

*Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.,  
Сулейманов К.А., магистрант,  
Кудинова Д.В., студент*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ПОЛИДИСПЕРСНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

[innapogorelova@yandex.ru](mailto:innapogorelova@yandex.ru)

*Применение кремнеземсодержащих компонентов различного генезиса в строительном материаловедении имеет свои особенности как при приготовлении смесей полидисперсных композиционных вяжущих, так и при синтезе композитов, в том числе ячеистого бетона.*

*Создание микрооднородной межпоровой перегородки ячеистого бетона с равномерным распределением высокодисперсных продуктов гидратации композиционного вяжущего обеспечено гранулометрией вяжущего, а также морфологией и генезисом тонкодисперсных минеральных добавок.*

**Ключевые слова:** *ячеистый бетон, газобетон, полидисперсные композиционные вяжущие, генезис, микроструктура межпоровых перегородок.*

Повышение эффективности тепловой защиты зданий и сооружений, внедрение энергоэффективных материалов и технологий являются приоритетными направлениями в развитии строительной индустрии. Одним из эффективных строительных материалов на сегодняшний день является ячеистый бетон. На практике широкое применение нашли изделия из газобетонов автоклавного твердения, производство которых организовано на крупных автоматизированных предприятиях, требующих больших инвестиционных вложений.

Основными сырьевыми компонентами для производства ячеистых бетонов являются вяжущие различных типов и классов, кремнеземистые компоненты (песок, продукты обогащения руд, зола-унос ТЭС), пено- и газообразователи, регуляторы структурообразования, нарастания пластической прочности, ускорители твердения, пластифицирующие добавки и вода [1].

Вяжущие вещества выбираются в зависимости от условий твердения и проектной прочности изделий из ячеистого бетона. В качестве вяжущего для автоклавных ячеистых бетонов применяют портландцемент и шлакопортландцемент, соответствующие [2]; известь кальциевую не ниже 3 сорта, удовлетворяющую требованиям [3]; цементно-известковое, известково-белитовое или шлаковые вяжущие.

Рассмотрим сырьевую базу кремнеземсодержащих компонентов для композиционных вяжущих. Актуальным вопросом является переход на использование техногенного сырья. Техногенные материалы, в силу специфики генезиса и техногенеза, обладают повышенным запасом свободной внутренней энергии за счет наличия дислокаций, искажения кристаллической решетки,

повышения ее дефектности или полного разрушения с переходом из кристаллического в псевдоаморфное состояние. Они содержат также наноразмерные частицы, что позволяет рассматривать некоторые их разновидности как энерго-сберегающее сырье промышленности строительных материалов, особенно при производстве композиционных вяжущих.

Использование техногенного сырья в качестве кремнеземистых добавок композиционных вяжущих веществ имеет свою специфику, так как они отличаются от природных своей полиминеральностью, полигенетичностью и, как следствие, формой зерен и морфологией поверхности.

Наиболее крупнотоннажными являются механогенные и пирогенные техногенные продукты. В меньшей степени распространены хемогенные и сугубо теоретическое значение на сегодня имеют и биогенные материалы.

Источником формирования отсева дробления служат различные горные породы осадочного происхождения, чаще всего известняки, песчаники, гравийно-галечные смеси; магматического (граниты, базальты, порфиры и др.) и метаморфического (сланцы, гнейсы, кварциты, кварцитопесчаники, амфиболиты и др.) генезиса (рис. 1).

Значительно больше, чем отсева дробления, образуется отходов обогащения. Техногенные пески данного класса являются продуктом мокрой магнитной сепарации магнетитовых пород, а также образуются при флотации и гравитации целого ряда различных полезных ископаемых. Породообразующими минералами техногенных песков, образующихся при обогащении пород, являются пироксены, оливин, амфиболы,

кальцит, основные полевые шпаты и другие, модуль крупности которых составляет 1,4...2.

