не больше 40% от веса вяжущего; керамзитовый гравий (Кулиндоровского завода из глиен Орловского и Фонтанского месторождения Одесской области) фракций 5...10 и 10...20мм в соотношении по объему $V_{5...10}/V_{10...20} = 1,5$; кєралитовый гравий получен в печах обжига ПВ 2,5x40 на Кулиндоровском ЗЖБК ПО «Одєсжелезобетон». В качестве сырья использовали илистые грунты на береговых гидроотвалах портов Белгород-Днєстровский, Усть-Дунайск и Южный (Аджельский лиман) фракций 5...10 и 10...20мм; карбонатный песок Орловского месторождения; песок речной плотный "Тельмановский карьер", "Кременчуцкий речной порт", модуль крупности 1,36; пластификатор С-3 в качестве 0,3...0,6% от массы цемента.

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 [1].

В работах [2,3,4,5,6] исследованы основные свойства керамзитобетона и кералитобетона на кварцевых и карбонатных песках и разных вяжущих, назначены оптимальные составы для изготовления сборных и монолитных элементов и конструкций.

Карбонатный бетон. Проведенными исследованиями [2] установлено, что наилучшие результаты дает пористый карбонатный заполнитель с наибольшим размером фракций до 5 мм, т.е. крупный песок. Количество пылевидных фракций менее 0,15 мм в таком песке может достигать до 20 %.

В качестве вяжущего в бетоне применялся портландцемент активностью 526 кг/см², рабочие составы мелкозернистого известнякового бетона были выбраны оптимальными, путём предварительного подбора [6].

Для мелкозернистого известнякового бетона прочностью $R = 150 - 300$ кг/см² при нагрузках близких к разрушению значение коэффициента призмной прочности составило 0,82 - 0,90. Коэффициент Пуассона в среднем составил 0,21.

На основании обработки опытных данных прочность карбонатного бетона при растяжении выражена зависимостью $R_p = 0,43\sqrt[3]{R^2}$.

Опытная наибольшая величина потерь напряжений от усадки и ползучести бетона в балках, армированных стержневой арматурой класса А-IIIв при $\sigma_b/R_0=0,568$ составила 37,5% от величины предварительного напряжения σ_0 . Потери предварительного напряжения от усадки и ползучести мелкозернистого карбонатного бетона рекомендуется определять по формулам теории старения или по методике СНиП 2.03.01-84* с учетом поправочных коэффициентов, полученных из опытов: для усадки 1,75, для ползучести 0,7.

Кратковременные и длительные испытания предварительно напряженных балок и панелей перекрытия, армированных Вр-II и А-IIIв показали, что методику расчета прочности, трещиностойкости и деформативности СНиП 2.03.01-84* для тяжелых бетонов можно рекомендовать и для расчета предварительно напряженных конструкций из мелкозернистого известнякового бетона с учетом расчетных параметров, полученных на основании экспериментальных данных.

Проведенные исследования в ОГАСА подтвердили полную возможность использования отходов пильных известняков в качестве заполнителей в конструкционных бетонах. Использование карьерных отходов в качестве заполнителей в бетонах дает большой экономический эффект, увеличивая выход готовой продукции на основе разработок камня известняка ракушечника.

Керамзитобетон. В работах [3,4,5,6] исследованы основные свойства керамзитобетона на карбонатном и кварцевом песках с применением многокомпонентных вяжущих, назначены оптимальные составы для изготовления сборных, монолитных элементов и конструкций. Исследовано влияние факторов состава на кубиковую и призмную прочности, плотность, модуль упругости, изменение во времени прочностных, деформативных свойств и границ микротрещинообразования.

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

$$R_{(28)}=19,95+3,7x_1+1,7x_2+1,9x_3+3,0x_4+2,7x_1^2+1,2x_1x_3-1,2x_3x_4-1,4x_4^2-2,1x_5^2; \quad (1)$$

$$R_{b(28)}=18,5+3,3x_1+1,5x_2+1,7x_3+2,8x_4+2,5x_1^2+1,1x_1x_3-1,079x_3x_4-1,178x_4^2-1,833x_5^2. \quad (2)$$

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.

