

УДК 691.32

С. Д. Семенюк, В. А. Ржевуцкая

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЛЕГКОГО БЕТОНА НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

UDC 691.32

S. D. Semeniuk, V. A. Rzhevutskaya

INFLUENCE OF COMPONENTS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE ON STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS

Аннотация

Для выявления влияния компонентов заполнителя на прочностные и деформативные характеристики керамзитобетона в Белорусско-Российском университете проведены экспериментальные и теоретические исследования прочности и деформативности образцов в виде кубов, призм и цилиндров на кратковременное центральное сжатие из керамзитобетона. В процессе исследований определены призматическая и цилиндрическая прочности, продольный, поперечный и сдвиговой модуль деформаций, коэффициент Пуассона, пределы верхнего и нижнего микротрещинообразования.

Ключевые слова:

керамзитобетон, заполнитель, модуль деформаций, кинетика роста, коэффициент Пуассона, пределы микротрещинообразования.

Abstract

Experimental and theoretical research was carried out at the Belarusian-Russian University in order to find the effect of aggregate components on the strength and deformation characteristics of expanded clay concrete. Expanded clay concrete samples in the form of cubes, prisms and cylinders were subjected to short-term central compression and their strength and deformation properties were studied. The prismatic and cylindrical strength, longitudinal, transverse and shear modulus of deformation, the Poisson's ratio, as well as the limits of upper and lower microcrack formation were determined.

Keywords:

expanded clay concrete, aggregate, modulus of deformation, growth kinetics, Poisson's ratio, limits of microcrack formation.

Введение

Коэффициент конструктивного качества бетона по сравнению с коэффициентом конструктивного качества стали намного ниже, что является недостатком для конструкции. Чтобы устранить этот недостаток, можно уменьшить удельный вес бетона или увеличить его прочность. В последние несколько десятилетий удельный вес бетона успешно сокращается за счет использования легкого бетона, в том числе керамзитобетона. В качестве

крупного заполнителя для легкого бетона целесообразно применять керамзит. Это связано с тем, что на долю керамзита приходится больше половины от всего производства пористых заполнителей в Республике Беларусь.

Легкий бетон широко применяется не только для наружных ограждений отапливаемых зданий, но и для уменьшения веса конструкций, т. е. снижения давления на грунты. Легкий бетон, в частности керамзитобетон, широко используется при возведении зданий и



сооружений гражданского назначения, зданий промышленного назначения, в сельскохозяйственном строительстве, в гидротехническом строительстве, а также в плавучих наливных емкостях морских сооружений [9]. Конструкции из легкого бетона изготавливают как с обычным армированием, так и с предварительно напряженным. В сельскохозяйственном строительстве из легких бетонов изготавливают укрупненные наружные комплексные панели, покрытия в виде плит типа 2Т и в виде П-образной оболочки [2].

В Белорусско-Российском университете проводится ряд исследований керамзитобетона, на основе которых принимаются модели его прочности.

Влияние компонентов легкого бетона на прочностные характеристики

Большое разнообразие легких заполнителей с существенно различными свойствами предопределяет отличие прочностных свойств легких бетонов от аналогичных, принятых для тяжелого бетона. В силу этого проведенные исследования имели целью выявление влияния компонентов крупного заполнителя на прочностные характеристики и их взаимосвязи как для некоторых отдельных видов легких бетонов, так и для легкого бетона в целом.

Прочность легких заполнителей колеблется в весьма широких пределах – от 0,49 до 9,8 МПа при испытании их в стандартном цилиндре. Однако при работе в бетоне такое отличие резко сглаживается и позволяет выявить общие закономерности, свойственные легкому бетону. Разрушение такого бетона в этом случае происходит в основном по заполнителю в отличие от разрушения тяжелого бетона, где оно происходит, как правило, по контакту заполнителя с раствором. Пористые заполнители имеют низкую насыпную плотность, меньшую, чем плотные, меньшую прочность, шероховатую поверхность зерен.

