

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/article\_5db331a5c52049.41127542

*\*Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Лесниченко Е.Н., Дребезгова М.Ю.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**Россия. 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46**\*E-mail: shatalova.sv@yandex.ru*

## ЭФФЕКТИВНЫЙ ЯЧЕИСТЫЙ БЕТОН НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ

**Аннотация.** Динамично развивающееся строительство Российской Федерации вызывает необходимость расширения спектра альтернативных видов вяжущих и материалов на их основе. К таким вяжущим относится композиционное гипсовое вяжущее, применяемое для производства материалов различного функционального назначения. Изготовление и применение изделий на основе композиционных гипсовых вяжущих стало возможным благодаря изучению системы «портландцемент – гипс – вода», устойчивость которой обеспечивается вводом надлежащего количества активных минеральных добавок, снижающих концентрацию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в жидкой фазе твердеющей системы и создающей возможность твердения при определенных условиях без опасных внутренних напряжений. В данной статье рассматривается возможность получения эффективного ячеистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем. Ячеистые бетоны по своей структуре, свойствам, способам получения превосходят некоторые традиционные материалы, а по эксплуатационным свойствам являются универсальными. В работе установлена возможность и целесообразность использования в качестве минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего для пенобетона тонкомолотого бетонного лома. Получены теплоизоляционно-конструкционные пенобетоны марок D600 и D700. Выявлено, что рациональной является поэтапная загрузка компонентов бетонной смеси, с первоначальным вводом гипсового вяжущего.

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, композиционное гипсовое вяжущее (КГВ), поризация, микроструктура.

**Введение.** Опыт применения изделий из ячеистых бетонов в строительстве показал, что они могут успешно конкурировать с большинством традиционных стеновых материалов, сочетающих в себе высокие теплоизоляционные и конструктивные свойства, позволяют снижать толщину стены и массу конструкции. Для развития технологии ячеистых бетонов в современных условиях необходимо расширение номенклатуры технологически, экономически и экологически эффективных разновидностей вяжущих нового поколения, обеспечивающих получение высококачественных изделий [1–7].

Перспективными для этих целей являются пенобетоны на основе быстротвердеющих композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) повышенной водостойкости с активными минеральными добавками разного генезиса [8, 9]. По сравнению с другими широко применяемыми в настоящее время вяжущими они находятся в более предпочтительном положении, так как соответствуют всем современным требованиям с позиции развития строительных тенденций. Это можно объяснить повсеместным наличием природного гипсового сырья и гипсосодержащих отходов, простотой и экологичностью их переработки в гипсовые вяжущие (ГВ) и строительные

материалы на их основе с более низкими расходами топлива и энергии (например, в 4 и 5 раз ниже, чем при производстве цемента), простотой оборудования на производстве и др. Гипс не токсичен по своему химическому составу, а, следовательно, при переработке он не выделяет в окружающую среду  $\text{CO}_2$  и другие вредные вещества [10].

В связи с вышеизложенным, целью данной работы является подбор состава, разработка технологии приготовления пенобетонной смеси на основе КГВ, исследование структуры и свойств затвердевшего материала.

**Методология.** В работе для получения пенобетона (ПБ) на основе КГВ использовали следующие материалы: гипсовое вяжущее (ГВ)  $\alpha$ -модификации ГВВС-16 (Г-16) ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ПАО «Мордовцемент» (ПЦ) и тонкодисперсные минеральные добавки (МД) из техногенного сырья:

- бетонный лом (БЛ) разрушенных зданий и сооружений, обладающий заметными вторичными вяжущими свойствами с наличием гидросиликатов кальция  $\text{C}_2\text{SH}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и непрогидратированных клинкерных минералов (в основном белита);

- отсев дробления кварцитопесчаника зеленосланцевой степени метаморфизма Лебединского ГОКа (КВП). Его породообразующим минералом является кварц – среднее содержание 86,24 %, остальные минеральные компоненты

представлены мусковитом, биотитом, альбитом, калиевым полевым шпатом, содержание которых может достигать 10...20 %. Химический состав применяемых минеральных добавок представлен в таблице 1.

