

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СТАБИЛИЗАЦИЯ СВОЙСТВ КЕРАЛИТОБЕТОНА НА КАРБОНАТНОМ ПЕСКЕ

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

Приведены результаты исследования влияния рецептурных и технологических факторов на формирование кералитобетонной смеси и бетона. Получены удобные для использования статистически надежные математические зависимости различных свойств кералитобетона от факторов состава.

Широкое применение бетонов на пористых заполнителях для изготовления конструкций различного назначения определяется комплексом научных исследований этих бетонов и постоянно расширяющейся практикой строительства. В ряде случаев основные технико-экономические преимущества легких бетонов на местных заполнителях настолько существенны, что их применение становится более целесообразным по сравнению с обычным тяжелым бетоном и определяется рассмотрением конкретных технологических вопросов.

Кералитобетон – новая разновидность легких бетонов, крупным заполнителем в котором применяется кералит, полученный обжигом при высокой температуре гранул из морских и лиманских илов. Исходным сырьем опытно-промышленных испытаний применялся бросовый грунт-ил порта Белгород-Днестровский и порта Южный, полученный при ремонтно-эксплуатационном и капитальном дноуглублении подходов каналов и портовых акваторий.

Проведенные патентные исследования показали, что кералитобетон является новой разновидностью легких бетонов, не имеющих аналогов в мировой практике.

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 регламентируется 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 проведенных исследованиях использовали местный, фракционированный крупный заполнитель – кералит Кулиндоровского завода и карбонатный песок Главанского месторождения, получаемый путем дробления и отсева отходов камнепиления известняков-ракушечников.

В ходе выполнения работы применен комплексный подход, включающий изучение свойств исходных материалов; назначение оптимальной рецептуры кералитобетона; назначение оптимальных технологических параметров; исследование свойств кералитобетона на карбонатном песке.

Легкие бетоны обладают таким свойством, как возможность получать равную прочность при разных значениях их плотностей. Такой эффект достигается регулированием рецептуры бетона и значениями технологических факторов. К последним следует отнести условия приготовления и уплотнения легкобетонной смеси.

Оптимизация составов бетона на пористых заполнителях заключается в нахождении такого состояния его компонентов, которое обеспечивало бы заданные требования, предъявляемые к легкобетонной смеси и бетону. Оптимизировать состав бетона на пористых заполнителях более сложно, чем для бетонов других видов, поскольку при переходе от смеси к бетону изменяется состав бетона, его структура и свойства. Без учета влияния технологических факторов при назначении составов, невозможно получить легкий бетон с заданными физико-механическими характеристиками. Следовательно, оптимальный состав бетона – это состав с оптимальной рецептурой, бетон который приготавливается по оптимальным для данного состава технологическим параметрам.

Оптимальный подбор составов бетонов на пористых заполнителях, с учетом заданных требований, не возможен без предварительного выявления основных закономерностей влияния компонентов бетона и технологических параметров изготовления конструкций на основные свойства смеси и бетона.

Характеристики применяемых материалов:

- Кералит – фракции 5...10 мм, прочность 3,15 МПа, насыпной плотностью 462 кг/м³, истинная плотность – 2,51 г/см³, плотностью в цементном тесте – 1050 кг/м³, к.к.к. – 680 м, водопоглощение – 15%,

объем межзерновых пустот – 40%, марка по насыпной плотности – 500;

- Карбонатный песок – 0...5 мм, модуль крупности – 2,97, объемная насыпная масса – 1170 кг/м³, истинная плотность – 2,54 г/см³, содержание глинистых частиц 0,73%;

- Портландцемент марки 400.

При проведении исследований, позволившие выявить влияние рецептурно-технологических факторов на основные свойства кералитобетонной смеси и кералитобетона и назначить оптимальные составы кералитобетона на карбонатном песке использовали математико-статистические методы планирования эксперимента, обработки экспериментальных значений и принятие решений по полученным зависимостям.

Для экспериментальных исследований, проводимых по методике планированного эксперимента использовали близкие к Д-оптимальному планы типа N_{a5} , B_4 (I этап) и типа 2^3 и план Бокса-Бенкена типа 3^3 (II этап).

Независимыми переменными (факторами) на разных этапах были выбраны: расход цемента Ц, кг/м³ ($X_1 = 375 \pm 175$; $X_1 = 400 \pm 150$); агрегатно-структурный фактор, г ($X_2 = 0,65 \pm 0,35$; $X_2 = 0,4 \pm 0,2$); удобоукладываемость смеси, ОК, ж ($X_3 = ОК_6$, ж 35с+30с); время перемешивания смеси t, мин. ($X_4 = 7,5 \pm 4,5$ мин); время уплотнения t, сек. ($X_5 = 120 \pm 60$ сек); бетон естественного твердения и прокаленный, расход воды В, л ($X_3 = 200 \pm 50$ л).

