

Г.Н. РЯЗАНОВА  
И.О. КОРОТЫЧ  
А.Ю. ПРОКОПЬЕВА

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КРУПНОПОРИСТОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА В НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКЕ

MATHEMATICAL AND TECHNOLOGICAL MODELING FOR SOLVING OF PROBLEMS  
OF THE TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF ENVELOPES FROM NO-FINE EXPANDED-CLAY CONCRETE  
IN A PERMANENT FORM

Изложены вопросы, возникающие при возведении ограждающих конструкций из крупнопористого керамзитобетона в несъемной опалубке из цементно-стружечных плит и обусловленные сложностью технологических задач, связанных с процессами перемешивания и укладки легкого бетона смеси в опалубку, решаемых методами математического моделирования. Рассмотрены основные технологические задачи при возведении конструкций из крупнопористого керамзитобетона. Оценены теоретически и численно удельные объемы заполнителя и цементного клея, а вместе с ними – их массы. Изучены управляющие параметры и функции для вычисления глубины насыщения зерна заполнителя и выведены зависимости относительной глубины пропитки  $dR/R$  от эффективной пористости различных структур. Сделаны выводы о дальнейшей реализации принятых моделей и их исследовании.

**Ключевые слова:** несъемная опалубка, крупнопористый керамзитобетон, математическая модель, технология возведения, ограждающие конструкции.

Одной из важнейших задач возведения качественных и надежных ограждающих конструкций является обеспечение их теплоэффективных свойств, определяемых структурой сырья, теплотехническими показателями и малозатратной технологией изготовления [1–6].

В данной статье рассматривается возможность применения крупнопористого керамзитобетона (КПКБ) в качестве материала для ограждающих (ненесущих) конструкций [7–9], а именно стен, укладываемого в несъемную опалубку (НО) из цементно-стружечных плит (ЦСП) с размерами блока опалубки: высота  $h_0 = 0,8$  м, ширина  $b_0 = 0,8$  м, толщина  $c_0 = 0,37$  м [10–15].

Крупнопористый легкий бетон – это бетон с открытыми порами, образующимися из межзерновых пустот крупного заполнителя, не заполненных

The article views the problems of construction of envelope structures from no-fine expanded-clay concrete in a permanent form made from cement-bonded boards and due to the complexity of the technological problems associated with the processes of mixing and laying of light concrete mixture into the form that are solved by methods of mathematical modeling. The main technological challenges in the construction of structures made of no-fine expanded-clay concrete are considered. Specific volumes of aggregates and cement glue and their mass are theoretically and numerically determined. Control parameters and functions are studied to calculate the saturation depth of the aggregate grains. The links of relative depth impregnation  $dR / R$  of effective porosity of different structures are derived. The conclusions about further implementation of the models and their research are made.

**Key words:** permanent form, no-fine expanded clay concrete, mathematical model, construction technology, envelopes.

вяжущим: вяжущее вещество сравнительно тонким слоем обволакивает зерна заполнителя и склеивает их между собой. Песок в таких бетонах отсутствует, а межзерновые поры довольно большие. Структура крупнопористого керамзитобетона определяет его свойства: небольшую среднюю плотность и малую теплопроводность, благодаря чему его можно применять как теплоэффективный материал [16–21].

По технологии монолитного строительства керамзитобетон обрабатывается в обычных бетоносмесителях с избытком цементного раствора, после чего остаток переходит в следующую порцию замеса раствора по ГОСТ 9758-86.

Таким образом, основные технологические задачи при возведении конструкций из крупнопористого керамзитобетона следующие:

- обеспечение структурообразования скелета керамзитобетона с оптимальной толщиной пропитки зерен керамзита цементным клеем;

- сокращение материальных и трудовых затрат при возведении ограждающих конструкций;

- сокращение времени перемешивания легкобетонной смеси для обеспечения эффективного использования «вторичного» раствора;

- оптимизация процесса укладки крупнопористого керамзитобетона в несъемную опалубку.

Эти задачи могут быть решены с помощью математического моделирования процессов перемешивания и укладки крупнопористого керамзитобетона в несъемную опалубку из цементно-стружечных плит.