Таблица 1

## Химический состав минеральных добавок

Материал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Feоб	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	ClO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	ппп
Кварцитопесчаник	94,32	2,61	0,81	0,46	0,66	–	0,22+0,65	0,16	–	–	0,65
Бетонный лом	52,4	4,9	3,7	34,7	1,2	0,5	0,51+1,5	0,19	0,27	0,087	-

В качестве синтетического пенообразователя для ПБ в соответствии с ТУ 2481-008-80824910-2012 применяли добавку «ПБ-Формула 2012» – синергетическую смесь анионоактивных ПАВ со стабилизирующими и функциональными добавками, представляющую собой однородную жидкость светло-желтого цвета, плотностью в пределах 1000–1150 кг/м<sup>3</sup> (при 20 °С), рН=7,5–11, кратностью пены рабочего раствора с объемной долей продукта 4 % – не менее 8,0, устойчивостью пены в технологической среде (усадкой от первоначального объема) – менее 5 %.

Основные физико-механические показатели сырьевых и синтезированных материалов определялись в соответствии со стандартными методиками. Исследование фазового состава и структурных характеристик осуществлялось с помощью РФА и РЭМ TeskanMIRA 3.

**Основная часть.** Для приготовления КГВ в вибрационной мельнице предварительно производили помол МД до удельной поверхности 500–550 м<sup>2</sup>/кг с последующим смешиванием с ПЦ,

совмещенным с кратковременным домолом, в результате которого происходит деструкция кремнеземистого компонента и образуется нарушенный микрослой с ограниченным количеством аморфной фазы SiO<sub>2</sub>, способствующий связыванию Ca(OH)<sub>2</sub>, выделяющемуся при гидратации алита. Снижается основность твердеющей системы с устранением условий роста высокоосновных гидроалюминатов кальция, этtringита и образованием низкоосновных малорастворимых гидросиликатов кальция, а также происходит уплотнение микроструктуры со значительным повышением прочности и водостойкости материала.

На основе результатов определения активности МД было установлено, что их рациональное количество в составе вяжущего (при отношении МД/ПЦ=1:1) способствует стабильности его свойств и снижению концентрации СаО в водной суспензии вяжущего до требуемых пределов (согласно ТУ 21-31-62-89). Свойства КГВ представлены в таблице 2.

Таблица 2

## Состав и свойства КГВ

№	ГВ	ПЦ	БЛ	КВП	В/Вяз	Расплав, мм	Рсж, Мпа		
							2 часа	7 сут.	28 сут.
1	60	20	20	–	0,42	110	9,1	12,6	15,7
2	60	20	–	20	0,42	120	6,2	11,9	14,8

Установлено, что тонкодисперсный БЛ более эффективен в качестве МД по сравнению с КВП. Наличие в составе БЛ негидратированного портландцемента и тонкодисперсных частиц, выступающих в качестве зародышей и центров кристаллизации в процессе структурообразования, а также играющих роль микровключений в матричном материале, способствует созданию достаточно прочной микроструктуры затвердевшего КГВ.

Подтверждением стабильности сформированной структуры КГВ с минеральной добав-

кой БЛ являются результаты РФА и РЭМ в возрасте 2 час, 7 и 28 суток (рис. 1). В исследованных пробах в качестве продуктов гидратации присутствуют: двуводный сульфат кальция (d=7,64; 4,29; 3,81; 3,071; 2,879; 2,686...Å); частично закристаллизованный тоберморитоподобный гидросиликат кальция (d=3,07; 2,79; 2,4; 2,1; 1,81...Å); следы гексагонального восьмиводного гидроалюмината кальция (d=10,1; 3,49; 2,87; 2,55...Å); кварц (d=3,35; 2,46; 2,22; 2,28; 2,133; 2,089...Å), портландит (d=4,93; 3,18; 2,63; 1,78...Å), следы этtringита (d=5,61; 3,88; 2,57...Å).

