

СВОЙСТВА ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА МЕСТНЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Столевич А. С., Макаров С. В., Костюк А. И., Суханов В. Г.,
Столевич И. А. (Одесская государственная академия строительства
и архитектуры, г. Одесса)

Рассмотрены вопросы использования керамзита, кералита и отходов камнепиления низкопрочных известняков-ракушечников в легких конструкционных бетонах. Получены удобные для практического использования зависимости свойств этих бетонов от состава.

Опережающее развитие конструкций из бетонов на пористых заполнителях обуславливается их высокой эффективностью, связанной с возможностью регулирования теплотехнических и других свойств, при снижении массы зданий и сооружений. Возможность использования для их изготовления дешевых местных заполнителей из отходов различных производств позволяет решать и проблему охраны окружающей среды.

Такие исследования проведены в б. ОИСИ, НИИЖБ, ГИСИ, НИИСМИ и др. Выполненные научно-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 его качество и экономическую эффективность.

Действующие нормы (СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции) не учитывают в полной мере специфических свойств керамзитобетона на карбонатном песке, что снижает качество проектирования и расчета конструкций. В развитие этих норм в ОГАСА (б. ОИСИ) разработаны рекомендации, регламентирующие применение такого вида керамзитобетона в конструкциях различного назначения.

Максимальный учет свойств пористых местных заполнителей в сочетании с привязкой к конкретной технологии изготовления легких бетонов и уровнем ее подготовки являются исходными для проектирования эффективных индивидуальных и типовых конструкций.

Дефицит мелких заполнителей для бетонов во многих регионах страны может быть восполнен путем широкого применения для их производства отходов камнепиления карбонатных пород (пористых известняков и известняков-ракушечников).

Пригодность карбонатных пород для получения песка определяется его прочностью, которая должна быть выше 1,0 МПа. Требования к пористым карбонатным пескам регламентируются РСТ УССР 5014-82. Модуль крупности карбонатного песка должен находиться в пределах 2...3,5. Содержание в песке зерен крупностью 5...10 мм должно быть не более 5% по массе.

В исследованиях использовали местный, фракционированный крупный заполнитель Кулиндоровского завода: керамзитовый гравий и его аналог – кералитовый гравий, получаемый обжигом при высокой температуре гранул из морских и лиманских илов, разрабатываемых при ремонтно-эксплуатационном и капитальном дноуглублении подходных каналов и портовых акваторий [1]. В качестве мелкого заполнителя применяли карбонатный песок Главанского и Орловского месторождений, получаемый путем дробления и отсева отходов камнепиления известняков-ракушечников (карбонатные породы) и кварцевый песок (для сопоставления).

В ходе выполнения работы применен комплексный подход, включающий изучение свойств исходных материалов; назначение оптимальной рецептуры бетонов; назначение оптимальных технологических параметров; исследование свойств керамзитобетона и кералитобетона; изготовление и испытание опытно-промышленных партий конструкций из бетонов оптимальных составов.

Характеристики применяемых материалов: керамзит и кералит – фракции 5...20 мм, прочностью – 2,9...3,15 МПа, насыпной плотностью – 480...650 кг/м³, водопоглощение – 15%, объем межзерновых пустот – 40%, марку по насыпной плотности – 500, 600, 700; карбонатный песок – 0...5мм, модуль крупности – 2,97, насыпная плотность – 1170 кг/м³, плотность в цементном тесте – 2420 кг/м³, пустотность – 54%, содержание глинистых частиц – 0,73%; вяжущее – портландцемент марки 400.

Исследования осуществляли на основе трехфакторного нелинейного плана Бокса-Бенкена типа 3³ [2]. В качестве факторов приняты: расход цемента $C(x_1 = 400 \pm 150 \text{ кг/м}^3)$; агрегатно-структурный фактор ($x_2 = 0,625 \pm 0,375$); возраст загрузки длительной нагрузкой

t_0 ($x_3 = 7, 28, 115$ сут.). Контролировали изменение B/C при заданной подвижности бетонной смеси ($OK = 6$ см), кубиковую R и призмную прочность R_B , модуль упругости E_B в возрастах 7, 28, 115, 300, 700 сут; границы области микротрещинообразования R_{crc}^c и R_{crc}^v ; предельные деформации сжатия ε_{sc} , относительные деформации усадки ε_{sc} и относительные деформации ползучести ε_{cc} керамзито-кералитобетона, загруженного в возрастах $t_0 = 7, 28, 115$ сут. нагрузкой равной $0,2R_B$; $0,5R_B$; $0,8R_B$.