Необходимо организовать процесс приготовления крупнопористого керамзитобетона и его укладки в несъемную опалубку так, чтобы при минимальных затратах обеспечивался ряд необходимых свойств, в первую очередь, минимальные: проектная прочность  $R_b$ , расход цементного клея  $M_{цк}$ , теплопроводность и объемная масса. Перечисленные задачи включают в себя ряд физико-механических, физико-химических, гидродинамических и технологических параметров. Обоснованное решение этих задач должно отвечать требованиям существующих нормативных документов и базироваться как на экспериментальных данных, так и на теоретическом описании основных элементов процессов и технологий [22].

Математическую модель укладки рассматриваем при следующих допущениях.

Пористые элементы заполнителя (ПЭ) – зерна в форме шариков радиусом  $R$  со среднестатистическим отклонением от стандартного размера по радиусу  $sR$ , с равнодоступной внешней поверхностью. Удельная эффективная пористость зерна  $E_K = E_K(t)$ , характеризующая долю пор, открытых для диффузии клея внутрь зерна, изменяется в общем случае по времени в процессе затворения и укладки. Цементный клей с постоянным по времени  $t$  составом имеет вид водоцементного массового отношения  $M_w/M_{цк} = B/C$  в продолжении всего процесса [23, 24].

Оценим теоретически и численно удельные объемы заполнителя и цементного клея, а вместе с ними – их массы. Для этого определим удельную

пористость «скелета» заполнителя как

$$E_{СК} = 1 - \frac{V_{ПЭ}}{V_{Общ}}, \text{ где } V_{ПЭ} - \text{объем заполнителя как}$$

сумма объемов всех пористых элементов;

$V_{Общ}$  – общий объем пространства, занимаемого

бетонной массой. В ходе моделирования важно

предварительно оценить наиболее и наименее вероятные положения взаимно соприкасающихся ПЭ

в результате комплексного воздействия на бетонную

смесь процессов перемешивания, вибрации и укладки КПКБ в несъемную опалубку, дать точное

описание возможного положения отдельных зерен

или их ступков – кластеров, невозможного в силу их

большого количества и возможного перемещения

по объему опалубки. Однако из общефизических

соображений следует ожидать, что в замкнутом

пространстве несъемной опалубки пористые элементы,

обработанные и насыщенные цементным клеем,

под действием сил тяжести и внешних вибрационных сил

будут стремиться занять наиболее устойчивую

плотную упаковку (рис. 1 – I) и наименее

устойчивую (рис. 1 – II). На это указывают и

экспериментальные образцы [13].

Получим формулы для соответствующих

структур  $E_{СК}$ . Для этого воспользуемся определением

и геометрическим представлением характеристических

объемов для  $V_{Общ}$  – тетраэдра (рис. 2) и куба (рис. 3)

исходя из простоты их вычисления. Затем предельным

переходом при  $n \rightarrow \infty$ , где  $n$  – количество ПЭ в

общем объеме  $V_{Общ}$ , получим  $E_{СК}$ , которое не должно

зависеть от  $n$  в силу произвольности выбора  $V_{Общ}$  [23].

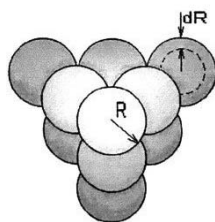
Выполняя необходимые преобразования, в соответствии с

рис. 2 выведем следующие соотношения:

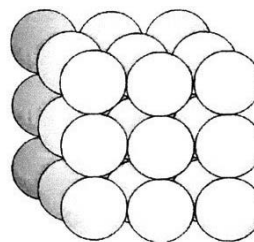
$$x = R\sqrt{3};$$

$$a = 2(n-1) \cdot R + 2R \cdot \sqrt{3} = 2R \cdot [(n-1) + \sqrt{3}];$$

$$h = a \cdot \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2R [(n-1) + \sqrt{3}] = \sqrt{3}R \cdot [(n-1) + \sqrt{3}].$$