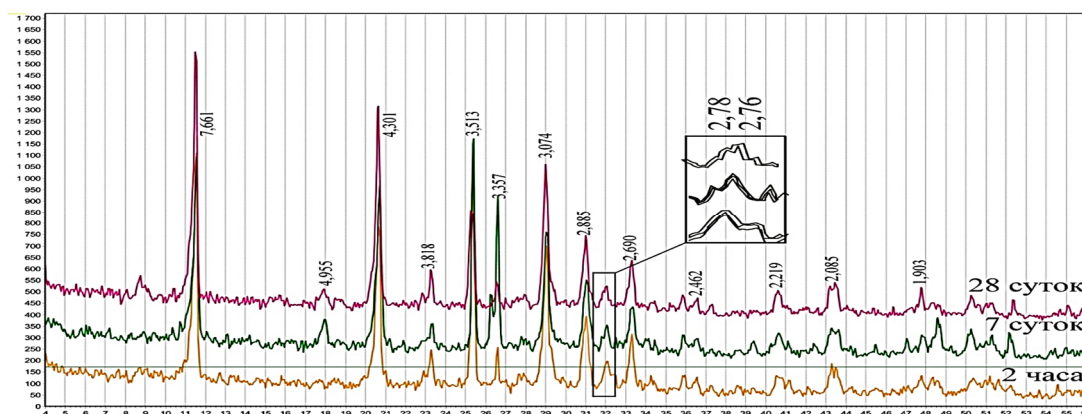


Рис. 1. Фазовый состав КГВ с минеральной добавкой БЛ

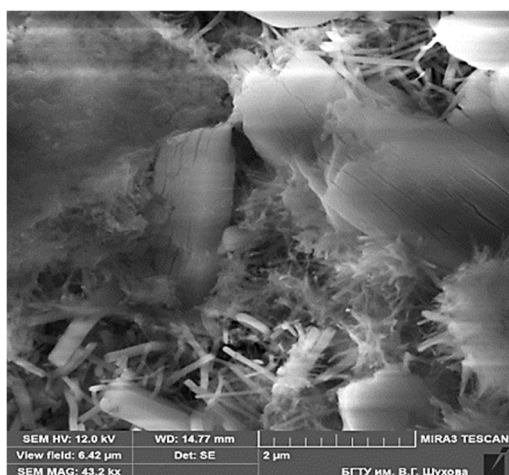


Рис. 2. Микроструктура низкоосновных гидросиликатов кальция на кристаллах гипса

Анализ микроструктуры исследуемых образцов показал (рис. 2, 3), что в композициях с БЛ образуются новообразования толщиной в 1–2 мкм, которые можно отнести с к С-S-H- гелю, в основном имеющему переменный состав и аморфную природу. В его структуре также просматриваются слабо закристаллизованные области, обозначаемые как С-S-H(I) и С-S-H(II). Имеющиеся поры почти полностью зарастают мелкими кристаллами гидросиликатов кальция, приобретающих морфологию дендритоподобных образований и создающих уплотненную оболочку

вокруг частиц гипса. За счет гидросиликатов такой морфологии затвердевшее КГВ упрочняется.

К 28 суткам оболочка гидросиликатов становится достаточно плотной, частицы объединяются в непрерывную мелкокристаллическую ( $\leq 0,1 \text{ мкм}$ ) структуру с упрочненными связями, предположительно гидросиликатов, гидроалюмо-ферритов кальция и двухводного сульфата кальция, как результат твердения портландцемента и полуводного гипса.

Основным и самым значимым этапом производства пенобетонных изделий является их поризация [11–13]. В связи, с чем в лабораторных условиях были проведены испытания по взаимодействию каждого компонента пенобетонной смеси с пенообразователем «ПБ-Формула». Для этого с помощью миксера в течение одной минуты готовилась пеномасса из пенообразователя и воды, в которую добавляли с постоянным перемешиванием каждый из компонентов КГВ, готовую смесь заливали в формы размером  $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ , рассчитывая степень их заполнения и сравнивая объем полученных пеномасс. На основе полученных результатов для приготовления более устойчивой пенобетонной смеси в лабораторных условиях была предложена схема поэтапной загрузки ее компонентов в смеситель.

Таблица 3

**Взаимодействие компонентов композиционного гипсового вяжущего с синтетическим пенообразователем «ПБ-Формула»**

Наименование компонента	В/В	Количество пенообразователя «ПБ Формула», мл/кг	Степень заполнения формы, см <sup>3</sup>
Гипс Г-16	0,5	2	>1000
Цемент ЦЕМ I	0,5	2	950
Тонкодисперсный БЛ	0,5	2	820

Чтобы пеномасса не потеряла свою форму в результате ввода в нее всех компонентов вяжущего, в первую очередь необходимо вводить ГВ, в результате гидратации, которого и последующей кристаллизации двухводного гипса, его схватывания, создается более однородная и устойчи-

вая микроструктура пеногипсовой массы, стабильная при последующем вводе остальных компонентов вяжущего.

При перемешивании за счет вращения ротора пенобетоносмесителя и отражательных лопастей, закрепленных на его стенках, создаются мощные радиальные и тангенциальные потоки,

которые приводит к дополнительной диспергации частиц и вовлечению воздуха в готовую смесь, а добавка «ПБ-Формула» их стабилизирует. То есть, одновременно протекают два процесса. Первый связан с захватом воздуха при перемешивании, с захлопыванием каверн в смеси

при разрыве потока лопастями активатора и дальнейшей диспергации пузырьков при возникающих сдвиговых нагрузках в смеси за счет радиальных и тангенциальных потоков, а второй процесс – это захват и фиксация пузырьков воздуха твердыми частицами смеси.

