

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5c50623b8c5938.64374046

^{1,*}Тарасенко В.Н.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru

К ВОПРОСУ О СТАБИЛЬНОСТИ ПЕННОЙ МАТРИЦЫ В ПЕНОБЕТОНЕ

Аннотация. В статье изложено влияние добавок – сульфатов на основные свойства пен (устойчивость, кратность, однородность, синерезис) с целью их дальнейшего использования в производстве неавтоклавногo пенобетона. Для исследований были выбраны ускорители схватывания цемента с целью возможной интенсификации литьевой технологии ячеистых бетонов. Решение данной проблемы лежит в области оценки основных параметров смешения, выборе сырьевых материалов, доступности добавок и общей технологичности процесса производства. В статье уточнено влияние ускорителей схватывания совместно с добавками, стабилизаторами пенной матрицы, на стойкость, кратность и синерезис. Отдельно рассмотрено влияние рН-среды на первичные характеристики пен, полученных на основе пенообразователя «Пеностром». Выявлены закономерности влияния константы гидролиза добавки на кратность получаемой пены, оценивались возможности изменения рН-показателя среды на устойчивость пенной матрицы и первичный синерезис. Даны рекомендации по использованию некоторых сульфатов совместно с загустителями пен в технологии неавтоклавногo пенобетона.

Ключевые слова: пенная матрица, структурная неоднородность, эффективность использования, стойкость, кратность, однородность, стабильность, синерезис.

Введение. Технологическая проблема интенсификации процесса схватывания неавтоклавногo пенобетона может иметь несколько путей решения: прогрев форм или повышение температуры окружающей среды или сырьевой смеси [1, 2, 3], использование ускорителей схватывания [4, 5].

Исследование влияния солей жесткости и возможности корректировки структурной вязкости и однородности системы пенобетонного массива за счет совместного введения ускорителей и стабилизирующих пену компонентов являются одним из путей решения данной проблемы. В силу различий в сырьевых материалах и отсутствие подхода по их обоснованному подбору, использование различных по природе и эффективности пенообразователей, добавок – стабилизаторов и т.д. возможности малых предприятий зачастую ограничены, высокая конкуренция на рынке строительных материалов и высокая себестоимость стали основными сдерживающими факторами на пути к улучшению технологичности процесса производства литьевого пенобетона.

Основная часть. В работе [6] показано, что максимум высоты столба пены из растворов алкилсульфатов натрия соответствует определенной концентрации электролита, причем пенообразующая способность обратно пропорциональна радиусу гидратированных одновалентных катионов электролита. Увеличение заряда

катиона также повышает пенообразующую способность алкилсульфатов [7]. В работе [8] показано, что введение электролитов оказывает различное влияние на стабильность пузырьков пены. Если адсорбционный слой не насыщен молекулами ПАВ, введение электролита несколько повышает стабильность пузырьков пены, что подтверждается опытами.

Для исследований были выбраны соли электролитов, ускоряющие процессы твердения цемента: сульфаты аммония, калия, натрия, магния. Концентрация добавок варьировалась в пределах 0,5...2 % с шагом 0,5 %. Для исследований использовали пенообразователи АОС и «Пеностром» в рабочей концентрации 0,08 % [8, 9] (табл. 1).

Наилучшим образом в пенной системе анионного пенообразователя АОС работает 1...1,5 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, позволяющий увеличить стойкость пены на 10...25 %, увеличить кратность до 20...24. MgSO_4 в указанной концентрации позволяет получить лишь низкократные пены (кратность 7–8,3), что является недостаточным для производства пенобетона. Na_2SO_4 в исследуемом интервале концентраций повышает кратность пены на основе АОС, но стабильность системы в целом ухудшается. K_2SO_4 в количестве 0,5...1 % позволил увеличить стойкость пены практически до 6,4 ч (на 60 %) (рис. 1). Есть основание предполагать, что введение подобных добавок ускорит процесс схватывания и твердения пенобетонной смеси.