I



II

Рис. 1. Фрагменты структур «скелета» заполнителя КПКБ: I – тетраэдальная; II – кубическая

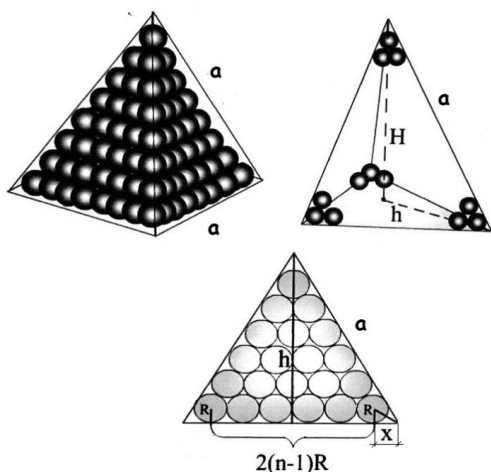


Рис. 2. Схематическое изображение структурного тетраэдра, его сечения и проекции основания; здесь  $a$  – размер грани пирамиды;  $H$  – высота пирамиды;  $h$  – высота проекции основания;  $x$  – расстояние от центра граничного ПЭ до границы проекции основания пирамиды;  $R$  – радиус ПЭ,  $n$  – количество ПЭ

Площадь основания  $S_{\Delta}$  составляет:

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot \sin 60^{\circ} = \frac{4R}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2R \cdot [(n-1) + \sqrt{3}]^2 = \sqrt{3} \cdot R^2 [(n-1) + \sqrt{3}]^2$$

Высота пирамиды  $H$ :

$$H = \sqrt{a^2 - \left(\frac{2}{3}h\right)^2} = \sqrt{4R^2 [(n-1) + \sqrt{3}]^2 - \left(\frac{4}{9} \cdot 3R^2 \cdot [(n-1) + \sqrt{3}]^2\right)} = 2R \cdot [(n-1) + \sqrt{3}] \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}$$

Отсюда

$$V'_{\text{Общ}}(R, n) = \frac{1}{3} \cdot S_{\Delta} \cdot H = \frac{1}{3} \sqrt{3} \cdot R^2 \cdot [(n-1) + \sqrt{3}]^2 \times 2R \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot [(n-1) + \sqrt{3}] = \frac{2\sqrt{2}}{3} \cdot R^3 [(n-1) + \sqrt{3}]^3$$

Для объема скелета, состоящего из  $S_n$  – ПЭ в пирамиде:

$$\begin{aligned} S_n &= \frac{n(n+1)}{2} + \frac{n(n-1)}{2} + \dots + \frac{2-1}{2} = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n k(k-1) = \frac{1}{2} \cdot \left( \sum_{k=1}^n k^2 + \sum_{k=1}^n k \right) = \\ &= \frac{1}{2} \left[ \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} + \frac{n(n+1)}{2} \right] = \\ &= \frac{1}{12} \cdot n(n+1) \cdot [2n+1+3] = \\ &= \frac{1}{12} \cdot n(n+1) \cdot 2(n+2) = \frac{1}{6} \cdot n(n+1) \cdot (n+2); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V'_{\text{ПЭ}}(R, n) &= \frac{1}{6} n(n+1)(n+2) \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 = \\ &= \frac{2}{9} \pi R^3 \cdot n(n+1)(n+2). \end{aligned}$$

Для структуры I:

$$E'_{\text{СК}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{V'_{\text{Общ}}(R, n) - V'_{\text{ПЭ}}(R, n)}{V'_{\text{Общ}}(R, n)} = 1 - \frac{\pi}{3\sqrt{2}},$$

где  $E'_{\text{СК}}$  – удельная пористость «скелета» заполнителя для структуры I;  $V'_{\text{Общ}}(R, n)$  – общий объем тетраэдра;  $V'_{\text{ПЭ}}(R, n)$  – общий объем ПЭ для структуры I.