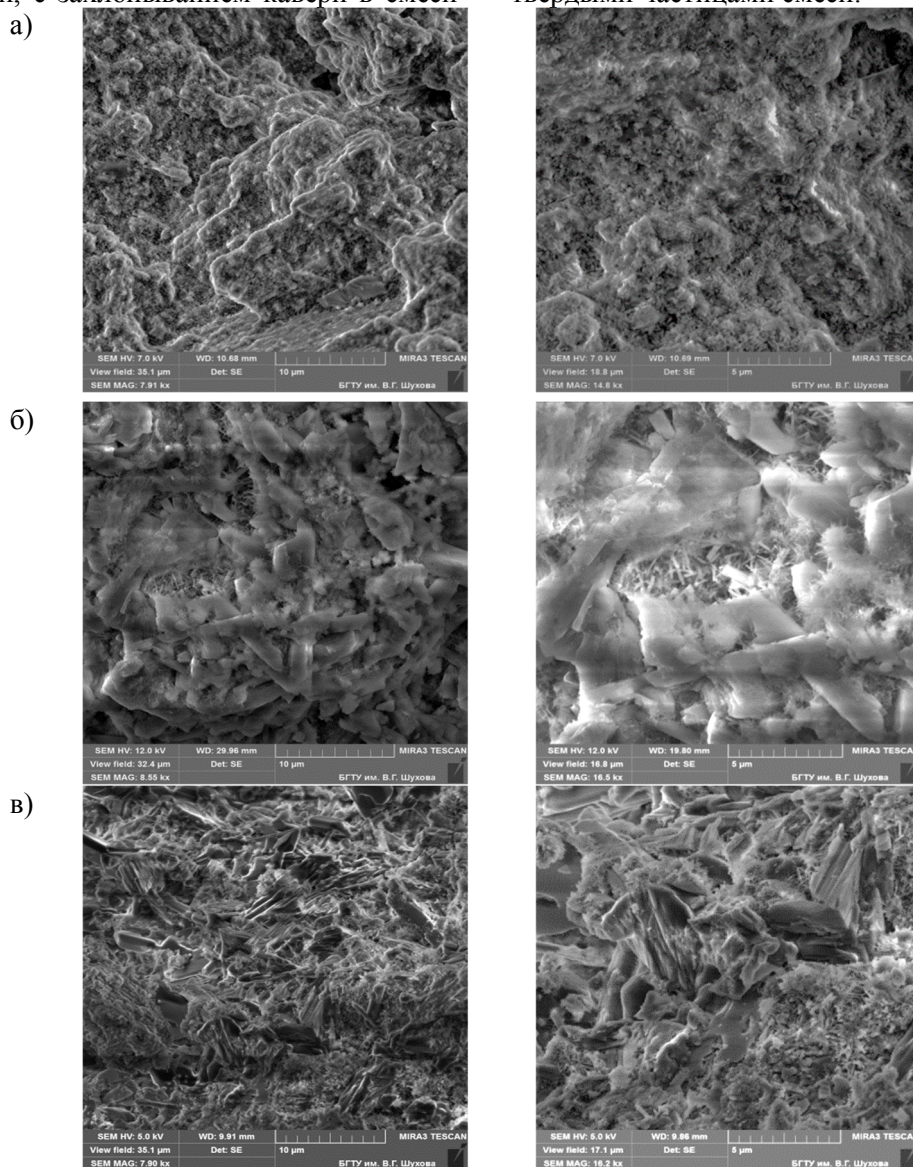


Рис. 3. Микроструктура затвердевшего КГВ с минеральной добавкой БЛ:  
а) через 2 час; б) через 7 сут; в) через 28 сут

Диаметр пор и толщина межпоровых перегородок в основном определяет прочностные и теплофизические свойства материала [14–16]. Для повышения этих показателей необходимо добиваться мелкопористой структуры с малодефектными и достаточно прочными межпоровыми перегородками.