Таблица 1

Влияние электролитов на стойкость пен анионного пенообразователя АОС (концентрация пенообразователя 0,08 %, стойкость «чистой» пены 4 часа, кратность – 13,7)

Название соли	Характеристики пен при введении соли электролита, %							
	0,5		1,0		1,5		2,0	
	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность
(NH ₄) ₂ SO ₄	4-10	19,7	4-20	21,4	5-00	24,3	5-10	13,7
MgSO ₄	5-20	7,1	6-40	8,3	5-20	7,1	5-00	14,3
Na ₂ SO ₄	3-00	15,1	3-40	24,6	3-00	27,7	3-00	27,4
K ₂ SO ₄	5-40	8,3	5-55	24,6	4-20	21,1	4-06	14,6

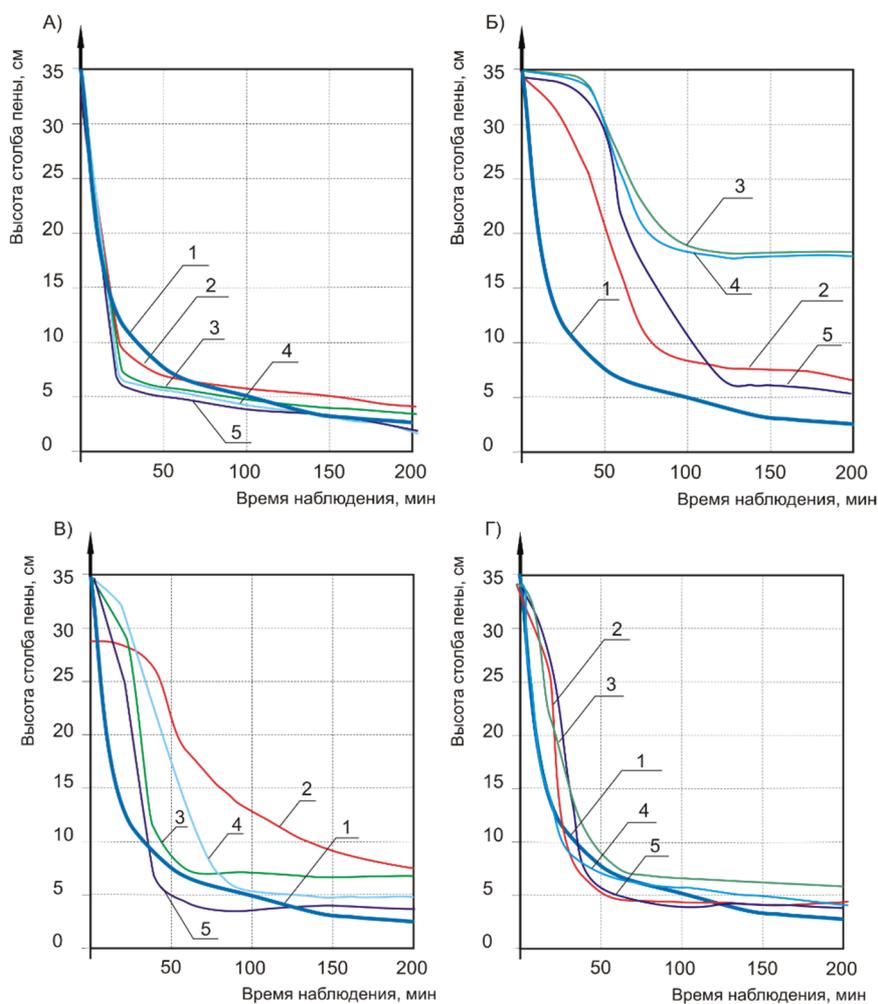


Рис. 1. Влияние солей электролитов на устойчивость пен анионного пенообразователя АОС, где в качестве добавки использован: А – (NH₄)₂SO₄; Б – MgSO₄; В – K₂SO₄; Г – Na₂SO₄; при этом концентрация добавки в системе составляла: 1 – 0 %; 2 – 0,5 %; 3 – 1,0 %; 4 – 1,5 %; 5 – 2,0 %.