Для структуры II из рис. 3:

$$\begin{aligned} V''_{\text{ПЭ}}(R, n) &= \frac{4\pi \cdot R^3}{3} \cdot n^3; \\ 8R^3 \cdot (n-1)^3 &\leq V''_{\text{Общ}}(R, n) \leq 8R^3 \cdot n^3, \end{aligned}$$

поэтому

$$E''_{\text{СК}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{V''_{\text{Общ}}(R, n) - V''_{\text{ПЭ}}(R, n)}{V''_{\text{Общ}}(R, n)} = 1 - \frac{\pi}{6},$$

где  $E''_{\text{СК}}$  – удельная пористость «скелета» заполнителя для структуры II;  $V''_{\text{Общ}}(R, n)$  – общий объем куба;  $V''_{\text{ПЭ}}(R, n)$  – общий объем ПЭ для структуры II.

Итак,

$$E'_{\text{СК}} = 1 - \frac{\pi}{3\sqrt{2}}, \tag{1}$$

$$E''_{\text{СК}} = 1 - \frac{\pi}{6}. \tag{2}$$

Для пористостей других промежуточных структур  $E'_{\text{СК}} \leq E_{\text{СК}} \leq E''_{\text{СК}}$ , что дает возможность предварительно оценивать расход цементного клея для объема НО  $V_{\text{оп}}$ , как в случае, если клей полностью заполняет поры между пористыми элементами.

$$\begin{aligned} V_{\text{цк}} &= V_{\text{оп}} - V_{\text{ПЭ}} + dV_{\text{ПЭ}} = V_{\text{оп}} \cdot \left(1 - \frac{V_{\text{ПЭ}}}{V_{\text{оп}}} + \frac{dV_{\text{ПЭ}}}{V_{\text{оп}}}\right) = \\ &= V_{\text{оп}} \cdot (E_{\text{СК}} - E_{\text{К}} dE_{\text{СК}}), \end{aligned} \tag{3}$$

где  $V_{\text{цк}}$  – объем цементного клея;  $V_{\text{оп}}$  – объем опалубки;  $V_{\text{ПЭ}}$  – объем ПЭ;  $E_{\text{СК}}$  – удельная пористость «скелета» заполнителя;  $E_{\text{К}}$  – удельная эффективная пористость зерна ПЭ.

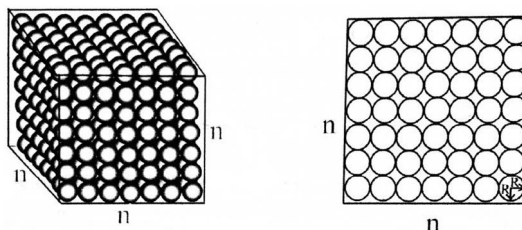


Рис. 3. Схематическое изображение структурного куба и проекции основания, здесь  $n$  – размер грани куба

В случае обволакивания скелета ПЭ на глубину  $dR$ :

$$V_{цк}^{CK} = V_{оп} \cdot E_k dE_{CK},$$

где  $V_{цк}^{CK}$  – объем цементного клея, необходимого для обволакивания «скелета» ПЭ.

Далее получим выражения приращения удельных объемов структур, которые характеризуют слой пропитки клеем  $v_{цк}^i = E_k^i dE_{CK}^i$ ,  $i=I,II$  в процессе насыщения для модельного представления слоя пропитки  $dR$ .

Учитывая то, что для больших  $n$ , т.е. когда размеры опалубки значительно больше размеров ПЭ (для реальных значений  $R=0,02 \div 0,04$  м,  $V_{ПЭ} = 3,4 \cdot 10^{-5} \div 2,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup> и  $V_{оп} = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,37 = 0,237$  м<sup>3</sup>), в линейном приближении получаем

$$dE_{CK} = \frac{\left[ \frac{dV_{ПЭ}(R,n)}{dR} \right]}{V_{общ}(R,n)} \cdot dR.$$

Из приведенных выше выражений следует:

