

УДК 666.97

Е.В. Королев, В.А. Береговой*, Д.С. Костин*
 ФГБОУ ВПО «МГСУ», *ФГБОУ ВПО «ПГУАС»

ВЛИЯНИЕ ВИДА ЦЕМЕНТА НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЕНОМИНЕРАЛЬНЫХ МАСС, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕНОКЕРАМИКИ¹

Представлены результаты влияния вида портландцемента, вида и концентрации добавок электролитов и полимеров на устойчивость пен, применяемых для получения пенокерамобетонов; предложены механизмы, объясняющие влияние указанных факторов.

Ключевые слова: пены, пенобетоны, пенокерамобетоны, портландцемент, пенообразователи.

Важнейшей технологической операцией в производстве ячеистых строительных материалов, получаемых по способу пенообразования, является изготовление пеномассы с заданными свойствами. Многокомпонентность системы, наличие нескольких типов границ раздела фаз (дисперсная фаза — жидкая среда и воздушное включение — жидкая фаза) и различия во взаимодействиях компонентов на этих границах (адсорбция ПАВ, химическое взаимодействие дисперсной фазы с жидкой фазой, ее поглощение и др.) значительно усложняют процесс управления качеством пены и пеномассы, получаемой при введении в пены минеральных частиц компонентов сырьевой смеси [1]. Это обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований с целью установления основных факторов, влияющих на формирование свойств пеноминеральных масс.

В данной работе представлены результаты исследования влияния высокоглиноземистых цементов (ВГЦ), применяемых в составах жаростойких пенокерамических материалов [2—4], на стабильность пеноминеральных масс, генерируемых из водных растворов синтетических анионоактивных пенообразователей (ПО).

Согласно современным представлениям механизм устойчивости минерализованных пен во многом определяется их способностью сопротивляться развитию деструкции, возникающей вследствие истечения жидкой фазы из межпленочного пространства пены [5], что позволяет использовать данный фактор для оценки устойчивости пеноминеральных систем.

С учетом особенностей истечения жидкой фазы по водопроводящим каналам, формируемым в ячеистой системе, зависимость скорости процесса обезвоживания пеноминеральной массы выражается уравнением

$$v = \frac{k}{\pi} \frac{g\rho}{\eta\xi} \left(1 - V_{\text{пор}}^{\frac{2}{3}}\right) \left(\sqrt[3]{\frac{1}{\pi} \frac{V_{\text{пор}}}{N}}\right)^2, \quad (1)$$

где k — числовой коэффициент; ρ — средняя плотность дисперсионной среды; η — вязкость раствора; ξ — коэффициент извилистости каналов; $V_{\text{пор}}$ — общая пористость материала; N — количество пор.

Из уравнения (1) следует, что устойчивость пены в основном определяется характером пористости свежизготовленной пеноминеральной массы, а также плотностью и вязкостью сырьевой смеси. При этом увеличение вязкости вспениваемого

¹ При поддержке государственного контракта № 16.552.11.7025 от 29.04.2011 г.

шликера позволяет существенно уменьшить скорость развития деструктивных процессов в пене.

Результаты исследования зависимости вязкости цементных растворов от содержания добавки пенообразователя приведены на рис. 1.

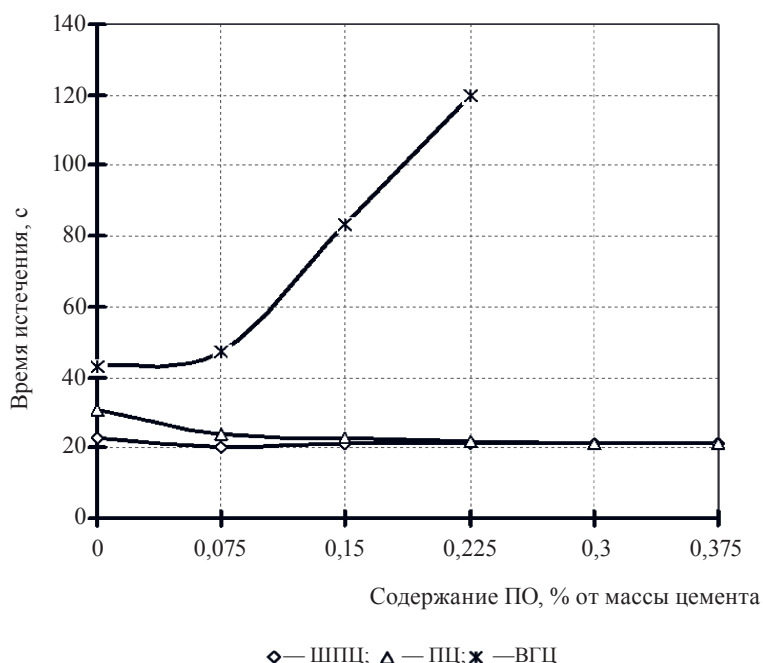
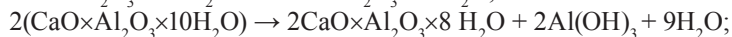
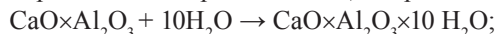