Одновременно с крупностью и минералогическим составом песков, на их свойства влияет морфология зерен, определяемая их формой и состоянием поверхности. Форма, морфология поверхности и активность техногенных песков определяются генезисом и структурно-текстурными характеристиками, а также минералогическим составом и типоморфными особенностями материнских пород, подвергнутых дезинтеграции в процессе технологических переделов. При

механогенном воздействии на породу, разрушение вначале происходит по наиболее ослабленным зонам. В общем случае последовательность зон разрушения имеет следующий вид: генетические дефекты структуры → зоны минералов с весьма совершенной спайностью → контакты между минеральными агрегатами → контактные зоны между отдельными зернами → зоны остаточных напряжений → дефекты кристаллической структуры [4, 5].

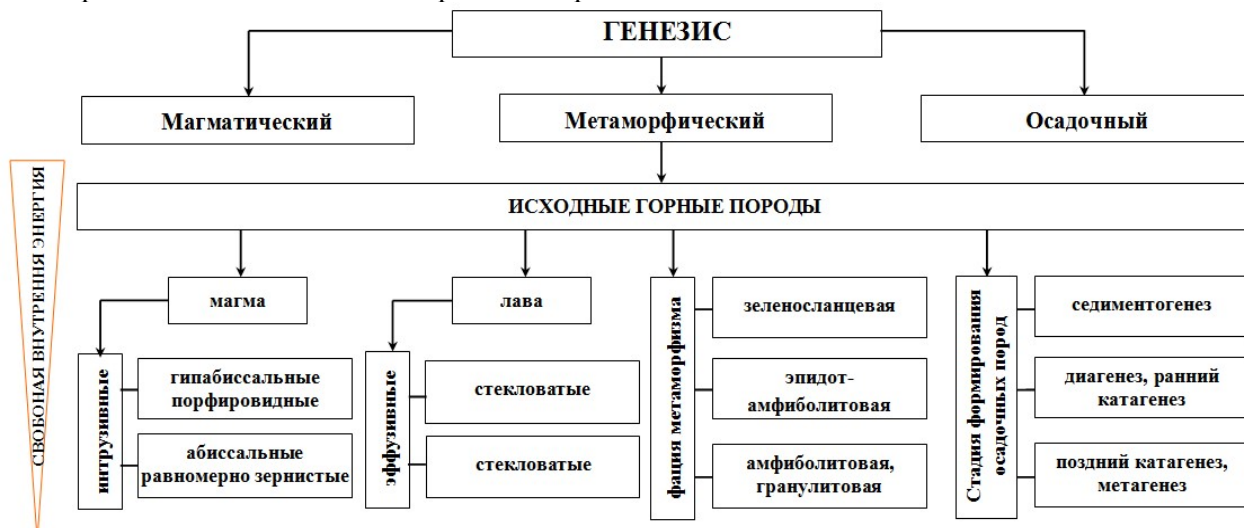


Рис. 1. Классификация кремнеземсодержащих компонентов различного генезиса для производства композиционных вяжущих