– для структуры I

$$\frac{dV_{ПЭ}(R,n)}{dR} = \frac{2\pi R^2 \cdot n(n+1)(n+2)}{3},$$

поэтому

$$dE_{CK} = \frac{2\pi R^2 \cdot n(n+1)(n+2)}{3} \cdot \frac{1}{\frac{2\sqrt{2}}{3} \cdot R^3 \cdot [(n-1) + \sqrt{3}]^3} = \frac{\pi dR}{R\sqrt{2}},$$

$$v_{цк}^I = E_k dE_{CK} = E_k \frac{\pi dR}{R\sqrt{2}},$$

$$V_{цк}^I = V_{оп} \left( 1 - \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \left( \frac{1}{3} - E_k \frac{dR}{R} \right) \right), \quad (4)$$

где  $V_{цк}^I$  – объем пропитки ПЭ цементным клеем для структуры I;  $V_{оп}$  – объем опалубки;  $E_k$  – удельная эффективная пористость зерна ПЭ;  $R$  – радиус ПЭ;  $dR$  – глубина пропитки ПЭ цементным клеем (толщина диффузного слоя цементного клея);

– для структуры II

$$\frac{dV_{ПЭ}(R,n)}{dR} = 4\pi R^2 \cdot n^3,$$

поэтому

$$dE_{CK} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4\pi R^2 \cdot n^3}{8R^3 \cdot n^3} = \frac{\pi dR}{2R},$$

$$v_{цк}^{II} = E_k dE_{CK} = E_k \frac{\pi dR}{2R},$$

$$V_{цк}^{II} = V_{оп} \left( 1 - \frac{\pi}{2} \cdot \left( \frac{1}{3} - E_k \frac{dR}{R} \right) \right), \quad (5)$$

где  $V_{цк}^{II}$  – объем пропитки ПЭ цементным клеем для структуры II;  $V_{оп}$  – объем опалубки;  $E_k$  – удельная эффективная пористость зерна ПЭ;  $R$  – радиус ПЭ;  $dR$  – глубина пропитки ПЭ цементным клеем.

Итак,

$$dE_{CK}^I = \frac{\pi dR}{R\sqrt{2}}, \quad (6)$$

где  $dE_{CK}^I$  – приращение удельной пористости «скелета» заполнителя структуры I;  $R$  – радиус ПЭ;  $dR$  – глубина пропитки ПЭ цементным клеем.

$$dE_{CK}^{II} = \frac{\pi dR}{2R}, \quad (7)$$

где  $dE_{CK}^{II}$  – приращение удельной пористости «скелета» заполнителя структуры II;  $R$  – радиус ПЭ;  $dR$  – глубина пропитки ПЭ цементным клеем.

Отсюда легко получить приближенные формулы удельных объемов слоя пропитки и общих объемов расхода клея для инженерных расчетов, зная значения размеров шариков  $R$ , характеристику глубины их пропитки  $dR$ , удельную эффективную пористость керамзита  $E_k$ , среднестатистическое отклонение размера ПЭ –  $sR$  и объем опалубки. Если цементный клей полностью заполняет поры между ПЭ, то его расход для соответствующих структур в линейном приближении можно оценить по формулам (4) и (5), а погрешность за счет отклонения от размера зерен – по известной формуле для погрешности в линейном приближении  $|\Delta f| \approx |f'| \cdot |\Delta x|$ , где  $\Delta x$  – погрешность в  $x$ .

$$V_{цк}^I = V_{оп} \cdot (0,259 + 2,222 \cdot E_k \frac{dR}{R}) \pm \pm 2,222 \cdot V_{оп} \cdot E_k \cdot \frac{sR}{R}, \quad (8)$$

$$V_{цк}^{II} = V_{оп} \cdot (0,476 + 1,571 \cdot E_k \frac{dR}{R}) \pm \pm 1,571 \cdot V_{оп} \cdot E_k \cdot \frac{sR}{R}. \quad (9)$$

Для реальных значений  $R=0,02 \div 0,04$  м,  $V_{ПЭ}=3,4 \cdot 10^{-5} \div 2,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>,  $E_k$ ,  $dR/R$  и  $V_{оп}=0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,37=0,237$  м<sup>3</sup> данные о необходимом объеме клея с учетом [15] приведены в табл. 1, 2.

