

Для цитирования: Богатина А.Ю., Моргун В.Н., Моргун Л.В. О способе управления структурно-механическими свойствами пенобетонных смесей. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45 (2):183-190 DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-183-190
For citation: Bogatina A.Yu. , Morgun V.N., Morgun L.V. Method for managing the structural-mechanical properties of foam concrete mixtures. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (2): 183-190. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-183-190

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.3

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-183-190

О СПОСОБЕ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Богатина А.Ю.³, Моргун В.Н.², Моргун Л.В.¹

¹⁻³Донской государственный технический университет,

¹⁻³344000, пл. Гагарина, 1, Ростов- на- Дону, Россия,

¹e-mail: konst-lvm@yandex.ru, ²e-mail: vnmorgun@sfedu.ru, ³e-mail: ips@rgups.ru

Резюме: *Цель.* В настоящее время возрастает актуальность научно-исследовательских работ, направленных на снижение материалоемкости строительных конструкций. Поскольку пенобетоны доказали свою эффективность в качестве материалов для изготовления стеновых конструкций, то целью настоящей работы явилось развитие научных представлений об особенностях формирования их макроструктуры на этапе фазового перехода «из вязкого в твердое». **Метод.** Оценка пластической прочности осуществлялась по патенту на изобретение № 2316750 («Способ определения пластической прочности пенобетонной смеси», зарегистрированном в государственном реестре изобретений РФ 10.02.2008). В качестве пенообразователей применяли синтетический ПО-ЗНП по ТУ 38-00-058079999-20-93 и аналог клееканифольного «Ареком-4» по ТУ 31-10. Контроль кинетики пластической прочности исследуемых равноплотных смесей осуществляли в пятилитровых сосудах с интервалом 15 минут в течение трех часов. **Результат.** В работе рассмотрены важнейшие особенности массопереноса, управляющие формированием меры дефектности межпоровых перегородок в пенобетонах. Из анализа теоретических и экспериментальных данных следует, что соотношение между расходом воды и ПАВ является важнейшим инструментом управления качеством пенобетонных смесей. Установление оптимального рецептурного соотношения между расходом воды и количеством пенообразователя позволяет максимальному количеству ПАВ находиться на границе раздела фаз "газ-жидкость" и, таким образом, обеспечивать минимальную дефектность структуры межпоровых перегородок в затвердевшем бетоне. **Вывод.** Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволяют считать соотношение между расходом воды и ПАВ важным инструментом управления величиной структурно-механических свойств в пенобетонных смесях.

Ключевые слова: пенобетонная смесь, пластическая прочность, коалесценция

TECHNICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

METHOD FOR MANAGING THE STRUCTURAL-MECHANICAL PROPERTIES
OF FOAM CONCRETE MIXTURES

*Alla Yu. Bogatina*³, *Vladimir N. Morgun*², *Lyubov V. Morgun*¹

¹⁻³ Don State Technical University,

¹⁻³ 1 Gagarina pl., Rostov-on-Don 344000, Russia,

¹ e-mail: konst-lvm@yandex.ru, ² e-mail: vnmorgun@sfnedu.ru, ³ e-mail: ips@rgups.ru

Abstract Objectives At present, the urgency of scientific research aimed at reducing the material consumption of building structures is growing. Since foam concrete proved to be an effective material for wall structures, the aim of the present work was to develop scientific ideas about features of their macrostructural formation at the "viscous to solid" phase transition. **Methods** The evaluation of plastic strength was carried out according to the patent for invention No. 2316750 ("Method for determining the plastic strength of foam concrete mix" registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on February 10, 2008). Synthetic PO-3NP (TU 38-00-058079999-20-93) and "Arecom-4" galipot glue analogue (TU 31-10) were used as foam generation agents. Control over the kinetics of the plastic strength of the test mixtures of equal density was carried out in five-litre vessels at an interval of 15 minutes for three hours. **Results** The paper considers the most important features of mass transfer, which control the formation of defectiveness for interporal partitions in foam concrete. From the analysis of theoretical and experimental data, it follows that the ratio between water and surfactant consumption is an important tool for managing the quality of foam concrete mixes. Defining the optimal relationship between water consumption and the amount of foaming agent allows the maximum amount of surfactants to be located at the gas-liquid interface ensuring minimal defect in the structure of the interporal partitions in the cured concrete. **Conclusion** The theoretical and experimental studies carried out make it possible to consider the relationship between the consumption of water and surfactant as an important tool for controlling the structural and mechanical properties in foam concrete mixes.