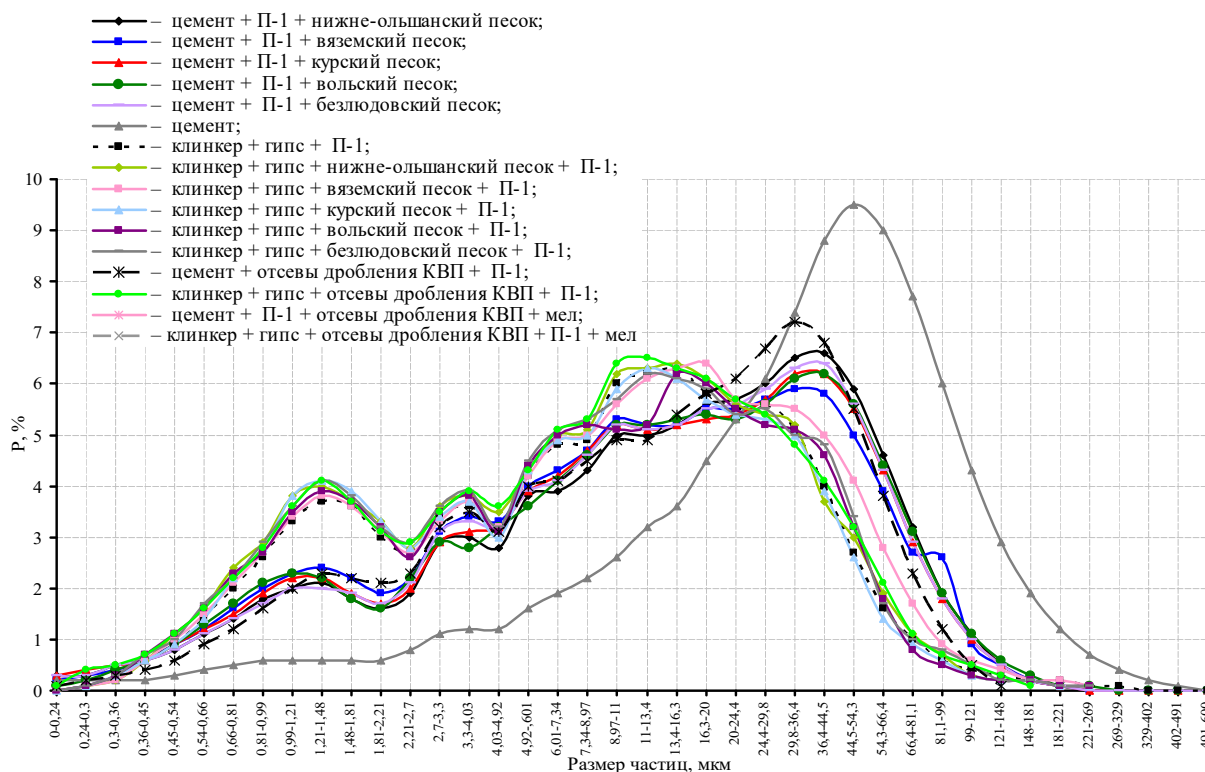


Рис. 2. Распределение частиц композиционных вяжущих (КВ) по размерам

Существенное отличие техногенных продуктов от природных, обусловленное технологическими операциями, генезисом и составом исходных пород, влечет за собой ряд коренных изменений в параметрах, определяющих их активность и энергонасыщенность в твердеющих системах. Применение такого сырья в строительном материаловедении имеет свои особенности как при приготовлении смесей, так и при синтезе композитов [6–8].

Разработаны полидисперсные композиционные вяжущие (рис. 2) с прочностью на сжатие не менее 80 МПа, обладающие уникальными свойствами, обеспечивающими стабильность технологических процессов, протекающих на всех стадиях производства ячеистого бетона.

Полидисперсное распределение частиц композиционных вяжущих с отсевом дробления кварцитопесчаника и мела (рис. 2) по экспериментальным данным [9]:

$$\frac{dn}{d_1} = \left( \frac{2,549}{10 \cdot 0,63} \right)^{\frac{2}{3(n-1)}} = 1,0; 0,547; 0,300; 0,164; 0,094$$

Из представленных экспериментальных данных первые три результата  $\frac{dn}{d_1}$  имеют

абсолютную сходимость, а усредненный размер четвертой и пятой фракции частиц незначительно смещен в область крупных размеров:  $d_{cp} = (0,164 \cdot 0,09)^{\frac{1}{2}} \cdot d_1 = 1,475 \text{ мкм}$ ,  $d_{cp} > d_{cf}$ ,  $1,475 \text{ мкм} > 1,34 \text{ мкм}$ .

На рис. 2. расчетный размер пятой фракции полидисперсной смеси композиционного вяжущего с отсевом дробления кварцитопесчаника и мела  $d_{cp} = 0,09 \cdot 12,14 = 1,087 \text{ мкм}$  смещен от фактического среднего размера частиц  $d_{cf} = 1,21 \dots 1,48 \text{ мкм}$  в область мелких размеров. Следовательно, фактическое распределение частиц по размерам соответствует их высокоплотной упаковке.

Содержание в смеси каждой фракции частиц на соответствие высокоплотной упаковке определяется по формуле:

$$G_n = (1 - \sigma_{n-1}) \frac{\eta_n}{\sigma_{n-1}} \beta_n \sum_{i=1}^{n-1} G_i, \quad (1)$$

где  $\eta_n$  – плотность упаковки частиц каждой фракции  $\eta_n < \eta_{n-1}$  определяется по усредненным

данным в зависимости от  $\frac{dn}{d_1}$  ( $\eta_1 = 0,63$ ;

$\eta_2 = 0,62$ ;  $\eta_3 = 0,61$ ;  $\eta_4 = 0,60$ );  $\sigma_{n-1}$  – плотность упаковки частиц в смеси, состоящей из  $n-1$  фракций;  $\beta_n$  – коэффициент разъединения (раздвижки) зерен в смеси частицами очередной

фракции, вводимой в смесь,  $\beta_n = \frac{\sigma_{n-1}}{\eta_n}$ ;

$G_1$  – количество первой (наиболее) крупной фракции, обычно принимается  $G_1 = 100 \text{ мас. ч}$ .