$$V_{цк}^I = V_{оп} \cdot E_k \cdot \frac{\pi dR}{R\sqrt{2}};$$

$$V_{цк}^{II} = V_{оп} \cdot E_k \cdot \frac{\pi dR}{2R}.$$

Таблица 1

Зависимость относительной глубины пропитки  $dR/R$  от эффективной пористости структуры I

$dR/R$	$E_k^I$		
	0,4	0,61	0,8
0,01	0,0021	0,0032	0,0042
0,05	0,011	0,016	0,021
0,1	0,021	0,032	0,042

Таблица 2

Зависимость относительной глубины пропитки  $dR/R$  от эффективной пористости структуры II

$dR/R$	$E_k^{II}$		
	0,4	0,61	0,8
0,01	0,0015	0,0023	0,003
0,05	0,0075	0,011	0,015
0,1	0,015	0,023	0,03

В действительности образовавшуюся структуру бетона можно определить только после сравнения с результатами эксперимента, описав это в обычном виде:  $V_{\text{общ}} = V^1 + V^2 + \dots + V^n$ , где  $V^1, \dots, V^n$  – объемы, соответствующие возможным структурам или  $V^i = V_{\text{общ}} \cdot a_i$ , где  $a_1 + a_2 + \dots + a_n = 1$ ,  $a_i$  – доли этих структур, полученные в результате эксперимента (например, по шлифам образцов). Более детальное рассмотрение структур выходит за рамки данной работы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Витчиков Ю.С.* Современные ограждающие конструкции из керамзитобетона для энергоэффективных зданий // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 34–36.
2. *Береговой А.М., Дерина М.А.* Наружные ограждающие конструкции в системе воздухообмена жилого многоэтажного здания // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1. С. 24.
3. *Курьянов В.Н.* Физика среды и ограждающих конструкций: учебник для бакалавров. М.: АСВ, 2015. 320 с.
4. *Баженов Ю.М.* Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности. М.: Изд-во АСВ, 2008. 320 с.
5. *Витчиков Ю.С., Горин В.М., Горин М.В., Беляков И.Г.* Исследование теплозащитных характеристик стеновых керамзитобетонных камней производства ООО ПСК «Атлант» // *Строительные материалы*. 2013. №11. С. 7–9.
6. *Витчиков Ю.С., Сапарёв М.Е.* Повышение теплозащитных характеристик строительных ограждающих конструкций зданий и сооружений культурного и исторического наследия // *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. №3. С. 52–55.
7. *Витчиков Ю.С., Белякова Е.А., Беляков И.Г.* Анализ температурных полей в строительных узлах при замыкания наружных стен из крупнопористого керамзитобетона к несущим железобетонным конструкциям // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й юбилейной Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / под ред.*

М.И. Бальзанникова, Н.Г. Чумаченко; СГАСУ. Самара, 2013. С. 301–304.

8. *Витчиков Ю.С., Чулков А.А.* Повышение эффективности теплоизоляции трубопроводов в системах теплоснабжения // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й юбилейной Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / под ред. М.И. Бальзанникова, Н.Г. Чумаченко; СГАСУ. Самара, 2013. С.296–297.*

9. *Витчиков Ю.С., Беляков И.Г.* Исследование теплопроводности кладок из керамзитобетонных камней // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й юбилейной Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / под ред. М.И. Бальзанникова, Н.Г. Чумаченко; СГАСУ. Самара, 2013. С.297–298.*

10. *Сидоренко Ю.В., Никонова И.О., Нетишина К.А.* Региональные материалы как основа современного строительства // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 1. С. 51–52.

11. *Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К.* Стеновые керамзитобетонные конструкции – перспективный материал для индустриального домостроения // *Жилищное строительство*. 2011. № 3 С. 55–59.

12. *Комиссаренко Б.С., Абдрахимов В.З., Ковков И.В., Колпаков А.В.* Исследование прочностных и деформативных характеристик керамзитовых гранул в бетоне // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2013. № 4. С. 21–26.

13. *Протьюко Н.С.* Подбор составов керамзитобетона плотной структуры, в том числе изготовленного из высокоподвижных бетонных смесей // *Технологии бетонов*. 2014. № 12. С. 23–29.