Эти свойства резко изменяют водопотребность и водосодержание бетонной смеси, в связи с этим изменяются и основные свойства бетонной смеси и бетона. Легкие бетоны на пористых заполнителях имеют пористость до 40 %, плотность до 2200 кг/м³. Прочность легких бетонов зависит от активности цемента, водоцементного отношения, условий и длительности твердения, прочностей заполнителей и других факторов, таких как объемы раствора и заполнителя в бетоне, предельные сжимаемости скелета и заполнителя.

Прочность и объемная масса легких бетонов с увеличением расхода вяжущего возрастают, что объясняется повышением содержания в бетоне более прочного, но в то же время и более тяжелого компонента – цементного камня. Наибольшее же влияние на объемную массу и прочность легких бетонов оказывает зерновой состав и качество заполнителей, а также форма и характер поверхности зерен. Так как зерна крупного заполнителя благодаря своему пористому строению по сравнению с гранитными фракциями обладают меньшей объемной массой и прочностью, то при увеличении содержания крупного заполнителя в смеси объемная масса и прочность бетона снижаются.

Некоторые исследователи полагают, что при некоторых одинаковых факторах, определяющих рациональный подбор состава бетона, прочность легкого бетона будет зависеть только от водоцементного отношения:

$$f_{c,cube}^G = K_0 \cdot R_u \cdot (C/B - A), \quad (1)$$

где $f_{c,cube}^G$ – прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут; R_u – активность цемента; C/B – цементно-водное отношение; K_0 и A – эмпирические коэффициенты, зависящие от заполнителей и технических факторов.

В [8] предложено определять прочность легкого бетона в зависимости от расхода цемента C и его активнос-



ти R_u следующим образом:

$$f_{c,cube}^G = K_0 \cdot R_u \cdot (C - A), \quad (2)$$

где $f_{c,cube}^G$ – прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут; R_u – активность цемента; C – расход цемента; K_0 и A – эмпирические коэффициенты, зависящие от заполнителей и технических факторов.

В формуле для определения прочности легкого бетона в [1] учитывается еще и качество цемента вводом в формулу коэффициента нормальной густоты:

$$R = \frac{R_u \cdot \sqrt{1 - \eta}}{\frac{1 + 1,65k'_{н.г.} \cdot (B/C)'_{\sigma} - 1,65k'_{н.г.}}{k'_{н.г.}}}, \quad (3)$$

где η – уровень напряжений, $\eta = \frac{\beta \cdot Q_{II}}{C}$;

$k'_{н.г.}$ – коэффициент нормальной густоты; β – доля содержания пылевидных фракций в песке; B/C – водоцементное отношение (берется с учетом поглощенной заполнителем воды).

Существуют зависимости, учитывающие еще и объемы, прочности заполнителя и раствора в бетоне, а также их деформативные свойства, – это формула, предложенная в [10]:

$$R_{\sigma} = R_p \left(v_p + v_3 \cdot \frac{E_3}{E_p} \right), \quad (4)$$

где v_p и v_3 – доли раствора и заполнителя по объему; E_3 и E_p – модули упругости заполнителя и раствора.

В [4] в зависимости от схемы разрушения предлагается следующее:

$$R = E_p \cdot \varepsilon_c \text{ или } R = E_p \cdot \varepsilon_3, \quad (5)$$

где ε_c и ε_3 – предельные сжимаемости скелета и заполнителя; E_p – модуль упругости раствора.

М. З. Симоновым [9] была предложена зависимость, учитывающая прочность заполнителя:

$$R_{\sigma} = \frac{R_u}{0,45} \cdot \delta^2 \cdot \mu_u + R_3 \cdot (1 - \mu_u), \quad (6)$$

где δ – плотность цементного камня в бетоне, равная отношению абсолютного объема затвердевшего цементного камня в бетоне c_k к сумме абсолютных объемов цемента c , воды b , воздушных пор n в бетоне, $\delta = \frac{c_k}{c + b + n}$; μ_u – показатель отношения площади разрыва по цементному камню ко всей площади разрыва; R_3 – прочность заполнителя.

На основе исследования [12] предложена для керамзитобетона следующая зависимость:

$$R_{\sigma} = \left[(1 - \varphi) \cdot \frac{E_p}{E_3} + \varphi \right] \cdot R_3, \quad (7)$$

где φ – объемная концентрация керамзита в бетоне.