Keywords: foam concrete mixture, plastic strength, coalescence

Введение. На государственном уровне одной из важнейших в Российской Федерации является задача обеспечения жильем как можно большего количества граждан. Для чего разрабатываются и создаются условия для развития рынка доступного жилья. Эта задача еще в 2002 году была сформулирована в национальном проекте (ФЦП «Жилище» 2002 – 2010) [1]. В настоящее время действует ФЦП «Жилище» 2015 – 2020 г., объем которой не превышает 1,5 млрд. рублей [2]. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы строительный комплекс РФ располагал такой номенклатурой материалов, которая позволила бы эти средства израсходовать с максимальной эффективностью.

Строительство относится к отраслям максимальной материалоемкости. Поэтому для возведения жилья, соответствующего современным стандартам качества необходимы ресурсо- и энергосберегающие материалы. К числу таких материалов относятся газонаполненные (пено- и газо-) бетоны [3-6].

Анализ номенклатуры и свойств строительных изделий из газонаполненных бетонов, выпускаемых современной стройиндустрией РФ показывает, что в настоящее время, в силу объективных обстоятельств [7-8], строительный комплекс РФ применяет преимущественно мелкоштучные изделия из автоклавного газобетона [9-11]. Практика производства и применения крупноразмерных изделий из таких экологически дружелюбных организму человека материалов, практически утрачена.

Важнейшей причиной отказа от применения автоклавного газосиликата в качестве мате-

риала для изготовления крупноразмерных строительных конструкций является их недостаточная (отношение прочности на сжатие к прочности на растяжение меньше 10%) трещиностойкость [12-13]. А проблема изготовления высококачественных пенобетонов связана не только с низкой трещиностойкостью затвердевших бетонов, но и со сложностью обеспечения их агрегативной и седиментационной устойчивостью в период фазового и перехода «из вязкого в твердое» [14-15]. Дисперсное армирование пенобетонов синтетическими волокнами позволяет существенно повысить (отношение достигает 20...50%) трещиностойкость такого газонаполненного бетона [16-17]. Такое изменение эксплуатационных свойств затвердевших бетонов гарантированно достигается только тогда, когда при формировании их твердой фазы фибропенобетонные вязко пластичные смеси обладают достаточными структурно-механическими свойствами для противостояния седиментационной и агрегативной неустойчивости.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможности обеспечения седиментационной и агрегативной устойчивости фибропенобетонных смесей путем установления зависимости их структурно-механических свойств от рецептурных соотношений между жидкими компонентами сырья. В работе рассматривается только тот период становления структуры пенобетонной смеси, который расположен между её укладкой в форму и концом схватывания цементного вяжущего.

Пенобетонные смеси относятся к концентрированным суспензиям потому, что зерновой состав их твердой фазы включает спектр дисперсных частиц размером от мкм (химически взаимодействующие частицы клинкерных минералов) и обладающих мощным избытком поверхностной энергии, до частиц заполнителя, размеры которого примерно в 100 раз больше, а поверхностная энергия существенно меньше. Такие суспензии способны к формированию фрактальных кластеров в весьма короткие промежутки времени.

Механические свойства вязко пластичных дисперсных систем (пенобетонных смесей) предопределяются соотношением между гравитационными силами, действующими на дисперсные частицы твердой и газообразной фаз, и суммой сил, состоящих из сил капиллярного стяжения жидкой фазы и вандерваальсовых сил сцепления. Важно понимать, что соотношение между ними постоянно изменяется в связи с протеканием таких массообменных процессов как:

- образование кластеров из дисперсных частиц твердой фазы в структуре межпоровых перегородок. В результате, слабо физически связанная влага с поверхности частиц твердой фазы, расположенных в центре кластера, перемещается на его периферию [18] и, таким образом, способствует понижению концентрации поверхностно активных веществ (ПАВ) в объеме жидкой фазы;

- возникновение и рост гидратных новообразований цементного камня, в результате которых часть воды затворения химически связывается и, таким образом, возникают рецептурные условия для повышения концентрации ПАВ в объеме жидкой фазы.

Методы исследования. Известно [19], что ПАВ при формировании пенных пленок полностью не перемещаются на границы раздела «газ-жидкость». Они весьма чувствительны к величине равновесного соотношения между их количествами на границах раздела «газ-жидкость» и в межчастичной жидкости. Поэтому так важно согласовывать с помощью рецептурных соотношений интенсивность протекания перечисленных выше массообменных процессов.