В результате применения регрессионного анализа для каждого из принятых возрастов [6] керамзитобетона на кварцевом песке и ЦИЗ-вяжущем принято линейное уравнение регрессии вида:

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

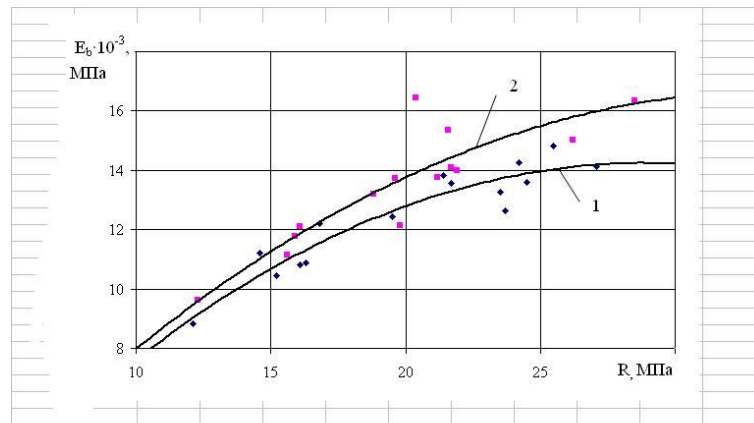


Рис. 1. Зависимость модуля упругости от кубиковой прочности:

- 1 - керамзитобетон на карбонатном песке [4];
- 2 - керамзитобетон на кварцевом песке [2].

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 [1].

С помощью метода наименьших квадратов была аппроксимирована зависимость модуля упругости керамзитобетона на карбонатном песке и цементно-зольном вяжущем от его кубиковой прочности:

$$E_b \cdot 10^{-3} = -1,295 - 0,0187R^2 + 1,079R. \quad (4)$$

Эта зависимость с достаточной точностью справедлива в диапазоне изменения прочности от 12,1 МПа и 27,1 МПа. Из рис.1 можно заметить, что модуль упругости керамзитобетона на кварцевом песке больше, чем на карбонатном, и, в среднем, их значения отличаются на 10%.

Одним из основных факторов, влияющих на параметрические точки микротрещинообразования, являются прочность сцепления между цементным камнем и зернами заполнителя. Повышение параметрических точек для пористых заполнителей можно аргументировать тем, что на границе пористого заполнителя и цементного скелета снижается концентрация напряжений, а также впитывание пористым заполнителем цементно-водной суспензии обеспечивает хорошее сцепление его с цементно-песчаным

камнем, в тоже время, упрочняя контактный слой заполнителя и повышая конструктивную прочность керамзитобетона.

Получены линейные зависимости напряжений осевого сжатия от призмной прочности керамзитобетона:

$$R_{сгс}^0/R_b = 0,2618 + 0,0873\lg(R_b); \quad (5)$$

$$R_{сгс}^V/R_b = 0,7629 + 0,0589\lg(R_b). \quad (6)$$

На рис. 2 приведены данные о характеристиках деформирования призм. Напряжения осевого сжатия для керамзитобетона М200 равно $R_{сгс}^0 = (0,49 - 0,54)R_b$ и для марки М250 - $R_{сгс}^0 = (0,51-0,57)R_b$, а напряжения, соответствующие началу образования магистральных трещин разрушения, очень близки к призмной прочности керамзитобетона $R_{сгс}^V = (0,9 - 0,95)R_b$, что и, объясняет хрупкое разрушение призм. Повышенные границы микротрещинообразования, позволяют рекомендовать разработанные керамзитобетоны, в том числе и на цементно-зольном вяжущем для конструкций.