Как показали результаты исследования, в разработанном составе ПБ размер пор находится в интервале от 0,05 до 0,6 мм при размере межпоровых перегородок 0,17...0,35 мм. На рисунке (4, а) отчетливо видно равномерное распределение пор меньшего диаметра между более крупными

порами в пенобетонном образце с полидисперсной структурой. Установлено наличие «контактных дыр» и трещин, что, возможно, связано с неравномерным распределением пенообразователя и возникновению перепада давлений между соседними порами, что негативно сказывается на свойствах ПБ.

Микроструктура стенки межпоровой перегородки (рис. 4, б, в) к внешней стороне поры более плотная, а к внутренней – более рыхлая. На ее поверхности отчетливо видны сформированные кристаллы гипса, «игольчатые» кристаллы гидросиликатов кальция, просматриваются неровности и микропористость поверхности пор.

**Физико-механические характеристики пенобетона**

№	Состав, %			Степень заплн. формы, %	В/Вязж	Кол-во ПО, мл/кг	$\lambda$ , Вт/м·К	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Rсж (7 сут), МПа	Rсж (28сут), МПа
	ГВ	ПЦ	БЛ							
1	60	20	20	100	0,5	2	0,14...0,18	561...670	0,9...1,3	1,2...1,5

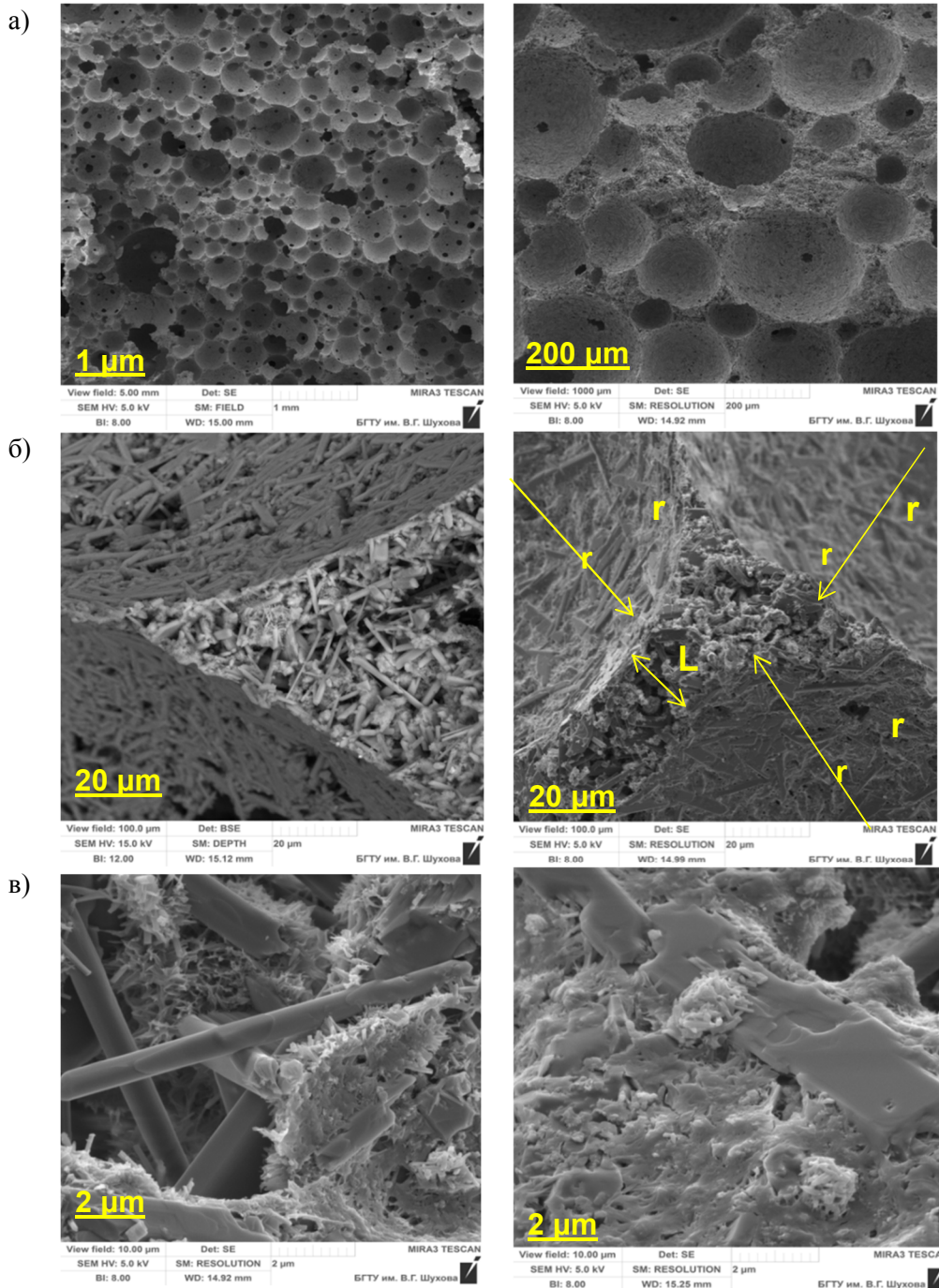


Рис. 4. Микроструктура поризованного гипсоцементного камня с минеральной добавкой тонкодисперсного БЛ (а) и межпоровой перегородки ПБ (б и в)

**Выводы.** Установлена возможность и целесообразность использования в качестве минеральной добавки в составе КГВ для пенобетона тонкодисперсных отходов бетонного лома.

На основе КГВ, включающего гипсовое вяжущее, портландцемент, тонкомолотый бетонный лом, пенообразователь «ПБ-Формула» получены теплоизоляционно-конструкционные пено-

бетоны марок D600 и D700, имеющие следующие характеристики:  $\rho=600 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{сж}=1,2 \text{ МПа}$ ,  $\lambda=0,14 \text{ Вт/(м·К)}$ ;  $\rho=700 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{сж}=1,5 \text{ МПа}$ ,  $\lambda=0,18 \text{ Вт/(м·К)}$ .

По результатам сравнения объема полученных пеномасс выявлено, что гипсовое вяжущее создает более стойкую пену для дальнейшего ввода компонентов. Рациональной является поэтапная загрузка компонентов бетонной смеси, с первоначальным вводом гипсового вяжущего. Предлагаемая технология получения теплоизоляционно-конструкционного пенобетона на основе КГВ оптимизирует структуру композита и улучшает строение межпоровых перегородок. Поры равномерно распределены, имеют размер от 0,05 до 0,6 мм и толщину межпоровой перегородки равной 0,25 от их радиуса.

**Источник финансирования.** РФФИ в соответствии с исследовательским проектом № 18-29-24113.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серова Р. Ф., Касумов А. С., Величко Е. Г. Проблемы производства и применения ячеистого бетона // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 7-2. С. 267–271.
2. Fatheali A Shilar, Mubarakali Shilar. Experimental study on partial replacement of cement with mineral admixtures and sand with quarry dust // *International Journal of Advanced Science and Engineering*. Vol. 5. No.4. 2019. 1169–1173.
3. Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Абси-метов М.В., Воронов В.В. Композиционное вяжущее для конструкционного ячеистого бетона // *Materials Science Forum*. 2019. Т. 945, С. 53–58. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.945.53