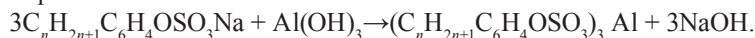
Рис. 1. Влияние содержания ПО на вязкость раствора

Из приведенных данных следует, что, в отличие от портландцементных вяжущих, повышение концентрации пенообразователя приводит к увеличению вязкости цементно-водных растворов на ВГЦ. Наблюдаемое увеличение вязкости обусловлено химическим взаимодействием продуктов гидратации ВГЦ с анионоактивным поверхностно-активным веществом, составляющим основу пенообразователя, протекающим по следующей схеме:

образование гидратации ВГЦ с образованием гидроксида алюминия [6, 7]:



взаимодействие $\text{Al}(\text{OH})_3$ с органическими соединениями, входящими в состав пенообразователя:



образование гелеобразных алюминийорганических соединений с общей формулой $\text{R}_3\text{-Al}$ (например, пальмитат, нафтенат или стеарат алюминия).

Специфическим признаком, сопутствующим процессу образования алюминийорганических соединений, является характерный запах, который и отмечался в процессе проведения лабораторных исследований при перемешивании водного раствора ВГЦ с пенообразующими добавками.

Согласно уравнению (1), увеличение вязкости растворов на основе ВГЦ, наблюдаемое при использовании анионоактивных пенообразователей, должно сопровождаться закономерным повышением устойчивости пенной массы. Однако, как показали результаты проведенных экспериментальных исследований, использование ВГЦ в исследуемых составах приводит к обратному эффекту.

Основной причиной наблюдаемого отрицательного воздействия является критическое уменьшение концентрации пенообразователя в растворе, вызванное рассмотренным выше химическим взаимодействием ПО с гидроксидом алюминия. На это указывают результаты исследования влияния соли алюминия на устойчивость пены (рис. 2).

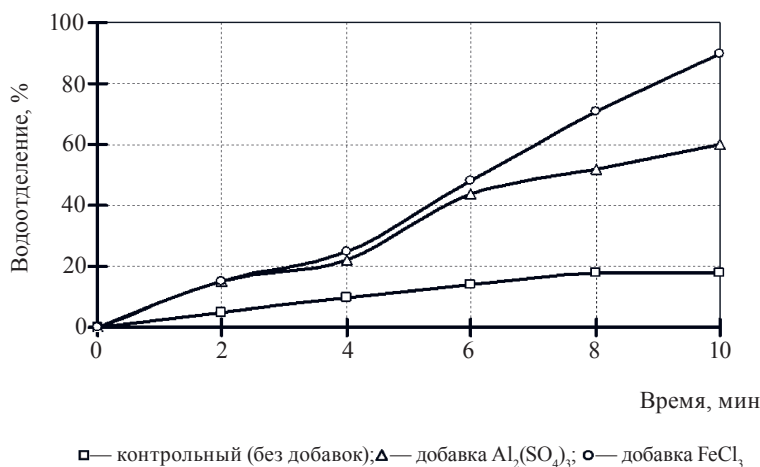
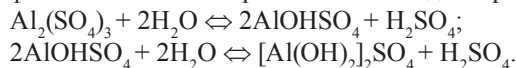


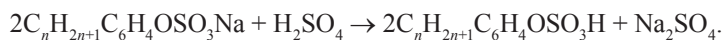
Рис. 2. Влияние добавок (1 %) на устойчивость пены

Данные рис. 2 показывают, что введение 1 % добавки сульфата алюминия в несколько раз повышает водоотделение пены, полученной из 1%-го раствора «ПБ-2000» (через 10 мин после приготовления).

Дополнительным фактором, снижающим показатели пены, является гидролиз сульфата алюминия с образованием в водном растворе кислой среды:



Известно, что для пенообразующих анионактивных ПАВ характерно снижение стабильности пен в кислой среде [8]. Данное обстоятельство обусловлено влиянием ионов водорода и гидроксила на взаимодействие гидрофильных и гидрофобных частей молекул, сдвигающим равновесие между адсорбцией ПАВ и мицеллообразованием. Кроме того, можно предположить, что ухудшение устойчивости пены в кислой среде связано с переводом растворимых солеобразных ПАВ в менее растворимые органические кислоты:



Аналогичное влияние на устойчивость пен, получаемых из растворов пенообразователей на основе А-ПАВ, будут оказывать и другие соли сильных кислот и слабых оснований, особенно с многовалентными катионами, например, такие как хлорид железа (III) (см. рис. 1, кривая 3). Повышение синерезиса пены при введении хлорида железа (III) связано также с взаимодействием вводимой добавки и поверхностно-активного вещества, входящего в состав пенообразователя. Результатом подобного взаимодействия могут стать нерастворимые в воде соединения типа R_3Fe .