В [5] предлагается формула

$$R_{\sigma} = \frac{R_k}{\alpha_k} \cdot S_k + R_3^{кул} \cdot (1 - S_k), \quad (8)$$

где α_k – коэффициент концентрации напряжений в цементном камне при наличии в нем макропор; R_k – прочность цементного камня.

Некоторые исследователи (Ю. Е. Корнилович, И. Н. Иванов-Дятлов, С. Е. Фрайфельд, М. З. Симонов) предложили определять прочность легкого бетона в функции от прочности раствора и крупного заполнителя:

$$f_{c,cube}^G = S_{раств.} \cdot R_{раств.} + R_3 \cdot (1 - S_{раств.}), \quad (9)$$

где $R_{раств.}$ – фактическая прочность при сжатии растворной части бетона; R_3 – фактическая прочность при сжатии крупного пористого заполнителя в бетоне; $S_{раств.}$ – расчетная относительная



площадь раствора в сечении бетона; $(1 - S_{расств.})$ – расчетная относительная площадь крупного пористого заполнителя.

А. Б. Пирадов [7] исследовал прочность легкого бетона на сжатие в возрасте 28 сут на разных пористых заполнителях. Используя метод теории множественной корреляции, он вывел зависимость прочности легкого бетона от четырех переменных бетонной смеси. Данная зависимость представлена уравнением регрессии

$$f_{c,cube}^G = 10,38 \cdot C/B + 0,0441 \cdot t + 0,215 \cdot R_u + 1,19 \cdot R_3 - 27,95, \quad (10)$$

где C/B – цементно-водное отношение; t – расход цементного теста; R_u – активность цемента; R_3 – прочность крупного заполнителя по испытанию в стандартном цилиндре.

Установить связь для перечисленных параметров с прочностью легких бетонов для всех видов заполнителей прямыми опытами не представляется возможным. Для решения этой задачи была привлечена математическая статистика и, в частности, метод теории множественной корреляции. Такой подход не только обоснован математически и физически, но и оправдан со всех других точек зрения, например, с точки зрения удобства эксперимента, отличающегося в произвольном выборе точек в факторном пространстве без каких-либо последствий для конечного результата.

Ю. И. Мешкаускас [6] вывел формулу для конструкционного керамзитобетона:

$$f_{c,cube}^G = 0,051 \cdot m_2 - 20,67 \cdot B/C + 0,651 \cdot R_3 - 19,32, \quad (11)$$

где m_2 – масса керамзита в 1 м^3 бетона.

Влияние компонентов бетона на его деформативные характеристики

При изучении деформативных характеристик легкого бетона под нагрузкой обычно определяют средние относительные деформации по боковым граням образца на участках, которые охватывают зерна заполнителя и прослойки цементного камня. Одновременное определение относительных деформаций отдельных зерен заполнителя и цементного камня способствовало бы лучшему пониманию зависимости деформативных характеристик бетона от свойств его компонентов.

Подобная методика изучения деформативных характеристик бетона предложена в [3]. Опытные данные показали, что при сжатии бетонных призм на гранитном щебне участки раствора деформируются сильнее над и под щебнем, чем участки, которые расположены по боковым поверхностям щебня. В нагруженном бетонном образце на гранитном щебне гранит воспринимает большие напряжения, чем раствор. Средние же напряжения, которые приходятся на гранит, оказываются выше, а на раствор – ниже средних напряжений в бетонном образце.

В исследованиях, которые посвящены изучению распределения деформаций в компонентах легкого бетона и влияния его на трещинообразование высокопрочного керамзитобетона, делаются следующие выводы [4].

1. Конструктивные керамзитобетоны по своей структуре могут быть подобными тяжелым в том, что прочность заполнителя может превышать прочность растворной части.

2. При разрушении бетона растворная часть и керамзитовый гравий разрушаются фактически одновременно.

3. В зависимости от соотношения свойств керамзита и раствора крупный заполнитель может оказать ослабляющее и армирующее влияние на бетон и, таким образом, играть существенную роль в



трещинообразовании и разрушении.