Пенообразователь «Пеностром» представляет собой смесь сульфата натрия с добавлением стабилизирующих компонентов. Изучено влияние добавок – электролитов сульфатов на основные характеристики пен (табл. 2).

Сравнивая основные показатели пен, полученных на основе АОС и «Пеностром» следует

отметить, что пены «Пеностром» обладают изначально меньшей стойкостью при сравнимой кратности. Оценивая действие сульфатов на основные характеристики пен следует отметить, что увеличение их концентрации в системе негативно влияет на устойчивость пен, однако, первичный объем пены возрастает на 15–20 %.

Таблица 2

**Влияние электролитов на стойкость пен анионного пенообразователя «Пеностром»
(концентрация пенообразователя 0,08 %, стойкость «чистой» пены 2-30 часа, кратность – 14,3)**

Название соли	Характеристики пен при введении соли электролита, %							
	0,5		1,0		1,5		2,0	
	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность
(NH ₄) ₂ SO ₄	2-20	17,4	2-00	17,1	1-45	16,8	0-50	15,9
MgSO ₄	2-40	14,9	2-20	16,4	1-50	16,5	1-25	16,7
Na ₂ SO ₄	3-40	14,8	3-10	15,1	2-10	15,7	1-45	15,7
K ₂ SO ₄	2-45	15,7	2-25	16,3	2-55	17,2	1-50	16,8

Влияние солей жесткости особенно заметно для поверхностно-активных соединений, содержащих в алкильной цепи 12 и более атомов углерода [1]. Растворы соединений с 10 атомами углерода в молекуле менее подвержены действию солей жесткости. Первичные и вторичные алкилсульфаты и алкилсульфонаты обладают пониженной вспениваемостью в жесткой воде, неионогенные ПАВ не снижают в ней пенообразующую способность [10]. Для улучшения пенообразующей способности растворов ПАВ в различных условиях применения в состав композиций вводят специальные добавки (например, фосфаты, увеличивающие объем пены и ее стабильность, карбоксиметилцеллюлозу, полиакриамид, поливиниловый спирт, гидролизованные белки, латексы [11–13]). Эти вещества, увеличивая вязкость раствора и пенных пленок способствуют замедлению синерезиса. Пены из растворов алкилсульфонатов натрия стабилизируются жирными спиртами и некоторыми эфирами, в при-

сутствии которых резко снижается проницаемость пленок для воздуха и увеличивается вязкость поверхностного слоя, однако это проявляется в очень узкой области концентраций.

Добавки – стабилизаторы пенной матрицы вызывают значительное снижение критической концентрации мицеллообразования раствора ПАВ. Наиболее эффективны те, в молекуле которых имеются неразветвленная цепь и полярные группы, способные образовывать водородные связи с молекулами воды (-ОН, -NH₂, =NH и др.). Если в растворе содержатся ПАВ различного типа, эффект стабилизации может быть обусловлен образованием смешанных мицелл, состоящих из молекул неионогенного и анионного ПАВ.

Влияние pH-среды водных растворов ПАВ изучалось многими авторами [4, 7, 11, 13]. При этом следует отметить, что изменение pH-среды от нейтральной к слабокислой (табл. 3) является критичным для устойчивости пен, полученных на основе «Пеностром» (рис. 2).