Для анализа влияния факторов состава-расхода цемента x_1 (250...550 кг/м³) и агрегатно-структурного фактора x_2 (0,25...1) на свойства керамзито-кералитобетона на карбонатном песке для каждого контролируемого параметра использовали уравнения регрессии 2-ой степени.

Для упрощения этих уравнений и дальнейшего анализа применяли линейные зависимости с обобщенным фактором состава $x = (B/C + r)$. Используемая в исследованиях методика получения и статистического анализа уравнений регрессии включает расчет коэффициентов, их статистический анализ, оценку адекватности и информационной способности.

Результаты статистических расчетов показывают, что увеличение возраста керамзито-кералитобетона не вызывает значимого изменения характера влияния исследуемых факторов на призмную прочность. Учитывая это, для прогнозирования призмной прочности во времени можно использовать зависимость (1)

$$R_B(t, B/C, r) = (50,4 - 16,8e^{-0,0133t}) \cdot 15,8 (B/C + r). \quad (1)$$

Значение коэффициента призмной прочности φ_B для исследуемого бетона на 4...10% превышает соответствующие значения СНиП 2.03.01-84*. Величины φ_B рекомендуется нормировать по уравнению (2)

$$\varphi_B = 0,933 - 0,0028R + 0,000154R^2. \quad (2)$$

Значения модуля упругости во времени предлагается определять по зависимости (3)

$$E_B(t) = E_B(\infty) [1 - e^{-\alpha t}] \quad (3)$$

Входящие в эту зависимость величины $E_g(\infty)$ и α при известных характеристиках состава керамзито-кERALИТОБЕТОНА рекомендуется вычислять по (4), (5)

$$E_g(\infty) = 18380 - 3972 (B/C + r). \quad (4)$$

$$\alpha = 0,87 - 0,34 (B/C + r). \quad (5)$$

Предельные деформации сжатия $\epsilon_{всц}$ зависят от расхода цемента, концентрации керамзито-кERALИТОВОГО ГРАВИЯ и возраста, о чем свидетельствует статистическая значимость коэффициентов при эффектах взаимодействия указанных факторов. Существуют оптимальные значения расхода цемента, зависящие от значений r и возраста бетона, при которых $\epsilon_{всц}$ принимают максимальные значения. Изменение значений r от 0,25 до 1 вызывает увеличение $\epsilon_{всц}$ в среднем на 34%. Наибольшее влияние на $\epsilon_{всц}$ в любом из рассмотренных возрастов бетона оказывает фактор r при расходе цемента 250 кг/м³. С увеличением расхода цемента появляется тенденция к заметному ослаблению влияния r и при расходе цемента 550 кг/м³, особенно в возрасте бетона $t=115$ сут., влияние r на $\epsilon_{всц}$ практически несущественно. С увеличением возраста бетона предельные деформации сжатия заметно уменьшаются при $r=1$ и незначительно увеличиваются при $r=0,25$.

Математико-статические расчеты показали, что для описания зависимости предельных деформаций сжатия $\epsilon_{всц}$ от обобщенного фактора состава $(B/C + r)$, независимо от возраста керамзито-кERALИТОБЕТОНА, может быть использовано усредненное уравнение регрессии (6)

$$\epsilon_{всц} = [182 + 85 (B/C + r)] \cdot 10^{-5}. \quad (6)$$

Для определения границ области микроразрушений исследуемого бетона в зависимости от его прочности рекомендуется использовать выражения (7) и (8)

$$R_{crc}^c / R_g = 0,376 + 0,076 \lg R_g. \quad (7)$$

$$R_{crc}^v / R_g = 0,848 + 0,064 \lg R_g. \quad (8)$$

Деформации ползучести и усадки керамзито-кералитобетона на карбонатном песке в большинстве случаев подчиняются закономерностям, присущим тяжелым и легким бетонам плотной структуры.

Задача исследований заключалась в установлении зависимостей для вычисления предельных величин деформаций усадки и их развитие во времени с учетом основных характеристик составов керамзито-кералитобетона на карбонатом песке.