Деформативные свойства керамзитобетона можно охарактеризовать модулем упругости, коэффициентом упругости, предельной сжимаемостью и растяжимостью. В нормативной литературе за начальный модуль упругости принимается модуль упругопластичности бетона (секущий модуль) при $\sigma = 0,4 \cdot f_{ck}$. Связь между секущим модулем продольных деформаций и уровнем напряжений при кратковременном центральном сжатии призм до разрушения с постоянной скоростью роста напряжений с высокой достоверностью описывается линейной опытно-корреляционной зависимостью

$$E'_{lcl(\sigma)} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{lcl(\sigma)}} = E'_{lcl(\sigma=0)} \cdot \left[1 - \lambda_{lcl(\sigma)} \cdot \eta \right], \quad (12)$$

где η – уровень напряжений; $E'_{lcl(\sigma=0)}$ – мгновенный модуль упругости бетона (секущий модуль деформаций при $\sigma = 0$); $\lambda_{lcl(\sigma)}$ – предельное значение коэффициента пластичности бетона при $\sigma = f_{lck}$.

Взаимосвязь «уровень напряжений – деформация» описывается зависимостью гиперболического вида [11]

$$\varepsilon_{lcl(\sigma)} = \frac{\sigma}{E'_{lcl(\sigma)}} = \frac{\sigma}{E'_{lcl(\sigma)} \cdot \left[1 - \lambda_{lcl(\sigma)} \cdot \frac{\sigma}{f_{lck}} \right]}. \quad (13)$$

Как показали исследования, зависимость «секущие модули деформаций – напряжения или уровень напряжений» имеет место для продольных, поперечных, а также сдвиговых деформаций:

$$E_{lcl(\sigma)} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{lcl(\sigma)}} = E_{lcl(\sigma=0)} \cdot \left[1 - \lambda_{lcl(\sigma)} \cdot \eta \right]; \quad (14)$$

$$\varepsilon_{lcl(\sigma)} = \frac{\sigma}{E_{lcl(\sigma)}} = \frac{\sigma}{E_{lcl(\sigma=0)} \cdot \left[1 - \lambda_{lcl(\sigma)} \cdot \frac{\sigma}{f_{lck}} \right]}; \quad (15)$$

$$G_{l(\sigma)} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{G(\sigma)}} = \frac{\sigma}{2 \cdot \left[\varepsilon_{lcl(\sigma)} + \varepsilon_{lcl(\sigma)} \right]} = G_{l(\sigma=0)} \cdot \left[1 - \lambda_{G(\sigma)} \cdot \frac{\sigma}{f_{lck}} \right]; \quad (16)$$

$$\varepsilon_{G(\sigma)} = \frac{\sigma}{G_{l(\sigma)}} = \frac{\sigma}{G_{l(\sigma=0)} \cdot \left[1 - \lambda_{G(\sigma)} \cdot \eta \right]}, \quad (17)$$

где

$$\lambda_{lcl(\sigma)} = 1 - \frac{E'_{lcl(\sigma)}}{E'_{lcl(\sigma=0)}},$$

$$\lambda_{G(\sigma)} = 1 - \frac{G_{l(\sigma)}}{G_{l(\sigma=0)}}. \quad (18)$$

Касательный модуль продольных деформаций определяется в зависимости от секущего модуля продольных деформаций:

$$E_{lcl(\sigma)} = E'_{lcl(\sigma)} \cdot \nu = \frac{(E'_{lcl(\sigma)})^2}{E'_{lcl(\sigma=0)}}, \quad (19)$$

где ν – коэффициент упругости бето-

на, $\nu = \frac{E'_{lcl(\sigma)}}{E'_{lcl(\sigma=0)}}$.

Исследования опытных образцов

Характеристики используемых материалов: керамзитовый гравий фракций 5...10 мм, насыпной массой 382 кг/м³ с относительной прочностью в цилиндре 2,68 МПа; керамзитовый гравий фракций 10...20 мм, насыпной массой 326 кг/м³ с относительной прочностью в цилиндре 1,86 МПа; песок керамзитовый фракций 0...4 мм, насыпной массой 432 кг/м³ с относитель-



ной прочностью в цилиндре 4,58 МПа; вяжущее – портландцемент марки М500, активность 49,0 МПа. Плотность керамзитобетона в возрасте 28 сут составила 950 кг/м³. Рациональный состав для керамзитобетонных смесей был подобран по «Рекомендациям по подбору, изготовлению и применению конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного керамзитобетонных», подготовленным РУП «Институт БелНИИС».