Таблица 3

**Влияние концентрации электролитов в растворах ПАВ на pH-среды
(концентрация пенообразователя 0,08%)**

Название соли	Константа диссоциации вещества [2]	Расчетное значение константы Гидролиза K _{гидр.}	Логарифмическое значение константы гидролиза (-log K _{гидр.})	Расчетный показатель pH-раствора при концентрации электролита в системе, мас. %		
				0,5	1,0	1,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,79×10 ⁻⁵	0,0559×10 ⁻⁸	0,301	5,81	5,65	5,57
MgSO ₄	2,5×10 ⁻³	0,400×10 ⁻¹¹	2,397	7,08	6,93	6,84
Na ₂ SO ₄	5,9	1,695×10 ⁻¹⁴	5,523	8,12	7,96	7,87
K ₂ SO ₄	2,9	0,344×10 ⁻¹⁴	4,795	8,50	8,35	8,26

В малых концентрациях кислотные электролиты позволяют улучшить показатели пен, полученных на основе «Пеностром». В условиях одноименности знака заряда диссоциированного электролита и молекул ПАВ адсорбция последних способствует повышению устойчивости ионостабилизированной системы за счет роста

плотности заряда частиц на границе раздела фаз «воздух – раствор». Граница раздела фаз, имеющая первичных заряд ионов от пенообразователя достраивает недостающий баланс, стремится к ионостабилизированным кластерным системам. При этом, чем более однороден заряд кластерной

системы по всему пузырьку, тем более стабильна система в целом.

Несомненно, следует учитывать константу гидролиза химической добавки, вводимой в пен-

ную матрицу и показатель рН-среды при использовании в производстве пенобетона неавтоклавного твердения с использованием ионогенного пенообразователя.

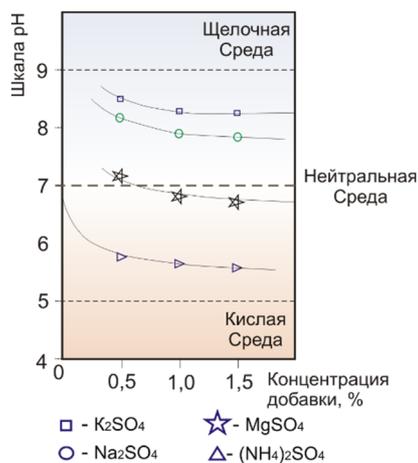


Рис. 2. Влияние концентрации сульфата на pH-среды раствора анионного пенообразователя.

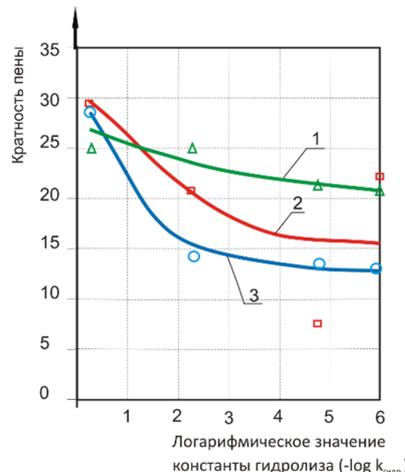


Рис. 3. Влияние константы гидролиза электролита в водном растворе пенообразователя на кратность пены при его концентрации в системе: 1 – 1%; 2 – 1,5%; 3 – 2%.

Оценка синерезиса (рис. 4) указывает на открытый характер истечения жидкости из пены. Каналы Плато – Гиббса при введении сульфатов достаточно широки, за первые 40–60 минут наблюдения пенная матрица теряет до 60–80 % первичного водного раствора, переходит из монодисперсной в полидисперсную и далее ее стойкость лимитируется лишь внешними факторами (температура окружающей среды, раствора и т.д.), рассмотренными ранее в [13].

Увеличение стойкости пен без реструкции матрицы необходимо для обеспечения стабильности свойств пенобетонных изделий на производстве. Отталкиваться в этом случае следует от времени начала схватывания, которое для пенобетонов неавтоклавного твердения должно быть не более 3 часов. В этот период пенная матрица должна обладать максимальной стабильностью и жесткостью.