4. Поспелова Е.А., Елистраткин М.Ю., Нецвет Д.Д. Статистический анализ как инструмент повышения качества изделий из ячеистого бетона. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Т. 670-671. С. 1624-1628.
5. Алфимова Н.И., Пириева С.Ю., Гудов Д.В., Шураков И.М., Корбут Е.Е. Оптимизация рецептурно-технологических параметров изготовления ячеистобетонной смеси // *Строительные материалы и изделия*. 2018. Том 1. №2. С. 30–36.
6. Ramamurthy K., Nambiar E.K.K., Ranjani G.I.S. A classification of studies on properties of foam concrete // *Cement and Concrete Composites*. Vol. 31. No. 6. 2009. Pp. 388–396.
7. Tan X., Chen W., Hao Y., Wang X. Experimental study of ultralight ( $<300 \text{ kg/m}^3$ ) foamed concrete // *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2014, Article ID 514759, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/514759>
8. Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Евсюкова А.С., Кузьмина Т.С., Бурьянов А.Ф. Композиционные гипсовые вяжущие для "зеленого" строительства // *Наукоёмкие технологии и инновации: сб. материалов международной научно-практической конференции*. 2016. С. 443–449.
9. Chernysheva N.V., Lesovik V.S., Drebezgova M.Yu., Shatalova S.V., Alaskhanov A.H. Composite gypsum binders with silica-containing additives // *International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017, Material Science in Mechanical Engineering*. (2018) 032015.
10. Чернышева Н.В., Шаталова С.В., Евсюкова А.С., Фишер Ханц-Бертрам. Особенности подбора рационального состава композиционного гипсового вяжущего // *Строительные материалы и изделия*. 2018. Том 1. №2. С. 45–52.
11. Farnaz B., Bindiganavile V. Air-void size distribution of cement based foam and its effect on thermal conductivity // *Construction and Building Materials*. Vol. 149. 2017. Pp. 17–28.
12. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Кожухова М.И., Алфимова Н.И., Чепурных А.А. pH-показатель среды как фактор формирования поровой структуры пен // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. №8. С. 101–108. DOI: 10.12737/article\_5b6d586ca043d4.17885788
13. Аниканова Т.В., Погромский А.С. Применение полуводного сульфата кальция для интенсификации процессов твердения конструкционно-теплоизоляционного пенобетона // *Строительные материалы и изделия*. 2018. Том 1. №3. С. 25–32.
14. Патент 2266271 Российская федерация, МПК: 7С 04В 38/10 А, 7С 04В 40/00 В. Способ получения теплоизоляционного ячеистого бетона (варианты) / Шахова Л.Д., Хребтов А.Е., Черноситова Е.С.; заявитель и патентообладатель БГТУ им В.Г. Шухова № 2004112123/03, заявл. 20.04.2004, опубл. 2005 г.
15. Патент 2412136 Российская федерация, МПК: С 04 В 38 10, С 04 В 40 00, В 82 В 1 00. Смесь для пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего (варианты), способ изготовления изделий из пенобетона (варианты) / Лесовик В.С., Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова № 2009134917/03, заявл. 21.09.2009, опубл. 2011 г.
16. Крылов Б.А., Кириченко В.В. Энергоэффективная технология производства пенобетонных изделий // *Технологии бетонов*. 2013. № 12 (89). С. 47–49.