Проведенные исследования позволили установить зависимость «секущий модуль продольных деформаций – напряжение или уровень напряжений» при кратковременном центральном сжатии керамзитобетонных призм. Она с достаточно высокой достоверностью описывается линейной опытно-корреляционной зависимостью. В ходе дальнейшей обработки результатов опытных данных исследовались поперечные, продольные, а также сдвиговые деформации. При помощи статистических методов линейной корреляции были установлены численные значения параметров линейных корреляционных зависимостей.

Коэффициент корреляции r и средняя ошибка коэффициента корреляции m_r были определены по следующим формулам:

$$r = \frac{\sum_1^n (X_c \cdot Y_c)}{\sum_1^n (X_c^2 \cdot Y_c^2)}; \quad (20)$$

$$m_r = \pm \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}, \quad (21)$$

где $\sum_1^n (X_c \cdot Y_c)$ – отклонение отдельных вариантов V_x, V_y от соответствующих им средних арифметических M_x и M_y ; n – число наблюдений.

При этом корреляционное уравнение имеет вид:

$$Y = M_y + r \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \cdot (X - M_x), \quad (22)$$

где σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения.

Статистическая обработка линейных корреляционных зависимостей по усредненным показателям испытанных образцов показала, что достоверность линейности корреляционных зависимостей является достаточно большой (табл. 1).

Предел верхнего микротрещинообразования был определен по полученным опытным данным для образцов керамзитобетонных призм построением зависимости «уровень напряжений – объемная деформация» графическим методом по усредненным полученным результатам испытаний (рис. 1). Графическим методом по полученным экспериментальным данным, взяв вторую производную от коэффициента Пуассона, нашли предел нижнего микротрещинообразования (рис. 2). Коэффициент Пуассона был определен отношением поперечных относительных деформаций к продольным или отношением продольного модуля деформаций к поперечному для каждой ступени нагружения.

Заключение

В результате исследований определены такие показатели, как кубиковая, призмная и цилиндрическая прочности, модули продольных и поперечных деформаций, модуль сдвига, а также верхний и нижний пределы микротрещинообразования керамзитобетона. Для определения прочности легкого бетона проанализированы формулы, предложенные многими авторами, на основании чего можно сделать вывод, что прочность легкого бетона, в том числе и керамзитобетона, зависит не только от активности цемента, водоцементного отношения, прочности



крупного заполнителя, но и от других факторов, таких как условия и длительности твердения, объёма раствора и заполнителя в бетоне, предельные сжима-

емости скелета и заполнителя, качество цемента, деформативные свойства раствора и заполнителя керамзитобетона.

Табл. 1. Характеристика керамзитобетона испытанных образцов и статистика их линейных корреляционных зависимостей для класса LC 8/10

Класс бетона	Возраст, сут	$f_{c,cube}^G$, МПа	f_{ck} , МПа	f_{cr}^v		f_{cr}^0		Зависимость	Корреляционное уравнение	r	r/m_r
				η	МПа	η	МПа				
8/10	7	8,06	6,4	0,701	4,49	0,448	2,87	$E'_{lcl(\sigma)} - \eta$	$1,262 \cdot (1 - 0,594 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,976	64,29
								$E_{lcl(\sigma)} - \eta$	$10,291 \cdot (1 - 0,0936 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,970	52,03
								$G_{l(\sigma)} - \eta$	$0,312 \cdot (1 - 0,08 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,984	196,8
								$E_{lcl(\sigma)} - \eta$	$1,262 \cdot (1 - 0,594 \cdot \eta)^2 \cdot 10^4$	-0,976	64,29
	14	8,64	6,88	0,711	4,89	0,424	2,92	$E'_{lcl(\sigma)} - \eta$	$1,119 \cdot (1 - 0,537 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,964	43,02
								$E_{lcl(\sigma)} - \eta$	$17,773 \cdot (1 - 0,936 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,878	12,09
								$G_{l(\sigma)} - \eta$	$0,538 \cdot (1 - 0,624 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,986	110,8
								$E_{lcl(\sigma)} - \eta$	$1,119 \cdot (1 - 0,537 \cdot \eta)^2 \cdot 10^4$	-0,964	43,02
	28	10,3	8,36	0,769	6,43	0,48	4,33	$E'_{lcl(\sigma)} - \eta$	$2,162 \cdot (1 - 0,784 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,980	78,03
								$E_{lcl(\sigma)} - \eta$	$14,676 \cdot (1 - 0,120 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,977	68,67
								$G_{l(\sigma)} - \eta$	$0,951 \cdot (1 - 0,841 \cdot \eta) \cdot 10^4$	-0,984	97,12
								$E_{lcl(\sigma)} - \eta$	$2,162 \cdot (1 - 0,784 \cdot \eta)^2 \cdot 10^4$	-0,980	78,03