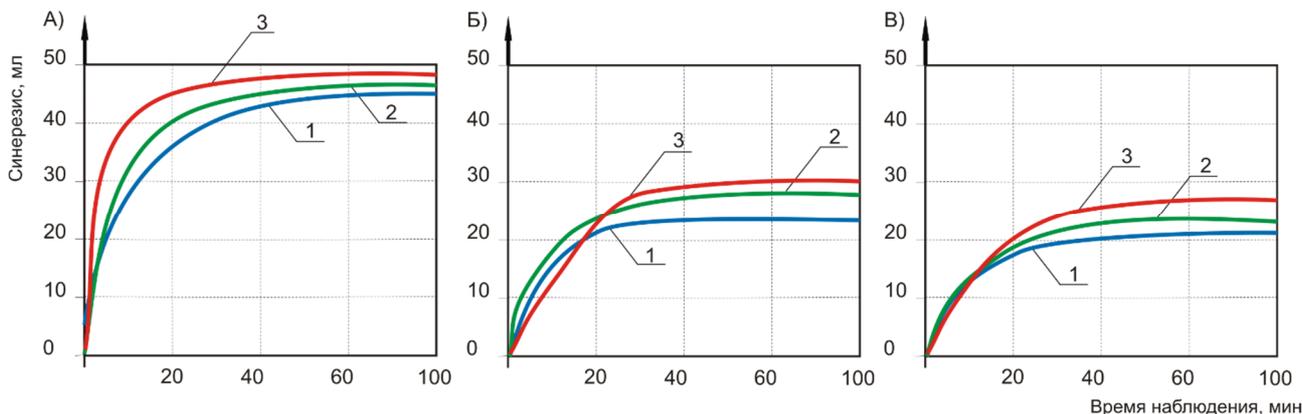


Рис. 4. Истечение жидкости из пены, приготовленной на пенообразователе «Пеностром» с введением стабилизатора пенной матрицы – гидролизованного крахмала при его концентрации в системе: А – 0%; Б – 0,05%; В – 0,10%; так же варьировалась концентрация K₂SO₄: 1 – 0,5%; 2 – 1%; 3 – 1,5%

В качестве стабилизатора пенной структуры использовался гидролизованный крахмал в количестве от 0,5 до 2% с шагом 0,5. Истечение жидкости из пены при этом уменьшилось в первые 60

минут наблюдения более чем в два раза. Структура пенной матрицы при этом стала более однородной (рис. 5) и монодисперсной.

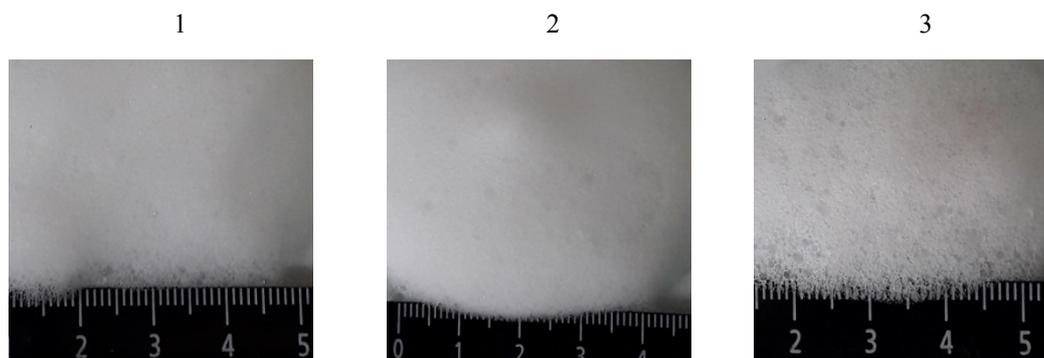


Рис. 5. Влияние добавки – стабилизатора пенной матрицы на структуру пены, изготовленной с использованием 0,08 % «Пеностром» при концентрации гидролизованного крахмала: 1 – 0,5 %; 2 – 1,0 %; 3 – 1,5 %.

Через 12 часов наблюдения синерезис достигал 35 % общего объема первичного раствора. При этом пена перешла в разряд жестких с четко сформированным каркасом.