Решение задачи повышения устойчивости рассматриваемых пен было найдено путем введения в состав пены специальных добавок-стабилизаторов. В качестве стабилизаторов пеноминеральных масс были опробованы полиакриламид (ПАА), карбамидно-формальдегидная жидкость (КФЖ), натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы, клекеканифольный стабилизатор, модифицированный эфир крахмала и др. [9, 10]. Проведенными экспериментами установлено, что наиболее эффективными стабилизаторами исследуемых пеноминеральных систем являются ПАА и КФЖ (рис. 3).

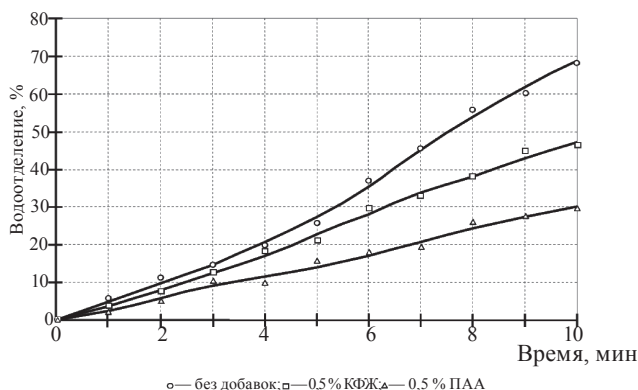


Рис. 3. Влияние добавок стабилизаторов на водоотделение пеномассы (0,5 % раствор ПО «ПБ-2000», 10 % цемента)

Улучшение технологических свойств пены при использовании добавок ПАА и КФЖ связано с их способностью увеличивать вязкость пены, а также с увеличением концентрации ПО за счет частичной адсорбции молекул стабилизатора на поверхности минеральных компонентов, что снижает «непродуктивный» расход вспенивающего компонента.

Таким образом, проведенными исследованиями установлено:

при разработке состава сырьевой смеси пенокерамики необходимо наряду с реологическими свойствами растворной части учитывать также возможность химического взаимодействия компонентов, существенно влияющего на устойчивость пеномассы;

полимерные добавки на основе КФЖ и ПАА значительно улучшают качество пены, минерализуемой частицами цементного вяжущего, и обеспечивают ее устойчивость, достаточную для формирования качественного ячеистого сырца.

Библиографический список

1. Шахова Л.Д. Некоторые аспекты исследований структурообразования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения // Строительные материалы. 2003. № 2. С. 4—7.
2. Жаростойкие пенобетоны / В.А. Береговой, Н.А. Прошина, Е.В. Королеви др. Пенза : ПГУАС, 2007. 111 с.
3. Легкий жаростойкий бетон ячеистой структуры / В.М. Горин, В.Ю. Сухов, П.В. Нехаев, и др. // Строительные материалы. 2003. № 8. С. 17—19.
4. Береговой В.А., Королев Е.В., Баженов Ю.М. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны. М. : МГСУ, 2011. 264 с.
5. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М. : Химия, 1975. 264 с.
6. Кондо Р., Даймон М. Фазовый состав затвердевшего цементного теста // VI Международный конгресс по химии цемента. Т. 2. Кн. 1. М., 1976. С. 244—258.
7. Кузнецова Т.В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы. М. : Стройиздат, 1986. 208 с.
8. Кругляков П.М., Ексерова Д.Р. Пена и пенные пленки. М. : Химия, 1990. 432 с.
9. Величко Е.Г., Комар А.Г. Рецептурно-технологические проблемы пенобетона // Строительные материалы. 2004. № 3. С. 27—31.
10. Лотов В.А., Митина Н.А. Влияние добавок на формирование межпоровой перегородки в газобетоне неавтоклавно твердения // Строительные материалы. 2003. № 3. С. 2—6.

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Об авторах: **Королев Евгений Валерьевич** — доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, директор научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии», ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, (499) 188-04-00, KorolevEV@mgsu.ru;

Береговой Виталий Александрович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных материалов, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (ФГБОУ ВПО «ПГУАС»), 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, д. 28, vabereg@rambler.ru;

Костин Дмитрий Сергеевич — аспирант кафедры строительных материалов, **ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (ФГБОУ ВПО «ПГУАС»)**, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, д. 28, kostindimas@yandex.ru.