По результатам испытаний на сцепление арматуры с бетоном получены с 95 % надежностью уравнения регрессии разрушающих напряжений сцепления $\tau_{сц}^п$ и $\tau_{сц}^{ест}$ и напряжений в арматуре в момент сдвига незагруженного конца арматуры $\sigma_0^п$, $\sigma_0^{ест}$:

$$\tau_{сц}^п = 6,884 + 0,638x_1 - 1,38x_2 - 0,242x_1^2 - 0,09x_1x_2 + 0,863x_2^2; \quad (7)$$

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

$$\sigma_0^п = 170,3 + 57,44x_1 + 103,1x_2 + 3,955x_1^2 + 29,97x_1x_2 + 29,88x_2^2; \quad (9)$$

$$\sigma_0^{ест} = 195,5 + 60,0x_1 + 129,0x_2 - 1,603x_1^2 + 31,61x_1x_2 + 36,1x_2^2. \quad (10)$$

С ростом прочности бетона $\tau_{сц. разр.}$ увеличивается пропорционально рис. 3. Для равных длин заделки приращение $\tau_{сц. разр.}$ разное и уменьшается с увеличением заделки.

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 20% 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 значений трещинообразования с расчетными подсчитанными в соответствии с СНиП 2.03.01-84*, указывают на хорошую сходимость результатов. Максимальное отклонение составило 8% для ребристых плит. Отклонение прогибов от расчетных подсчитанных при коэффициенте $\phi_{b1} = 0,85$, составляет 15% при среднем значении 6%.

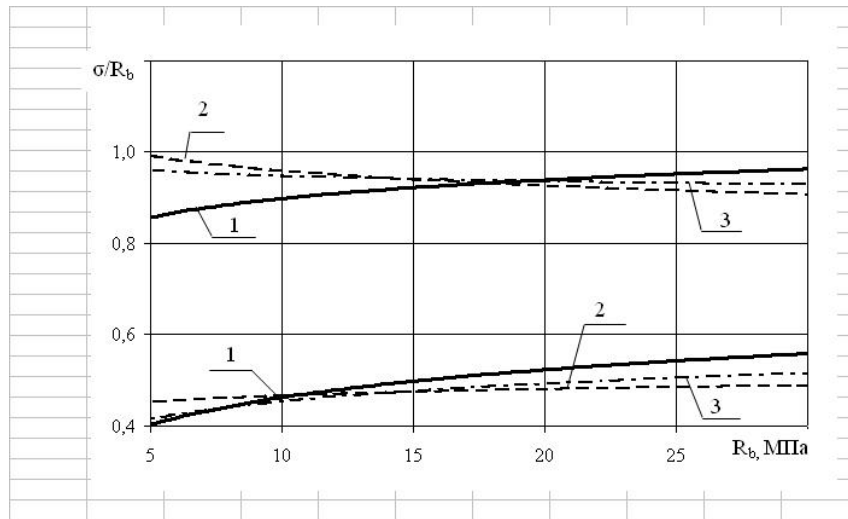


Рис. 2. Зависимость границ микротрещинообразования керамзитобетона от призмной прочности:

- 1 – керамзитобетон на карбонатном песке и цементно-зольном вяжущем [4];
 2 – керамзитобетон на кварцевом песке и ЦИЗ-вяжущем [2];
 3 – керамзитобетон на карбонатном песке [5].