Использование добавки, повышающей вязкость пенной матрицы, позволяет частично нивелировать негативное воздействие солей жесткости, снизить синерезис в 2 раза, добиться показателей устойчивости (6...8 часов) и однородности пенной матрицы. Повышение вязкости раствора позволяет предложить более высокие эксплуатационные характеристики пен, в том числе, и при производстве пенобетона.

Заключение. Сульфаты аммония, натрия и кальция сравнительно слабо влияют на кратность и стойкость пен, однако не все они представляют интерес, как добавки к пенобетонным смесям, так как ион аммония разлагается в щелочной среде портландцементных систем с выделением газообразного аммиака. Сульфат магния в оптимальной дозировке 1–1,5 % хорошо стабилизирует пену, но в жидкой фазе идет реакция выпадения в осадок гидроксида магния. В связи с этим соли магния не представляют интереса, как добавки в пенобетон. Сульфат калия в количестве 0,5 % оказывает стабилизирующее действие на пену, особенно в первый час, поэтому его можно использовать в качестве ускорителя схватывания пенобетона неавтоклавно твердения, обладающего стабилизирующим эффектом. Повышение вязкости раствора за счет совместного введения соли электролита в гидролизованного крахмала позволяет улучшить основные характеристики пен в 2–2,5 раза.

Выводы. Влияние солей электролитов на пенную матрицу неоднозначно, в качестве добавок при производстве ячеистых пенобетонов их следует использовать, оценив предварительно возможности взаимодействия с отдельными пенообразователями, стабилизирующими и ускоряющими процесс твердения добавками. Следует учитывать, что данные, приведенные в работе,

были получены с использованием анионного пенообразователя.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркин А.П. Ячеистые бетоны, научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строительные материалы. № 5. 1995. С. 57.
2. Новый справочник химика и технолога [Электронный ресурс]: электронная книга / под ред. Г. М. Островского [и др.]. М.: НПО «Профессионал», 2007.
3. Муромский К.П. Ячеистый бетон в наружных стенах зданий // Бетон и железобетон. № 5. 1996. С. 31–32.
4. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1983. 265 с.
5. Сватовская Л.Б., Овчинникова В.П., Соловьева В.С. и др. Управление активностью цементных смесей с использованием добавок типа «Элби» // Цемент. №2. 1996. С. 28–32.
6. Рахимбаев Ш.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н., Аниканова Т.В. К вопросу снижения усадочных деформаций изделий из пенобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 12. С. 41–44.
7. Тарасенко В.Н. Ячеистые бетоны в малоэтажном жилищном строительстве // в сб.: Научный поиск в современном мире. Сборник материалов 10-й международной науч.-практ. конф. 2015. С. 142–143.
8. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергосберегающие технологии высокопоризованных бетонов // в сб.: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Мат. обл. науч.-практ. конф. в 3-х ч. 2011. С. 98–102.

9. Тарасенко В.Н. Прогнозирование звукоизолирующих свойств ячеистобетонных композитов // В сб.: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Сб. докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3 частях. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 135–140.

10. Тарасенко В.Н. Неразрушающие методы контроля ячеистобетонных строительных материалов // В сб.: Научно-технические технологии и инновации. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 194–198.

Информация об авторах

Тарасенко Виктория Николаевна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Тарасенко В.Н., 2019

^{1,*}*Tarasenko V.N.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

**E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru*

TO THE ISSUE OF FOAMED MATRIX STABILITY IN THE FOAM CONCRETE

Abstract. *The article describes the effect of additives – sulfates on the basic properties of foams (stability, multiplicity, uniformity, syneresis) for their further use in the production of non-autoclaved foam concrete. Accelerators of cement setting are chosen for the research in order to intensify the injection molding technology of cellular concrete. The solution to this problem lies in the evaluation of main parameters of mixing, the choice of raw materials, the availability of additives and the overall process of production. The article clarifies the influence of setting accelerators together with additives, foam matrix stabilizers, on stability, multiplicity and syneresis. The influence of pH-medium on the primary characteristics of foams obtained on the basis of foaming agent "Penostrom" is considered. The effects of the additive hydrolysis constant on the multiplicity of the foam are identified; the possibilities of changing the pH of the medium on the stability of the foam matrix and primary syneresis are evaluated. Recommendations on the use of some sulfates together with foam thickeners in the technology of non-autoclaved foam concrete are given.*

Keyword: *foam matrix, structural heterogeneity, efficiency of use, resistance, multiplicity, uniformity, stability, syneresis.*

REFERENCES

1. Merkin A.P. Cellular concrete, scientific and practical background for further development. Construction and building materials, 1995, no. 5, p. 57.