В качестве контролируемых параметров были назначены: основные $R(t)$; $R_b(t)$; $E_b(t)$ в возрасте $t =$ п.п.; 3; 14; 28; 90; 180; 365 сут; плотность $\rho_{\text{сух}}$ (в высушенном до постоянной массы при $t = 28$ сут); объем межзерновых пустот $V_{\text{п}}$; показатель расслаиваемости, Пр; расход В; дополнительные – водопотребность кералитобетонной смеси, В; стоимость состава кералитобетона, С.

Фактические составы были весьма близки к исходным (в пределах до 3%).

Для анализа влияния факторов состава – расхода цемента X_1 (250...550 кг/м³) и агрегатно-структурного фактора X_2 (0,25...1) на свойства кералитобетона на карбонатном песке для каждого контролируемого параметра использовали уравнения регрессии 2-ой степени. Уравнения регрессии, полученные по близкому к Д-оптимальному плану N_{a5} , обеспечивают одинаковую точность прогнозирования исследуемого параметра во всем факторном пространстве.

По полученным уравнениям построены графики зависимости прочности и плотности от расхода цемента и значения агрегатно-структурного фактора. Кодированные значения факторов X_4 и X_5 приняты равными нулю.

Для упрощения некоторых зависимостей уравнений регрессии 2-ой степени и дальнейшего анализа применяли линейные зависимости вида $y_0 = b_0 + b_1 \cdot x$, где $x = (B/C+r)$ – обобщенный фактор состава.

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

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

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

$$\varphi_b = 0,933 - 0,0028 \cdot R - 0,000157 \cdot R^2. \quad (2)$$

Значение модуля упругости во времени предлагается определить по зависимости (3).

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

Входящие в эту зависимость величины $E_b(\infty)$ и α при известных характеристиках состава кералитобетона рекомендуется вычислять по (4), (5).

$$E_b(\infty) = 18380 - 3972 \cdot (B/C+r), \quad (4)$$

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

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

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

Для определения границ области микроразрушений кералитобетона в зависимости от его прочности в возрасте 28 суток можно использовать уравнения регрессии (7), (8).

$$R_{сгс}^c = [0,571 - 0,064 \cdot (B/C+r)] R_b, \quad (7)$$

$$R_{сгс}^v = [0,982 - 0,030 \cdot (B/C+r)] R_b. \quad (8)$$

Оптимальные составы кералитобетона на карбонатном песке приведены в табл. 1

Таблица 1

Оптимальные составы кералитобетона на карбонатном песке

Прочность кералитобетона, МПа	Расход материалов на 1 м ³ бетона					Плотность бетона, кг/м ³
	г	Цемент Ц, кг/м ³ /л	Песок П, кг/л	Кералит К, кг/л	Вода В, л	
10	0,88	$\frac{250}{80,6}$	$\frac{1489}{631}$	$\frac{168}{373}$	202	1685
15	0,75	$\frac{280}{90,3}$	$\frac{1296}{549}$	$\frac{357}{793}$	178	1675
20	0,75	$\frac{360}{116,1}$	$\frac{1225}{519}$	$\frac{338}{751}$	192	1690
25	0,75	$\frac{455}{146,7}$	$\frac{1152}{488}$	$\frac{318}{707}$	203	1710
30	0,75	$\frac{540}{174,2}$	$\frac{1090}{462}$	$\frac{300}{667}$	210	1730

Выводы:

1. Кералит – новый пористый заполнитель, получаемый обжигом при высокой температуре гранул из морских и лиманских илов. Его производство осуществляется по традиционной технологии производства керамзита из глинистого сырья. Положительным фактором является и то, что утилизация ила, который получают при дноуглубительных работах сокращает площади под отвалы.
2. Результаты исследований показали, что кералитовый гравий соответствует требованиям стандартов и может быть рекомендован для получения конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов прочностью до 30 МПа.
3. Карбонатный песок Глованского месторождения пригоден для использования в качестве мелкого заполнителя в легких бетонах.
4. Изучены основные физико-механические свойства этих бетонов. Установлено, что наибольшее влияние на характеристики бетона оказывает его состав.
5. Получены удобные для практического использования временные зависимости прочности, модуля упругости, границ области микрообразования и предельных деформаций сжатия от факторов состава.