Нами установлено [20], что возможность сохранения дисперсной газовой фазы в структуре пенобетонных смесей (структурная устойчивость) предопределяется такой концентрацией ПАВ, которая, с одной стороны, не достигает величины критической концентрации мицеллообразования (ККМ) в период между укладкой смесей в формы и концом схватывания вяжущего. А с другой стороны, содержит такое количество жидкой фазы, которое прочно удерживается дисперсными частицами (твердыми и газовыми) смеси и не подчиняется силам гравитации.

Сохранение газовой фазы внутри жидких пленок ПАВ возможно до тех пор, пока пленки обладают свойством упругости. Под упругостью пленок понимают их способность увеличивать натяжение при растяжении. Это свойство характеризуется модулем упругости пленки (E), определяемым тождеством [21]:

$$E = A \frac{d\gamma}{dA} \quad (1)$$

где A – площадь пленки; γ – натяжение пленки.

До настоящего времени в технологии пенобетонов нет общепринятой методики, позволяющей количественно оценивать параметры структурной устойчивости смесей. Выполненные нами экспериментальные исследования и их анализ дают основание утверждать, что определение величины вязких сил между компонентами смеси по кинетике их пластической прочности позволит однозначно судить о её мере.

Оценка пластической прочности осуществлялась по патенту на изобретение № 2316750 («Способ определения пластической прочности пенобетонной смеси»), зарегистрированном в государственном реестре изобретений РФ 10.02.2008). В качестве пенообразователей применяли синтетический ПО-3НП по ТУ 38-00-058079999-20-93 и аналог клееканифоля «Ареком-4» по ТУ 31-10. Контроль кинетики пластической прочности исследуемых равноплотных смесей осуществляли в пятилитровых сосудах с интервалом 15 минут в течение трех часов.

Обсуждение результатов. Анализ данных таблицы 1 показывает, что, в общем, кинетика пластической прочности пенобетонных смесей во времени носит экспоненциальный характер. Полагаем, что скачкообразный характер набора пластической прочности связан с перераспределением и периодическим изменением объема межчастичной воды при отвердевании пенобетонной смеси.

Таблица 1. Влияние пенообразователей на кинетику пластической прочности пеносмесей
Table 1. The effect of foaming agents on the kinetics of plastic strength of foam mixtures

Время контроля, мин.	Пластическая прочность (Па) при расходе ПО, % от массы воды затворения								
	ПО 3-НП					Ареком-4			
	0,8	1,2	1,5*	3,0**	4,0***	0,2	0,25	0,3*	0,4**
0	49,6	58,7	56,3	55,5	53,4	36,2	45,6	45,6	49,6
15	52,1	67,8	65,2	58,7	53,4	47,8	70,0	48,9	48,9
30	65,2	72,1	60,9	65,2	56,9	47,8	75,4	60,9	58,5
45	60,9	67,8	72,1	67,8	49,6	50,2	97,4	72,1	75,4
60	67,8	99,1	82,7	75,5	-	55,5	88,2	65,2	64,3
75	75,5	86,7	86,7	72,1	-	52,1	119	86,7	86,7
90	72,1	119	79	72,1	-	65,2	142	76,5	58,5
105	93,6	128	84	79,7	-	75,4	133	92,6	78,9
120	97,8	128	112	85,5	-	76,5	128	106	103
135	119	127	106	93,6	-	80,2	139	106	133
150	110	161	108	101	-	86,7	133	127	99,1
165	127	180,3	154	97,8	-	96,5	156	139	138
180	138	189	148	106	-	128	189	154	133

Примечания:

^ˆ в ходе наблюдений имело место водоотделение, осадка смеси составляла по высоте до 1%;

*после укладки в ёмкости на поверхности пенобетонных смесей наблюдались редкие пенные пузыри ПАВ, диаметром 3...7 мм, осадки смеси не происходило;

** на поверхности смесей имела место коалесценция в виде всплывающих газовых включений диаметром 3...12 мм; после 3-х часов твердения, осадка заформованного материала по высоте составила 1,2...2,0%;

*** - показатели пластической прочности отсутствуют, так как из-за утраты структурной устойчивости, произошла такая осадка смеси, которая несовместима с целесообразностью дальнейшего твердения.