*Информация об авторах*

**Шаталова Светлана Вячеславовна**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: shatalova.sv@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Чернышева Наталья Васильевна**, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: chernysheva56@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Глаголев Евгений Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: bolotin@belregion.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Лесниченко Евгений Николаевич**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: lesnichenko.zhenia@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Дребезгова Мария Юрьевна**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: mdrebezgova@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила в июне 2019 г.*

© Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Лесниченко Е.Н., Дребезгова М.Ю., 2019

**\*Shatalova S.V., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Lesnichenko E.N., Drebezgova M.Yu.**  
*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*  
*Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*  
*\*E-mail: shatalova.sv@yandex.ru*

## EFFECTIVE CELLULAR CONCRETE ON THE COMPOSITE GYPSUM BINDER

**Abstract.** *The dynamically developing construction of the Russian Federation makes it necessary to expand the range of alternative types of binders and materials based on them. Such binders include a composite gypsum binder used for the production of materials for various functional purposes. The manufacture and use of products based on composite gypsum binders is made possible by studying the Portland cement – gypsum – water system, the stability of which is ensured by introducing of an appropriate amount of active mineral additives. Such additives reduce the concentration of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in the liquid phase of the hardening system and create the possibility of hardening under certain conditions without dangerous internal tensions. This article discusses the obtaining of effective cellular concrete on a composite gypsum binder. Cellular concrete surpasses some traditional materials in its structure, properties, methods of preparation, and they are universal in terms of operational properties. The possibility and expediency of using thin-ground concrete scrap as a mineral additive in the composition of composite gypsum binder for cellular concrete is established in the work. Thermal insulation and structural cellular concrete of D600 and D700 grades are obtained. It is revealed that the stepwise loading of the components of the concrete mixture with the initial introduction of a gypsum binder is rational.*

**Keywords:** *cellular concrete, composite gypsum binder (CGB), porisation, microstructure.*

### REFERENCES

1. Serova R.F., Kasumov A.S., Velichko E.G. Problems of production and application of aerated concrete [Problemy proizvodstva i primeneniya yacheistogo betona]. Fundamental research. 2016. №7(2). Pp. 267–271. (rus)
2. Fatheali A Shilar, Mubarakali Shilar. Experimental study on partial replacement of cement with mineral admixtures and sand with quarry dust. International Journal of Advanced Science and Engineering. Vol. 5. No. 4. 2019. 1169–1173.
3. Elistratkin M.Y., Glagolev E.S., Absimetov M.V., Voronov V.V. Composite Binder for Structural Cellular Concrete, Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. Pp.53–58. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.945.53
4. Pospelova E.A., Elistratkin M.Yu., Netsvet D.D. Statistical Analysis as an Instrument for Improving the quality of Products from Cellular Concrete, Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 670–671. Pp. 1624–1628.
5. Alfimova N.A., Pirieva S.Yu., Gudov D.V., Shurakov M.I., Korbut E.E. Optimization of prescription-technological parameters of production of cellular concrete mixture [Optimizaciya recepturno-

tehnologicheskikh parametrov izgotovleniya yacheistobetonnoj smesi]. Construction materials and products. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 30–36. (rus)

6. Ramamurthy K., Nambiar E.K.K., Ranjani G.I.S. A classification of studies on properties of foam concrete. Cement and Concrete Composites. Vol. 31. No. 6. 2009. Pp. 388–396.