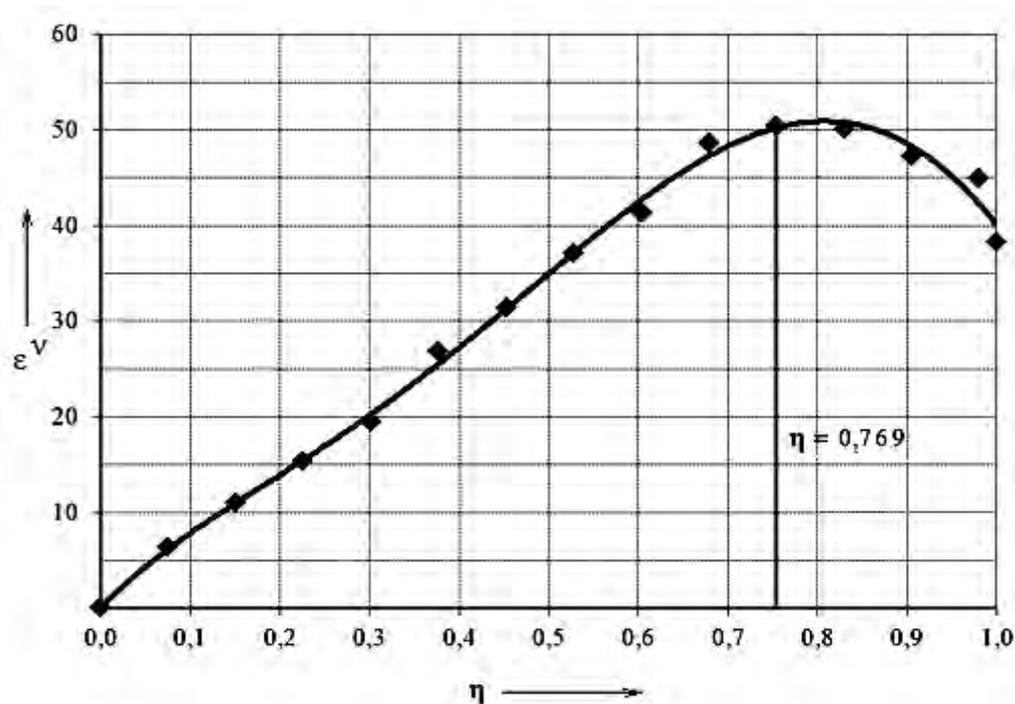


Рис. 1. Корреляционная зависимость «уровень нагружения – объёмные деформации» для образцов из керамзитобетона класса LC 8/10 в возрасте 28 сут