Прочность связи воды с поверхностью частиц твердой фазы выше, чем с плёнками ПАВ на границе раздела фаз «газ-жидкость» [22].

Поэтому уменьшение объема свободной воды, обусловленное её переходом в физически

связанное состояние при диспергации клинкерных минералов, влечет за собой повышение концентрации ПАВ и, как следствие, понижение упругости пенных пленок.

Понижение упругости пленок ПАВ ведёт к уменьшению пластической прочности смеси. Образование кластеров и их рост [22-23], по мере развития упругих кристаллизационных контактов в дисперсной системе, ведёт к общему, однако неравномерному, повышению прочности отвердевающей вязко-пластичной дисперсной системы.

Установлено, что кинетика пластической прочности не линейно зависит от содержания пенообразователей. При некотором, назовём его оптимальным, количестве пенообразователя пенобетонные смеси характеризуются максимальной скоростью роста пластической прочности. В том случае, когда содержание пенообразователя в смеси меньше или больше оптимального количества, скорость набора пластической прочности уменьшается. При этом, небольшой недостаток пенообразователя, по сравнению с оптимальным количеством, не оказывает существенного негативного влияния на структуру пеносмесей, в то время как превышение оптимума, кроме снижения скорости набора пластической прочности и осадки смеси, может привести и к расслоению (табл.).

Опираясь на работы, посвященные закономерностям адсорбции ПАВ [21, 24] и структурообразования бетонов [22] полагаю, что наличие оптимума объясняется влиянием на структурно-механические свойства смесей следующих факторов:

- 1) толщиной пленок жидкой фазы, управляющих плотностью кластеров и прочностью межагрегатных связей между ними;
- 2) энергетическим соответствием между ПАВ в структуре пенных пленок и объёме межчастичной жидкости.

При расходе пенообразователя меньше оптимального, вода не связанная физически молекулами ПАВ в пленках, увеличивает расстояния между частицами твердой фазы в пенобетонных смесях, способствует образованию кластеров пониженной плотности и, таким образом, понижает скорость набора прочности.

Если расход пенообразователя выше оптимального, то в жидкой фазе пенобетонной смеси появляется избыточное количество ПАВ, которому не хватило воды для перехода на поверхность раздела фаз «газ-жидкость».

Избыток ПАВ обуславливает не только дополнительную раздвижку частиц твердой фазы, но и дополнительное понижение вязкости дисперсионной среды, создает энергетические условия для проявления коалесценции при достижении в межчастичной жидкости ККМ. Поэтому кроме замедления набора прочности такие пенобетонные смеси могут характеризоваться осадкой или даже разрушением структуры.

Вывод. Обобщая изложенное можно заключить, что выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволяют считать соотношение между расходом воды и ПАВ важным инструментом управления величиной структурно-механических свойств в пенобетонных смесях. Установление оптимального рецептурного соотношения между расходом воды и количеством пенообразователя позволяет максимальному количеству ПАВ находиться на границе раздела фаз «газ-жидкость» и, таким образом, физически прочно связывать то количество воды затворения, которое химически не связано с клинкерными минералами.

Недостаток пенообразователя в рецептуре смесей обеспечивает избыточную раздвижку частиц твердой фазы водой затворения, физически не связанной пленками ПАВ. Поэтому структурно-механические свойства пенобетонных смесей ухудшаются, что ведет к снижению скорости набора механической прочности, водоотделению и осадке.

Избыток пенообразователя, не смотря на высокое начальное воздухововлечение, способствует образованию мицелл ПАВ в жидкой фазе и проявлению коалесценции.

Избыток ПАВ, так же как и недостаток снижает скорость фазового перехода пенобетонной смеси «из вязкого в твердое», а, значит, способствует частичной или даже полной утрате дисперсной газовой фазы в процессе отвердевания пенобетонной смеси. Потеря вовлеченного газа при отвердевании пенобетонной смеси предопределяет высокую меру дефектности затвердевшего пенобетона.