7. Tan X., Chen W., Hao Y., Wang X. Experimental study of ultralight ( $<300 \text{ kg/m}^3$ ) foamed concrete. Advances in Materials Science and Engineering. Volume 2014, Article ID 514759, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/514759>

8. Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Evsyukova A.S., Kuzmina T.S., Buryanov A.F. Composite gypsum binders for "green" construction [Kompozicionnye gipsovye vyazhuschie dlya "zelenogo" stroitel'stva]. Naukoemkie tehnologii i innovacii: sb. materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii. 2016. Pp. 443–449. (rus)

9. Chernysheva N.V., Lesovik V.S., Drebezgova M.Yu., Shatalova S.V., Alaskhanov A.H. Composite gypsum binders with silica-containing additives. International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017, Material Science in Mechanical Engineering. 2018. 032015.

10. Chernysheva N.V., Shatalova S.V., Evsyukova A.S., Fisher Hanc-Bertram. Features of selection of the rational composition of the composite gypsum binder [Osobennosti podbora racional'nogo sostava kompozicionnogo gipsovogo vyazhushego]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 45–52. (rus)

11. Farnaz B., Bindiganavile V. Air-void size distribution of cement based foam and its effect on thermal conductivity. Construction and Building Materials. Vol. 149. 2017. Pp. 17–28.

12. Kozhukhova N.I., Danakin D.N., Kozhukhova M.I., Alfimova N.I. Chepurnykh A. A. pH-indicator of the medium as a factor in the formation of the pore structure of foam concrete [pH-pokazatel' sredey kak faktor formirovaniya porovoy struktury pen]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2018. Vol. 8. Pp. 101–108. (rus)

13. Anikanova T.V., Pogromsky A.S. The use of semi-aquatic calcium sulfate to intensify the processes of hardening of structural heat-insulating foamed concrete [Primenenie poluvodnogo sul'fata kal'ciya dlya intensivatsii processov tverdeniya konstrukcionno-teploizolyacionnogo penobetona]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. No. 3. Pp. 25–32. (rus)

14. Shakhova L.D., Khrebtov A.E., Chernositova E.S. A method of producing a heat-insulating cellular concrete (versions). Patent RF. №2004112123/03, 2005.

15. Lesovik V.S., Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V. Mix for foam concrete on the basis of the nanostructured knitting (options), a way of production of products from foam concrete (options). Patent RF, No. 2412136, 2011.

16. Krylov B.A., Kirichenko V.V. Energy-efficient production technology of foam concrete products [Energoeffektivnaya tehnologiya proizvodstva penobetonnykh izdeliy]. Concrete technology. 2013. Vol. 12 (89) Pp. 47–49. (rus)

#### Information about the authors

**Shatalova, Svetlana V.** Postgraduate student. E-mail: [shatalova.sv@yandex.ru](mailto:shatalova.sv@yandex.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Chernysheva, Natalya V.** DSc, Professor. E-mail: [chernysheva56@rambler.ru](mailto:chernysheva56@rambler.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Glagolev, Evgeny S.** PhD, Assistant professor. E-mail: [bolotin@belregion.ru](mailto:bolotin@belregion.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Lesnichenko, Evgeny N.** Postgraduate student. E-mail: [lesnichenko.zhenia@yandex.ru](mailto:lesnichenko.zhenia@yandex.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Drebezgova, Maria Yu.** PhD, Senior lecturer. E-mail: [mdrebezgova@mail.ru](mailto:mdrebezgova@mail.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*Received in June 2019*

#### Для цитирования:

Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Лесниченко Е.Н., Дребезгова М.Ю. Эффективный ячеистый бетон на композиционном гипсовом вяжущем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 11–18. DOI: 10.34031/article\_5db331a5c52049.41127542

#### For citation:

Shatalova S.V., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Lesnichenko E.N., Drebezgova M.Yu. Effective cellular concrete on the composite gypsum binder. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 11–18. DOI: 10.34031/article\_5db331a5c52049.41127542