Для цитирования: *Королев Е.В., Береговой В.А., Костин Д.С.* Влияние вида цемента на показатели пенноминеральных масс, применяемых в технологии пенокерамики // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 166—170.

E.V. Korolev, V.A. Beregovoy, D.S. Kostin

INFLUENCE OF THE CEMENT TYPE ON THE CHARACTERISTICS OF THE MINERAL FOAM APPLICABLE IN FOAMED CERAMIC TECHNOLOGIES

The subject of the research is the influence of the type of Portland cement, as well as the nature and concentration of additives that represent electrolytes and polymers, onto the foam stability. The project is implemented within the framework of the research of foamed ceramic. Detailed explanation of the influence pattern is provided.

The research performed by the authors has generated the following findings. Besides the rheological properties of the solution, chemical interaction between the mix components must be taken into account in the course of development of the best foamed ceramic mix composition, as chemical processes produce a substantial influence onto the foam stability. Polymer additives based on liquid carbamide-formaldehyde and polyacrylamide substantially improve the quality of the foam mineralized by the particles of the cement binder. They also assure the foam stability rate sufficient for the formation of a high-quality foamed material.

Key words: foam, foam concretes, foamed ceramic, Portland cement, foaming agents.

References

1. Shakhova L.D. Nekotorye aspekty issledovaniy strukturoobrazovaniya yacheistykh betonov neavtoklavnogo tverdeniya [Some Aspects of Research of Structurization of the Non-autoclaved Foamed Concrete]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2003, no. 2 (The Supplement), pp. 4—7.
2. Beregovoy V.A., Proshina N.A., Korolev E.V., Beregovoy A.M., Bolotnikova O.V. *Zharostoykie penobetonny* [Hear-resistant Foamed Concretes]. Penza, PGUAS Publ., 2007, 111 p.
3. Gorin V.M., Sukhov V.Yu., Nekhaev P.V., Khlystov A.I., Riyazov R.T. Legkiy zharostoykiy beton yacheistoy struktury [Lightweight Heat-resistant Concrete That Has a Foamed Structure]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2003, no. 8, pp. 17—19.
4. Beregovoy V.A., Korolev E.V., Bazhenov Yu.M. *Effektivnye teploizolyatsionnye penokeramobetonny* [Effective Heat-insulating Foamed Ceramic Concretes]. Moscow, MGSU Publ., 2011, 264 p.
5. Tikhomirov V.K. *Peny. Teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya* [Foams. Theory and Practice of Generation and Destruction]. Moscow, Khimiya Publ., 1975, 264 p.
6. Kondo R., Dayton M. *Fazovyy sostav zatverdevshego tsementnogo testa* [Phase Composition of the Cured Cement Grout]. VI *Mezhdunarodnyy kongress po khimii tsementa* [6th International Congress on Cement Chemistry]. Moscow, 1976, book 1, vol. 2, pp. 244—258.
7. Kuznetsova T.V. *Alyuminatnye i sul'foalyuminatnye tsementy* [Aluminate and Sulfoaluminate Cements]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986, 208 p.
8. Kruglyakov P.M., Ekserova D.R. *Pena i pennye plenki* [Foam and Foam Films]. Moscow, Khimiya Publ., 1990, 432 p.
9. Velichko E.G., Komar A.G. Retsepturno-tekhnologicheskie problemy penobetona [Problems of the Foamed Concrete Formulation and Technology]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2004, no. 3, pp. 27—31.
10. Lotov V.A., Mitina N.A. Vliyaniye dobavok na formirovaniye mezhporevovoy peregorodki v gazobetone neavtoklavnogo tverdeniya [Influence of Additives onto Formation of Interpore Partitions in the Non-autoclaved Foamed Concrete]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2003 (The Supplement), no. 3, pp. 2—6.

About the authors: **Korolev Evgeniy Valer'evich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Research and Educational Centre for Nanotechnologies, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; KorolevEV@mgsu.ru; +7 (499) 188-04-00;

Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chair, Department of Building Materials, **Penza State University of Architecture and Civil Engineering (PGUAS)**, 28 Titova St., Penza, 440028, Russian Federation; vabereg@rambler.ru, +7 (8412) 92-94-10;

Kostin Dmitriy Sergeevich — postgraduate student, Department of Building Materials, **Penza State University of Architecture and Civil Engineering (PGUAS)**, 28 Titova St., Penza, 440028, Russian Federation; kostindimas@yandex.ru, +7 (8412) 92-94-10.

For citation: Korolev E.V., Beregovoy V.A., Kostin D.S. Vliyaniye vida tsementa na pokazateli penomineral'nykh mass, primenyaemykh v tekhnologii penokeramiki [Influence of the Cement Type on the Characteristics of the Mineral Foam Applicable in Foamed Ceramic Technologies]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 10, pp. 166—170.