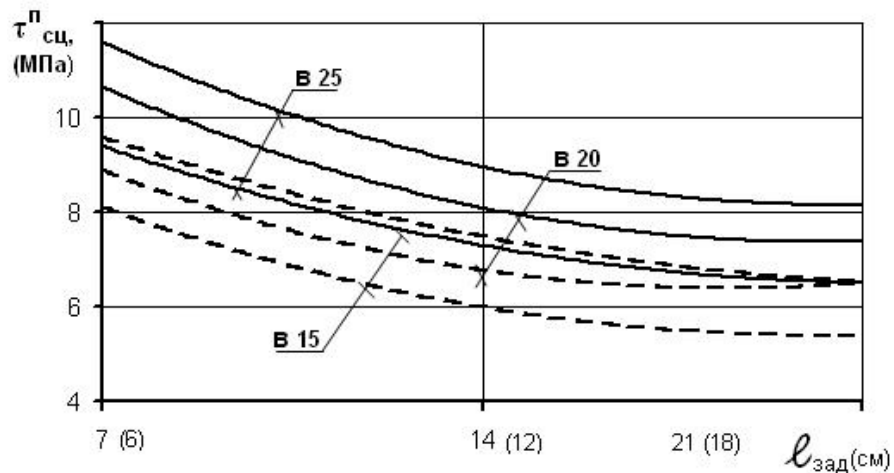


Рис. 3. Зависимость $\tau_{сц} = f(R; l_{зад})$ для керамзитобетона на ЦИЗ-вяжущем и кварцевом песке; ————— естественного, - - - - - пропаренного твердения.

Кералитобетон. По результатам экспериментальных исследований прочности свойств кералитобетона с 95% надежностью были получены квадратичные уравнения регрессий кубиковой и призмной прочностей, модуля упругости, микротрещинообразования, предельной сжимаемости, усадки, ползучести на 28 суток, для их упрощения была исследована и линейная зависимость [3]:

$$R_b(28) = 41,3 - 14,7 [(B/C) + r]. \quad (11)$$

С учетом полученных коэффициентов временная зависимость прочности имеет вид:

$$R_b(t, B/C, r) = (50,4 - 16,8e^{-0,0133t}) - 15,8[(B/C) + r]. \quad (12)$$

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 получены линейные уравнения регрессии вида:

$$E_{b(28)} \cdot 10^{-3} = 19,44 - 4,71[(B/C) + r]. \quad (14)$$

Для определения границ области микротрещинообразования кералитобетона на карбонатном песке использовали квадратичные уравнения регрессии $R_{\text{ср}}^0(28)$ и $R_{\text{ср}}^V(28)$ в зависимости от факторов состава. Проведенный математико-статистический анализ выявил возможность использования линейных уравнений границ области микроразрушения.

В результате применения регрессионного анализа были получены линейные уравнения регрессии вида:

$$R_{\text{ср}}^0(28) = 0,571 - 0,064 [(B/C) + r]; \quad (15)$$

$$R_{\text{ср}}^V(28) = 0,982 - 0,030 [(B/C) + r]. \quad (16)$$

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:

$$C(\infty, 28) = 1,317[(B/C) + r]^{2,1}. \quad (18)$$

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

В результате испытаний получена средняя прочность камней СКУ-1 составила 3,01 МПа, СКУ-2 – 3,08 МПа, контрольных кубов – 3,12 МПа, призм – 3,0 МПа, морозостойкость F25.

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 $N_{\text{разр}}$; 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 П63.15-8Ат-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 $q_{\text{разр}}^{\text{оп}} = 1616$ 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 $f_k^{\text{оп}} = 7,95$ мм. Первые трещины появились при нагрузке $q^{\text{оп}} = 1422$ кг/м².

Таким образом, конструкции предварительно напряженных железобетонных плит перекрытий сплошного сечения П63.15-8Ат-Ул из кералитобетона отвечают установленным требованиям по прочности, трещиностойкости и деформативности.

Выводы

1. Для оптимизации составов рекомендуется использовать методику комплексного подхода, учитывающую технологические и эксплуатационные требования к бетону.

2. 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.

4. Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность легких бетонов на пористых заполнителях, значительную экономию портландцемента, целесообразность использования перечисленных ранее легких бетонов для жилых и общественных зданий.

SUMMARY

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

Литература

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

2. 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.

3. Дорофеев В.С., Зинченко С.В., Луцкин Е.С., Столевич А.С. Конструкционные элементы из кералитобетона//Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. № 13 Одеса Зовнішрекламсервіс. 2004. – С. 154-159.

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

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

6. Дорофеев В.С., Столевич А.С., Столевич И.А., Зинченко С.В., Чопик В.Н. Прочностные и деформативные свойства бетонов и конструкций на пористых заполнителях юга Украины. - Проблемы современного бетона и железобетона: ч. 2. Технология бетона. - Минск : Минсктиппроект, 2009. - С. 189-207.