Плотность упаковки частиц в смеси при введении очередной фракции:

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + \frac{(1 - \sigma_{n-1})}{\beta_n} \cdot X_n, \quad (2)$$

где  $\sigma_1 = \eta_1$  – плотность упаковки частиц наиболее крупной фракции;  $X_n$  – степень заполнения пустот в смеси при введении очередной фракции (определяют с использованием табл. 1 [10]).

Сопоставление расхода каждой фракции расчетного с фактическим в смеси представлено в табл. 1.

Таблица 1

Расход фракций композиционного вяжущего

G, мас. ч.	Фактический расход	Расчетный расход
G <sub>1</sub> = 100	6,5	6,5
G <sub>2</sub> = 37	5	2,4
G <sub>3</sub> = 48	4	3,12
G <sub>4</sub> = 66,6	4,5	4,3

Количество второй фракции в смеси композиционных вяжущих с отсевом дробления кварцитопесчаника и мела (рис. 2) несколько завышено по сравнению с расчетом, но учитывая, что содержание фракции в реальной смеси с размером более  $d_1$  значительное – пологий участок кривой анализа смеси – повышенное содержание второй фракции пойдет на заполнение в них пустот. То же самое относится и к третьей фракции. Расчетное количество четвертой фракции почти совпадает с фактическим содержанием ее в смеси.

Следовательно, состав полидисперсной смеси композиционных вяжущих с отсевом дробления кварцитопесчаника и мела следует отнести к высокоплотным по плотности упаковки в ней частиц.

В производстве ячеистых бетонов на композиционных вяжущих важными являются рецептурные и технологические факторы. Оптимальные составы ячеистых бетонов определены при варьировании основных технологических факторов: В/Т в пределах 0,45...0,65, количество алюминиевой пасты в диапазоне 0,4...0,8 % от массы композиционного вяжущего и микронаполнителя – мела до 20 % [5]. В ходе анализа влияния исследуемых факторов на среднюю плотность и прочность на сжатие ячеистого бетона, было определено, что средняя плотность ячеистого бетона на композиционных вяжущих достигает наименьшего значения ( $250 \text{ кг/м}^3$ ) при В/Т = 0,55,

а при дальнейшем увеличении В/Т не представляется возможным сочетать процессы газообразования и структурообразования, так как ячеистобетонная смесь дает осадку, отрицательно влияя на выходные параметры. При этом оптимальное количество газообразователя для получения эффективного ячеистого бетона составляет 0,6 % при прочих равных условиях.

Ячеистобетонные смеси на полидисперсных композиционных вяжущих с добавлением мела отличаются повышенной вязкостью суспензий, что объясняется более плотной упаковкой частиц, и в дальнейшем способствовало созданию улучшенной пористой структуры ячеистого бетона и его высоким эксплуатационным характеристикам.

Оптимизация состава композиционных вяжущих с отсевами дробления кварцито-песчаника и мелом представлены на рис. 3.

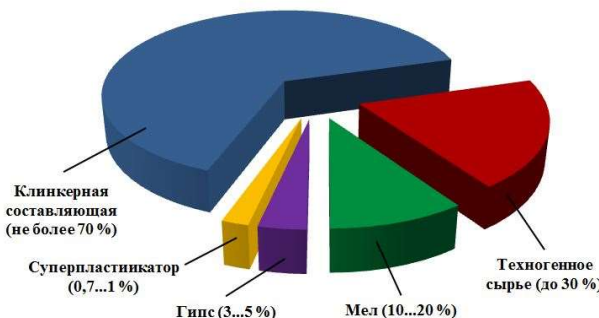


Рис. 3. Оптимальный состав композиционного вяжущего в процентном соотношении

Основную массу ячеистобетонной смеси содержит композиционное вяжущее (рис. 3), газообразователь в виде алюминиевой пасты (0,4 % от вяжущего) и вода.