2. New Handbook of chemist and technologist [Electronic resource]: e-book / pod. ed. G.M. Ostrovsky [et al.]. M.: NGO "Professional", 2007.

3. Muromsky K.P. Cellular concrete in the outer walls of buildings. Concrete and reinforced concrete, no. 5, 1996, pp. 31–32.

11. Махамбетова У.К., Солтамбеков Т.К., Естемесов З.А. Современные пенобетоны. Под ред. П.Г. Комохова. С-Пб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщ., 1997. 157 с.

12. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9–16.

13. Повышение эффективности производства неавтоклавных пенобетонов с заданными свойствами: диссертация ... доктора технических наук: 05.23.05 / Шахова Любовь Дмитриевна. Белгород, 2007. 417 с.

4. Tikhomirov V.K. Foam. Theory and practice of their production and destruction. 2-e Izd., pererab. I DOP. M.: Chemistry, 1983, 265 p.

5. Svatovskaya L.B., Ovchinnikov V.P., Soloviev V.S., etc. Management activity of the cement mixtures with the use of additives of type "ELBI". Tsement, 1996, no. 2, pp. 28–32.

6. Rakhimbaev Sh.M., Degtev I., Tarasenko V.N., Anikanova T.V. On the reduction of shrinkage

deformations of foam concrete products. Proceedings of higher educational institutions. Construction, 2007, no. 12, pp. 41–44.

7. Tarasenko V.N. Cellular concrete in low-rise housing construction. In sat.: Scientific search in the modern world. Collection of materials of the 10th international scientific.- prakt. Conf. 2015, pp. 142–143.

8. Suleymanova L.A., Kara K.A. Energy-Saving technologies of high-level concrete. V SB.: Belgorod region: past, present, future. Mate. obl. nauch.-prakt. Conf. at 3: 2011, pp. 98–102.

9. Tarasenko V.N. Prediction of sound insulation properties of cellular concrete composites. In sat.: Intelligent building composites for green building. Sat. reports of the International scientific-practical conference devoted to the 70th anniversary of the honored scientist of the Russian Federation, corresponding member of RAASN, doctor of technical Sciences, Professor Valery Stanislavovich Lesovik:

in 3 parts. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov, 2016, pp. 135–140.

10. Tarasenko V.N. Non-destructive methods of control of cellular concrete building materials. In sat.: High technology and innovation. Collection of reports of the International scientific-practical conference, 2016, pp. 194–198.

11. Makhambetova U.K., Sultanbekov T.K., Estemesov Z.A. Modern foam concrete. Edited By P. G. Komokhov. S-Pb.: Peter. State University of ways of messages., 1997, 157 p.

12. Suleymanova L.A. High-Quality energy-saving and competitive building materials and constructions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 1, pp. 9–16.

13. Improving the efficiency of production of non-autoclaved foam concrete with desired properties: thesis ... doctor of technical Sciences: 05.23.05. Shakhova Lyubov Dmitrievna. Belgorod, 2007, 417 p.

Information about the authors

Tarasenko, Viktoria N. PhD, Assistant professor. E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Тарасенко В.Н. К вопросу о стабильности пенной матрицы в пенобетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 112–118. DOI: 10.12737/article_5c50623b8c5938.64374046

For citation:

Tarasenko V.N. To the issue of foamed matrix stability in the foam concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 112–118. DOI: 10.12737/article_5c50623b8c5938.64374046