Библиографический список:

1. Официальный сайт Федеральной целевой программы «Жилище» на 2002-2010 гг. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fcpsdom.ru>.
2. Официальный сайт перечня Федеральных целевых программ на 2016 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fcp.economy.gov.ru>.
3. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Основные направления ресурсоэнергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий. Часть 1. Ресурсоэнергосбережение на стадии производства строительных материалов, стеновых изделий и ограждающих конструкций// Строительные материалы, 2013, № 7. – С. 12-18.
4. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Основные направления ресурсоэнергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий. Часть 1 (продолжение). Ресурсоэнергосбережение на стадии производства строительных материалов, стеновых изделий и ограждающих конструкций// Строительные материалы, 2013, № 8. – С. 65-72.
5. Вишневский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Производство газобетона в России//Строительные материалы, 2015, №6. – С.52-54.
6. Король О.А. Исследования и наукоемкие разработки в области энергоэффективного строительного производства//Строительные материалы, 2015, №6. – С.13 – 15.
7. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
8. Федеральный закон № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении ...»
9. Бердов Г.И., Елесин М.А., Умнова Е.В. Ячеистый шлакопортландцементный бетон на известково-серном затворителе//Строительные материалы, 2015, №5. – С.74, 75.
10. Карпушенков С.А., Савенко В.П. Компенсация усадки пенобетона//Строительные материалы, 2015, №3. – С.3 – 5.
11. Моргун В.Н., Моргун Л.В., Черенкова И.А. К вопросу об эффективности теплоизоляции фасадов гражданских зданий//Жилищное строительство, 2015, №4. С. 21-24.
12. Сажнев Н.П., Сажнев Н.Н. Производство, свойства и применение ячеистого бетона автоклавного твердения//Строительные материалы, 2004, №3. – С.2-6.
13. Меркин А.П., Таубе П.Р. Непрочное чудо. М: Химия, 1983. – 224 с.
14. Шахова Л.Д. Некоторые аспекты исследований структурообразования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения//Строительные материалы: Наука. 2003, №2. – С.4-7.
15. Моргун Л.В., Моргун В.Н., Смирнова П.В., Костыленко К.И., Пушенко О.В. Воздухововлечение в пеносмеси, как функция растворимости ПАВ в воде//Научный вестник ВГАСУ. Воронеж, ВГАСУ, 2012, №5. – С. 82-89.
16. Моргун В.Н. О способах повышения эксплуатационной надежности пенобетонов// Научный Вестник Воронеж ГАСУ. Серия«Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения», Воронеж ГАСУ, 2015, №2(11). – С. 62...64.
17. Моргун Л.В. Приемы управления эксплуатационной надежностью пенобетонов// Технологии бетонов, 2014, №9 (98).- С.37...39.
18. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Бабин Л.О., Соломатов В.И. Синергетика композиционных материалов. – Липецк, НПО "ОРИУС", 1994. – 153 с.
19. Веденов А.А. Физика растворов. М.: Наука, 1984. – 112 с.
20. Моргун Л.В. Структурообразование и свойства фибропенобетонов неавтоклавного твердения: Теория и методология рецептурно-технологического регулирования/Дисс. на соиск.уч.ст. докт. техн. наук, Ростов-на-Дону, РГСУ, 2005. -336 с.
21. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. М., "Химия", 1967.- 388 с.
22. Перцев В.Т. Управление процессами раннего структурообразования бетонов. Дисс. ...д.т.н.- Воронеж, 2001.- 433 с.
23. Перцев В.Т., Шмицько Е.И., Головинский П.А. Роль дисперсности и влажности в процессах структурообразования дисперсно зернистых систем //Изв.ВУЗов. Строительство.1998, №6.- С.45...50.
24. Тихомиров В.К. Пены.-М.: Химия. 1975.- 264 с.

References:

1. Ofitsial'nyi sait Federal'noi tselevoi programmy “Zhilishche” na 2002-2010 gg. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.fcpsdom.ru>. [The official website of the “Housing” Federal Target Program for 2002-