В ходе исследования, для получения ячеистого бетона с качественной поровой структурой решены следующие задачи: получено полидисперсное композиционное вяжущее; созданы физико-химические и технические условия получения стабильной поромассы из монодисперсных масс с крупными, средними порами и микропорами.

Минералогический состав и связанное с ним тепловыделение при гидратации клинкерных минералов, дисперсность, водоцементное отношение, сроки схватывания разработанного композиционного вяжущего позволили получить ячеистый бетон с улучшенными показателями качества ( $\rho_{\text{ср}} = 250...300 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{\text{сж}} = 1,5...1,7 \text{ МПа}$ ,  $\lambda = 0,078...0,08 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ).

Анализ микроструктуры ячеистого бетона на композиционных вяжущих в сравнении с микроструктурой ячеистого бетона на портландце-

менте (рис. 4) показал, что поры имеют сферическую форму с гладкой внутренней поверхностью с уплотненным припоровым слоем, нарушений сплошности стенок пор не наблюдается, что предопределяет его улучшенные эксплуатационные характеристики [11–14].

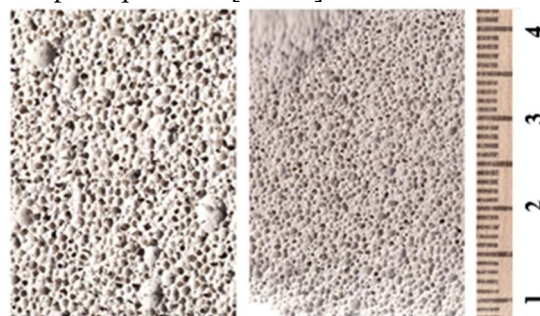


Рис. 4. Структура ячеистого бетона на композиционном вяжущем в сравнении с традиционным ячеистым бетоном автоклавного твердения

Ячеистый бетон на композиционных вяжущих, имеет равномерно распределенную пористую структуру со средним диаметром пор 0,25 мм.

Создание микрооднородной межпоровой перегородки ячеистого бетона с равномерным распределением высокодисперсных продуктов гидратации композиционного вяжущего (рис. 5) обеспечено гранулометрией вяжущего, а также морфологией и генезисом тонкодисперсных минеральных добавок [15, 16].

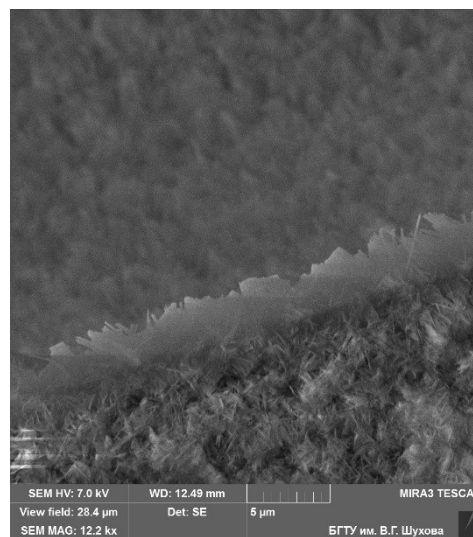


Рис. 5. Межпоровая перегородка ячеистого бетона на полидисперсном композиционном вяжущем

Общая пористость ячеистого бетона на полидисперсном композиционном вяжущем составляет 83 %, что значительно выше, чем пористость ячеистого бетона на традиционных вяжущих. Средний диаметр пор разработанного пори-

зованного композита составляет 0,18 мм, что значительно меньше второго, значение которого составляет 0,94 мм.