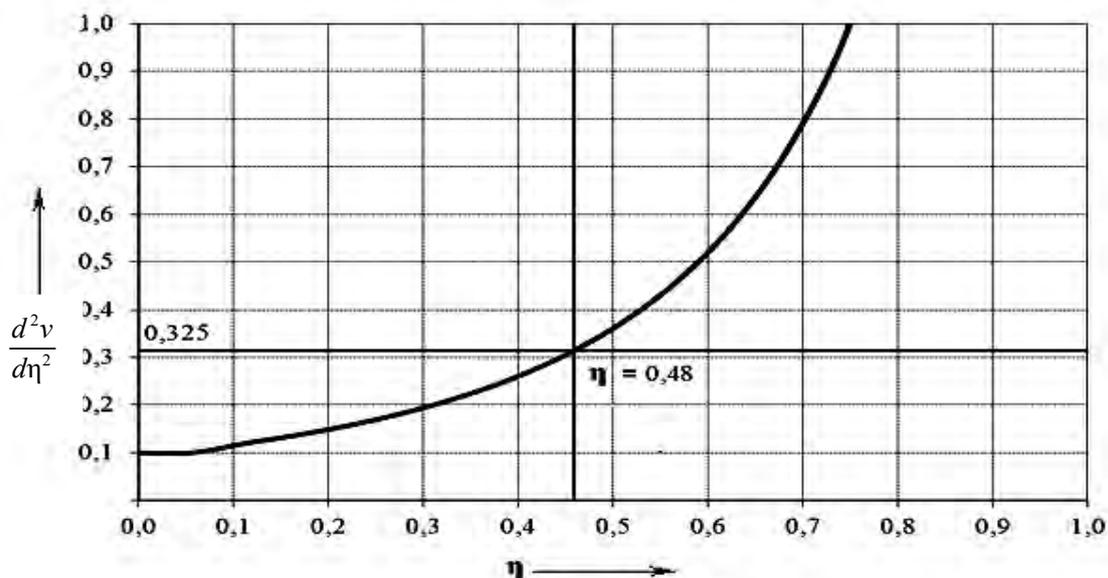


Рис. 2. Корреляционная зависимость (вторая производная) для образцов из керамзитобетона класса LC 8/10 в возрасте 28 сут

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ахвердов, И. Н.** Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – Москва : Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. **Ваганов, А. И.** Исследование свойств керамзитобетона / А. И. Ваганов. – Москва : Госстройиздат, 1960. – 65 с.
3. **Дмитриев, А. С.** Деформации и напряжение крупного заполнителя в нагруженном бетоне и методика их исследований / А. С. Дмитриев // Методы испытания пористых заполнителей легкобетонных смесей и легких бетонов на пористых заполнителях : сб. тр. – Москва : Стройиздат, 1967. – С. 61–68.
4. **Житкевич, Р. К.** Структура, прочность и деформация легкого бетона / Р. К. Житкевич, Г. А. Бужевич. – Москва : Стройиздат, 1973. – 263 с.
5. **Корнилович, Ю. Е.** О формуле прочности легких бетонов / Ю. Е. Корнилович, Ю. Д. Нацневский // Технология легких бетонов на пористых заполнителях и их применение в строительстве. – Москва : Стройиздат, 1966. – С. 90–98.
6. **Мешкаускас, Ю. И.** Конструктивный керамзитобетон / Ю. И. Мешкаускас. – Москва : Стройиздат, 1977. – 87 с.
7. **Пирадов, А. Б.** Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона / А. Б. Пирадов. – Москва : Стройиздат, 1973. – 133 с.
8. **Попов, Н. А.** Новые виды легких бетонов / Н. А. Попов. – Москва : Госстройиздат, 1959. – 83 с.
9. **Симонов, М. З.** Основы технологии легких бетонов / М. З. Симонов. – Москва : Стройиздат, 1973. – 58 с.
10. **Скромтаев, Б. Г.** Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси / Б. Г. Скромтаев. – Москва : Госстройиздат, 1936. – 222 с.
11. **ТКП EN 1992-1-1-2009***. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Ч. 1-1 : Общие правила и правила для зданий. – Введ. 01.01.10. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2015. – 206 с.
12. **Фрайфельд, С. Е.** Собственные напряжения в железобетоне / С. Е. Фрайфельд. – Москва : Госстройиздат, 1941. – 152 с.

Статья сдана в редакцию 15 сентября 2018 года

Славик Денисович Семенюк, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-297-43-38-72.

Валерия Андреевна Ржевущая, аспирант, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-445-49-11-81.

Slavik Denisovich Semeniuk, DSc (Engineering), Belarusian-Russian University. Phone: +375-297-43-38-72.

Valeria Andreyevna Rzhevutskaya, Master of Engineering, Belarusian-Russian University. Phone: +375-445-49-11-81.

Строительство. Архитектура