14. *Недосеко И.В., Бабков В.В., Алиев Р.Р., Кузьмин В.В.* Применение конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона в малоэтажном строительстве // *Жилищное строительство*. 2008. № 3. С. 26–27.

15. *Попов В.П.* Пористые заполнители из отходов промышленности: монография / СГАСУ. Самара, 2005. 150 с.

16. *Витчиков Ю.С., Бакрунов Г.А.* Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов / СГАСУ. Самара, 2006.

17. *Горин В.М., Токарева С.А., Витчиков Ю.С.* Современные ограждающие конструкции из керамзи-

тобетона для энергоэффективных зданий // Строительные материалы. 2011. №3. С. 34–36.

18. Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К., Кривопапов А.М., Вытчиков Ю.С. Перспективы применения керамзитобетона на современном этапе жилищного строительства // Строительные материалы. 2004. №12. С. 22–23.

19. Корчагина О.А., Однолько В.Г. Материаловедение. Бетоны и строительные растворы: учебное пособие. Тамбов: ТГТУ, 2004. 80 с.

20. Ляпидевская О.Б., Безуглова Е.А. Бетонные смеси. Технические требования. Методы испытаний. Сравнительный анализ российских и европейских строительных норм: монография. М.: МГСУ (национальный исследовательский университет), 2013. 59 с.

21. Кальгин А.А., Чулков В.О., Фахратов М.А. Производство бетонов, бетонных и железобетонных изделий, их ремонт и восстановление: монография. М.: СвР-Аргус, 2009. 328 с.

22. Давиденко А.Ю. Анализ зависимости основных физико-механических характеристик бетона от пористости // Строительный вестник Российской Инженерной академии: Труды секции «Строительство». М., 2007. Вып. 8. С. 67–68.

Об авторах:

**РЯЗАНОВА Галина Николаевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет  
Архитектурно-строительный институт  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: ryazanovagn55@mail.ru

**КОРОТЫЧ Ирина Олеговна**

магистрант факультета промышленного и гражданского строительства Самарский государственный технический университет  
Архитектурно-строительный институт  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: ir.nikonova2011@yandex.ru

**ПРОКОПЬЕВА Анастасия Юрьевна**

магистрант факультета промышленного и гражданского строительства Самарский государственный технический университет  
Архитектурно-строительный институт  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: lady.schinckareowa2010@yandex.ru

23. Рязанова Г.Н., Камбур В.Г. Совершенствование технологии возведения ограждающих конструкций в несъемной опалубке: монография. Пенза: ПГУАС, 2010. 168 с.

24. Давиденко А.Ю., Попов В.П. Применение математического аппарата для описания процессов разрушения бетона при различных видах внешнего воздействия // Математические методы и модели в строительстве, архитектуре и дизайне: сборник статей / СГАСУ. Самара, 2015. С. 22–27.

**RYAZANOVA Galina N.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Technology and Organization of Construction Operations Chair Samara State Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: ryazanovagn55@mail.ru

**KOROTYCH Irina O.**

Master's Degree Student of the Industrial and Civil Engineering Faculty Samara State Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: ir.nikonova2011@yandex.ru

**PROKOPYEVA Anastasia Yu.**

Master's Degree Student of the Industrial and Civil Engineering Faculty Samara State Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: lady.schinckareowa2010@yandex.ru

Для цитирования: Рязанова Г.Н., Коротыч И.О., Прокопьева А.Ю. Математическое и технологическое моделирование в решении задач технологии возведения ограждающих конструкций из крупнопористого керамзитобетона в несъемной опалубке // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 1. С. 30-35. DOI: 1017673/Vestnik.2017.01.5.

For citation: Ryazanova G.N., Korotych I.O., Prokopyeva A.Yu. Mathematical and technological modeling for solving of problems of the technology of construction of envelopes from no-fine expanded-clay concrete in a permanent form // Urban Construction and Architecture. 2017. V. 7, № 1. Pp. 30-35. DOI: 1017673/Vestnik.2017.01.5.