На основе выявленных закономерностей формирования пористой структуры, установлена повышенная эффективность ячеистого бетона на полидисперсных композиционных вяжущих, обеспечивающая изготовление изделий, монолитного ячеистого бетона и сухих ячеистобетонных строительных смесей с улучшенными эксплуатационными свойствами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 31359-2007 Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия / введ. 01.01.09. Изд. офиц. М.: Стандартинформ, 2009. 16 с.
2. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (с Изменениями №1, 2) / введ. 01.01.87. Изд. офиц. М.: Стандартинформ, 2008. 18 с.
3. ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия (с Изменениями №1) / введ. 01.01.87. – Изд. офиц. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 5 с.
4. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд-во АСВ, 2006. 524 с.
5. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 304 с.
6. Лесовик В.С. Состояние и перспективы использования техногенного сырья // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2014. № 7 (959). С. 59-60.
7. Лесовик В.С., Шахова Л.Д., Кучеров Д.Е., Аксютин Ю.С. Классификация активных минеральных добавок для композиционных вяжущих с учетом генезиса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 10-14.
8. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Глаголев Е.С., Вишневская Я.Ю. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих с учетом генезиса кремнеземсодержащего компонента. - Белгород, Изд-во БГТУ, 2016. 91 с.
9. Kharkhardin A.N., Suleimanova L.A., Kara K.A., Malyukova M.V., Kozhukhova N.I. The determination of topological properties in polydispersed mixtures on the results of sieve laser and particle size analysis // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 25. № 2. С. 347–353.
10. Хархардин А.Н. Структурная топология дисперсных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. Ч. 1. 196 с.
11. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Kirilenko S.V., Suleymanov K.A. To the issue of material stability, longevity and degradation mechanism // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 4. С. 24958–24967.
12. Suleymanova L.A., Lessowik W.S., Kara K.A., Lessowik G.A. Zum problem der optimisierung von porigkeit des zellbetons der nichtautoklaven erhärtung // В сборнике 19-e INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL. 2015. С. 1343-1349.
13. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Коломацкая С.А., Шорстов Р.А., Сулейманов К.А. Стадии роста газовых пор в ячеистобетонных смесях // Сборник докладов Научно-практической конференции к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича «Эффективные строительные композиты». Белгород: Изд-во БГТУ. 2015. С. 611-614.
14. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Lukutsova N.P. Energy efficient technologies of production and use non-autoclaved aerated concrete // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. №5. С. 12399–12406.
15. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kara K.A., Malyukova M.V., Suleymanov K.A. Energy-efficient concretes for green construction // Research Journal of Applied Sciences. 2014. № Т. 9. № 12. С. 1087-1090.
16. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Кондрашев К.Р., Гонта А.В., Ковалев С.Э. Анализ кинетики помола кварцсодержащих добавок для производства композиционных вяжущих // Сборник докладов Научно-практической конференции к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича «Эффективные строительные композиты». Белгород: Изд-во БГТУ. 2015. С. 615–624.

#### Информация об авторах

**Погорелова Инна Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: innapogorelova@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Сулейманов Карим Абдуллаевич**, студент магистратуры

E-mail: karimsuleymanov@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Кудинова Дарья Владимировна**, студент кафедры строительства и городского хозяйства

E-mail: darya\_kdv@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

---

*Поступила в октябре 2017 г.*

© Погорелова И.А., Сулейманов К.А., Кудинова Д.В., 2017

---

**Pogorelova I.A., Suleymanov K.A., Kudinova D.V.**

**POLYDISPERSE COMPOSITE BINDING MATERIALS FOR AERATED CONCRETES**

*Use of silica-containing components of different genesis in building material authority has own features when making mixes of polydisperse composite binding materials and also with synthesis of composites, including aerated concrete.*

*Make of micro homogeneous interpore partition of aerated concrete with uniform distribution of high-dispersive products of hydration of composite binding material is provided by granulometry of binding material and also by morphology and genesis of fine-dispersed additives.*

**Keywords:** *aerated concrete, gas-concrete, polydisperse composite bindings, genesis, microstructure of interpore partitions.*

---

*Information about the authors*

**Pogorelova Inna Aleksandrovna**, PhD, Assistant professor.

E-mail: innapogorelova@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Kostiukov st. 46.

**Suleymanov Karim Abdullaevich**, Master student.

E-mail: karimsuleymanov@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Kostiukov st. 46.

**Kudinova Daria Vladimirovna**, Bachelor student.

E-mail: darya\_kdv@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Kostiukov st. 46.

---

*Received in October 2017*

© Pogorelova I.A., Suleymanov K.A., Kudinova D.V., 2017