Применение статистических методов обработки результатов позволило установить структуру зависимости между предельными значениями усадки $\varepsilon_{sc}(\infty, tw)$ и исследуемыми факторами состава – расходом воды B (л), цемента C (кг/м³) и значениями агрегатно-структурного фактора r .

Развитие во времени процесса усадки керамзито-кералитобетона на карбонатном песке достаточно достоверно может быть аппроксимировано зависимостью (9)

$$\varepsilon_{sc}(t, tw) = [144,7 (B/C + r) - 73,1] [1 - e^{-0,0101 (B/C + r) (t, tw)}]. \quad (9)$$

Из всего многообразия влияющих на деформации ползучести факторов, от которых зависит формирование и становление керамзито-кералитобетона как материала, к наиболее существенным следует отнести расход цемента, воды и концентрацию керамзито-кералитового гравия.

Проведенные нами исследования позволили уточнить влияние рецептурных факторов (расход цемента, агрегатно-структурного фактора), возраста бетона ($t_0 = 7, 28, 115$ сут.) и начального относительного уровня напряжений ($\eta = 0,2; 0,5; 0,8$) на развитие во времени и предельные величины деформаций ползучести керамзито-кералитобетона на карбонатном песке, а также разработать методику их прогнозирования.

Установлено, что независимо от величины относительного уровня напряжений увеличение содержания карбонатного песка в смеси заполнителей, а следовательно, увеличение объема растворной части бетона, приводит к росту ползучести. Расход цемента оказывает неоднозначное влияние на деформации ползучести и зависит от уровней агрегатно-структурного фактора r . При отсутствии кералитового гравия в смеси или его малой концентрации (при $r > 0,65$) увеличение расхода цемента понижает деформации ползучести. При увели-

чении концентрации керамзито-кералитового гравия в смеси (при $r < 0,65$) увеличение расхода цемента до оптимальных значений также уменьшает ползучесть, а при $C > C_{opt}$; ползучесть увеличивается.

Оптимальные значения расхода цемента зависят от значений r : при $r = 0,25$ $C_{opt} = 390$ кг/м³; при $r = 0,625$ $C_{opt} = 510$ кг/м³.

Загружение бетона принятыми уровнями напряжений в возрастах $t_0 = 7$ сут. и $t_0 = 115$ сут. Приводит к изменению деформаций ползучести в среднем на $\pm 35\%$ по отношению к деформациям ползучести бетона, загруженного в возрасте $t_0 = 28$ сут.

В основе методики прогнозирования деформации ползучести керамзито-кералитобетона на карбонатном песке лежат основные зависимости наследственной теории старения [3, 4]. Для учета особенностей ползучести керамзито-кералитобетонов при заданных классе бетона B и плотности γ или при известных характеристиках состава бетона рекомендованы выражения для вычисления параметров функций $\Omega(t_0)$, $f(t - t_0)$ и f_M .

Предельные значения меры ползучести при известных характеристиках состава бетона рекомендуется вычислять по (10)

$$C(\infty, 28) = 1,317 (B/C + r)^{2,1}. \quad (10)$$

Выводы:

1. Керамзитобетон и кералитобетон на карбонатном песке являются местными строительными материалами и могут быть рекомендованы для получения конструктивных бетонов прочностью до 30 МПа.
2. Изучены основные физико-механические свойства и получены удобные для практического использования зависимости: прочности, плотности, модуля упругости, границ области микроразрушений, предельных деформаций сжатия, усадки и ползучести от факторов состава бетона.
3. Разработаны рекомендации по производству и применению конструктивного, конструктивно-теплоизоляционного бетонов, по учету потерь предварительного напряжения от усадки и ползучести, по учету комплекса технологических параметров, и по проектированию конструкций из керамзитобетона на карбонатном песке.

Литература

1. Легкие бетоны на основе илокералита. Информационный листок. – Одесса: ОЦНТИ и ЭМ, 1991. – 4 с.
2. Львовский Е.Н. Статические методы построения эмпирических формул. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.
3. Прокопович И. Е., Зедгенидзе В. А. Прикладная теория ползучести. – М.: Стройиздат, 1980. – 240 с.
4. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 121 с.