2010. [Electronic resource]. URL: <http://www.fcpdom.ru>. (in Russ.)]
2. Ofitsial'nyi sait perechnya Federal'nykh tselevykh programm na 2016 g. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.fcp.economy.gov.ru>. [The official website of the list of Federal Target Programs for 2016 [Electronic resource]. URL: <http://www.fcp.economy.gov.ru>. (in Russ.)]
 3. Karpenko N.I., Yarmakovskii V.N. Osnovnye napravleniya resursoenergoberezheniya pri stroitel'stve i ekspluatatsii zdanii. Chast' 1. Resursoenergoberezhenie na stadii proizvodstva stroitel'nykh materialov, stenovykh izdelii i ograzhdayushchikh konstruksii. Stroitel'nye materialy. 2013;7:12-18.[Karpenko N.I., Yarmakovskii V.N. The main areas of resource and energy conservation in the construction and operation of buildings. Part 1. Resource and energy saving at the stage of production of building materials, walling products and enclosing structures. Construction materials. 2013;7:12-18. (in Russ.)]
 4. Karpenko N.I., Yarmakovskii V.N. Osnovnye napravleniya resursoenergoberezheniya pri stroitel'stve i ekspluatatsii zdanii. Chast' 1 (prodolzhenie). Resursoenergoberezhenie na stadii proizvodstva stroitel'nykh materialov, stenovykh izdelii i ograzhdayushchikh konstruksii. Stroitel'nye materialy. 2013;8:65-72.[Karpenko N.I., Yarmakovskii V.N. The main areas of resource and energy conservation in the construction and operation of buildings. Part 1 (continued). Resource and energy saving at the stage of production of building materials, walling products and enclosing structures. Construction materials. 2013;8:65-72.(in Russ.)]
 5. Vishnevskii A.A., Grinfel'd G.I., Smirnova A.S. Proizvodstvo gazobetona v Rossii. Stroitel'nye materialy. 2015;6:52-54.[Vishnevskii A.A., Grinfel'd G.I., Smirnova A.S. Production of aerated concrete in Russia. Construction materials. 2015;6:52-54. (in Russ.)]
 6. Korol' O.A. Issledovaniya i naukoemkie razrabotki v oblasti energoeffektivnogo stroitel'nogo proizvodstva. Stroitel'nye materialy. 2015;6:13 – 15.[Korol' O.A. Research and knowledge-intensive developments in the field of energy-efficient construction production. Construction materials. 2015;6:13 – 15. (in Russ.)]
 7. SNiP 23-02-2003 “Teplovaya zashchita zdanii”. [SNiP 23-02-2003 “Thermal protection of buildings”. (in Russ.)]
 8. Federal'nyi zakon № 261-FZ ot 23 noyabrya 2009 g. “Ob energosberezhenii ...” [Federal Law No. 261-FZ from November 23, 2009 “On Energy Saving ...”(in Russ.)]
 9. Berdov G.I., Elesin M.A., Umnova E.V. Yacheisty i shlakoportlandtsementnyi beton na izvestkovom zatvoritele. Stroitel'nye materialy. 2015;5:74-75.[Berdov G.I., Elesin M.A., Umnova E.V. Cellular slag portland cement concrete with a lime-sulfur sealing compound. Construction materials. 2015;5:74-75. (in Russ.)]
 10. Karpushenkov S.A., Savenko V.P. Kompensatsiya usadki penobetona. Stroitel'nye materialy. 2015;3:3–5.[Karpushenkov S.A., Savenko V.P. Compensation of foam concrete shrinkage. Construction materials. 2015;3:3–5.(in Russ.)]
 11. Morgun V.N., Morgun L.V., Cherenkova I.A. K voprosu ob effektivnosti teploizolyatsii fasadov grazhdanskikh zdanii. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2015;4:21-24.[Morgun V.N., Morgun L.V., Cherenkova I.A. To the question of the effectiveness of thermal insulation of the civil building facades. Zhilishchnoe Stroitel'stvo. 2015;4:21-24. (in Russ.)]
 12. Sazhnev N.P., Sazhnev N.N. Proizvodstvo, svoystva i primeneniye yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya. Stroitel'nye materialy. 2004;3:2-6.[Sazhnev N.P., Sazhnev N.N. Production, properties and application of cellular concrete after autoclaved hardening. Construction materials. 2004;3:2-6. (in Russ.)]
 13. Merkin A.P., Taube P.R. Neprochnoe chudo. M: Khimiya; 1983. 224 s.[Merkin A.P., Taube P.R. Fragile miracle. M: Khimiya; 1983. 224 p. (in Russ.)]
 14. Shakhova L.D. Nekotorye aspekty issledovaniya strukturoobrazovaniya yacheistykh betonov neavtoklavnogo tverdeniya. Stroitel'nye materialy: Nauka. 2003;2:4-7.[Shakhova L.D. Some aspects of studies of the structure formation of cellular concrete after non-autoclaved hardening. Stroitel'nye materialy: Nauka. 2003;2:4-7. (in Russ.)]
 15. Morgun L.V., Morgun V.N., Smirnova P.V., Kostylenko K.I., Pushenko O.V. Vozdukhovovlechenie v penosmesi kak funktsiya rastvorimosti PAV v vode. Nauchnyi vestnik VGASU. 2012;5:82-89.[Morgun L.V., Morgun V.N., Smirnova P.V., Kostylenko K.I., Pushenko O.V. Air entrainment in a foam mixture as a function of the solubility of surfactants in water. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering.2012;5:82-89. (in Russ.)]
 16. Morgun V.N. O sposobakh povysheniya ekspluatatsionnoi nadezhnosti penobetonov. Nauchnyi Vestnik VGASU. Seriya “Fiziko-khimicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeni-

- ya". 2015;2(11):62-64.[Morgun V.N. On the ways to increase the operational reliability of foam concrete. Scientific bulletin of the Voronezh state architectural and construction university. Series: Physical and chemical problems and high technologies of construction materials science. 2015;2(11):62-64. (in Russ.)]
17. Morgun L.V. Priemy upravleniya ekspluatatsionnoi nadezhnost'yu penobetonov. Tekhnologii betonov. 2014;9(98):37-39.[Morgun L.V. Techniques of managing the operational reliability of foam concrete. Concrete Technologies. 2014;9(98):37-39. (in Russ.)]
 18. Bobryshev A.N., Kozomazov V.N., Babin L.O., Solomatov V.I. Sinergetika kompozitsionnykh materialov. Lipetsk: NPO "ORIOUS"; 1994. 153 s.[Bobryshev A.N., Kozomazov V.N., Babin L.O., Solomatov V.I. Synergetics of composite materials. Lipetsk: NPO "ORIOUS"; 1994. 153 p. (in Russ.)]
 19. Vedenov A.A. Fizika rastvorov. M.: Nauka; 1984. 112 s.[Vedenov A.A. The physics of solutions. M.: Nauka; 1984. 112 p. (in Russ.)]
 20. Morgun L.V. Strukturnoobrazovanie i svoystva fibropenobetonov neavtoklavnogog tverdeniya: Teoriya i metodologiya retsepturno-tekhnologicheskogo regulirovaniya. Diss. na soisk.uch.st. dokt. tekhn. nauk. Rostov-na-Donu: RGSU; 2005. 336 s. [Morgun L.V. Structurization and properties of non-autoclaved curing fibroblack concrete: Theory and methodology of prescription and technological regulation. Doctor of technical sciences thesis. Rostov-na-Donu: RGSU; 2005. 336 p. (in Russ.)]
 21. Rusanov A.I. Fazovye ravnovesiya i poverkhnostnye yavleniya. M.: Khimiya; 1967. 388 s.[Rusanov A.I. Phase equilibria and surface phenomena. M.: Khimiya; 1967. 388 p. (in Russ.)]
 22. Pertsev V.T. Upravlenie protsessami rannego strukturnoobrazovaniya betonov. Diss. ...d.t.n. Voronezh; 2001. 433 s.[Pertsev V.T. Management of the processes of early structure formation of concrete. Doctor of technical sciences thesis. Voronezh; 2001. 433 p. (in Russ.)]
 23. Pertsev V.T., Shmit'ko E.I., Golovinskii P.A. Rol' dispersnosti i vlazhnosti v protsessakh strukturnoobrazovaniya dispersno zernistykh sistem. Izv.VUZov. Stroitel'stvo.1998;6:45-50.[Pertsev V.T., Shmit'ko E.I., Golovinskii P.A. The role of dispersity and humidity in the processes of structuring of dispersed granular systems. News of higher educational institutions. Construction. 1998;6:45-50. (in Russ.)]
 24. Tikhomirov V.K. Peny. M.: Khimiya; 1975. 264 s.[Tikhomirov V.K. Foams. M.: Khimiya; 1975. 264 p. (in Russ.)]

Сведения об авторах:

Богатина Алла Юрьевна - кандидат технических наук, доцент, кафедра изыскания, проектирование и строительство железных дорог.

Моргун Владимир Николаевич - кандидат технических наук, доцент, кафедра инженерно-строительных дисциплин.

Моргун Любовь Васильевна - доктор технических наук, профессор, кафедра строительных материалов.

Information about the authors.

Alla Yu. Bogatina – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Survey, Design and Construction of Railways.

Vladimir N. Morgun – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Engineering and Construction Disciplines.

Lyubov V. Morgun – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department Building Materials.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.03.2018.

Принята в печать 10.05.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.03.2018.

Accepted for publication 10.05.2018.