

УДК 691.33

**Ерусланова Э.В.** – аспирант

**Красникова Н.М.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [knm0104@mail.ru](mailto:knm0104@mail.ru)

**Хозин В.Г.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [khozin@kgasu.ru](mailto:khozin@kgasu.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

## **Безпрогревные легкие бетоны на основе наномодифицированной сухой смеси для пенобетона<sup>1</sup>**

### **Аннотация**

Проведена наномодификация сухой пенобетонной смеси (ССПБ) и на ее основе подобраны составы пенобетона с легкими заполнителями (керамзитовым гравием, гранулами пеностекла и полистирола). Установлено, что добавка кремнезоля в количестве 0,001 % от массы цемента повышает прочность пенобетона в среднем на 15 %. Разработанные пенобетоны с пористыми заполнителями теплоизоляционно-конструкционного назначения с плотностью от 300 кг/м<sup>3</sup> до 750 кг/м<sup>3</sup> имеют коэффициент конструктивного качества на 30 % и больше, чем пенобетон без заполнителя.

**Ключевые слова:** сухая смесь, неавтоклавный пенобетон, кремнезоль, легкий заполнитель, коэффициент конструктивного качества.

### **Введение**

Основными стеновыми материалами, используемыми в настоящее время, являются силикатный и керамический кирпичи и блоки, пустотные блоки, наружные стеновые панели КПД, монолитные стены, пено- и газобетонные мелкоштучные блоки, а также блоки из керамзитобетона. Чтобы добиться нужного теплоизолирующего эффекта в наружные стены вводят дополнительный слой из эффективного утеплителя (пенополистирольные и минераловатные плиты и др.), либо возводят целиком из материала с низкой теплопроводностью. В последние десятилетия неуклонно растет доля применения ячеистых бетонов в строительстве, поскольку они являются объективно самыми дешевыми стеновыми материалами [1, 2].

Ранее [3] была показана эффективность нового способа приготовления пенобетона и изделий из него из готовой сухой смеси, включающий пенообразователь. В развитии этой темы авторы показали возможность модифицирования сухой смеси нанодобавками и ее технологическую совместимость с легкими заполнителями. Результаты, отраженные в работе [4], показывают практический интерес использования ячеистых бетонов с пористыми заполнителями, т.к. введение до 50 % заполнителя может снизить до 60 % усадочные деформации неавтоклавного пенобетона. Следует отметить, что А.А. Брюшков уже в 1931 г. предложил совместно использовать ячеистый и легкие бетоны [5]. В качестве заполнителей для пено- и газобетона предлагалось использовать пемзу и шлаки. По данным Б.С. Комиссаренко для производства эффективных конструктивно-теплоизоляционных бетонов в настоящее время необходимы пористые заполнители с насыпной плотностью не более 600 кг/м<sup>3</sup> [6, 7]. Возможными заполнителями, отвечающими требованию по плотности, являются керамзитовые гравий, щебень и песок, гранулированное пеностекло и вспененные гранулы пенополистирола. Следует отметить, что нормативные документы на нетрадиционные легкие заполнители, например, из пеностекла, отсутствуют, поэтому исследования по их использованию актуальны.

### **Методы и материалы**

В работе использовались следующие материалы: для приготовления сухих смесей: портландцемент – ЦЕМ I 42,5Б производства ОАО «Мордовцемент» (по ГОСТ 31108-

<sup>1</sup>Работа выполнена по заданию № 7.1955.2014/К в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации.

2003), пенообразователь – Foamset по ASTM 869-80, в качестве модификатора – промышленно выпускаемый кремнезоль КЗ – ТМ-30 (ООО «НТЦ КОМПАС»).

Методы определения реологических и технологических свойств:

- подвижность пенобетонной и легковесной смеси определяли по расплыву конуса Суттарда по СН277-80 «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона»;
- плотность пенобетонной и легковесной смеси по ГОСТ 27005-2014 «Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности».

Методы определения физико-механических характеристик:

- распределение частиц по размеру – методом отраженного лазерного света на лазерном анализаторе «HORIBA L950».
- прочность при сжатии образцов размером 100x100x100 мм, 150x150x150 мм, по ГОСТ10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

### Результаты

На основании полученных результатов на цементном камне [8,9] были проведены исследования в совместной системе цемент-пенообразователь-кремнезоль. Приготовление модифицированной сухой смеси и «базового» состава сухой смеси осуществляли в лабораторной вибрационно-шаровой мельнице СМВ-3 с истирающим и ударно-вибрационным измельчением [10] (табл. 1). Анализ распределения частиц по размеру (РЧР) проводили на лазерном анализаторе «Horiba L950». При этом удельная поверхность составляла  $450 \pm 100 \text{ м}^2/\text{г}$  (рис. 1-2).

Таблица 1

Состав сухой смеси

Обозначение сухой смеси	Средняя плотность пенобетона, кг/м <sup>3</sup>	Расход материалов на 1 т сухой смеси		
		цемент, кг	кремнезоль, кг	Пенообразователь, л
ССПБ 400-базовый	400	982	-	8,8
ССПБ 400-модифицированный	400	982	0,00982	8,8

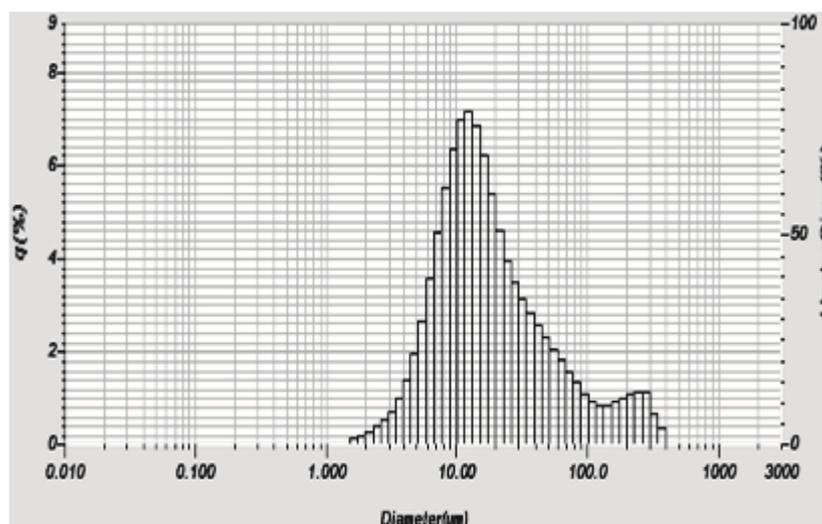


Рис. 1. Распределение частиц по размерам (РЧР) базового состава сухой смеси

Из рис. 1. видно, что распределение частиц ПЦ имеет бимодальный характер, максимальное содержание частиц находится в интервале 8-30 мкм и составляет 59 % общего объема. При этом минимальный размер частиц составляет 1,729 мкм, а максимальный 394,244 мкм.

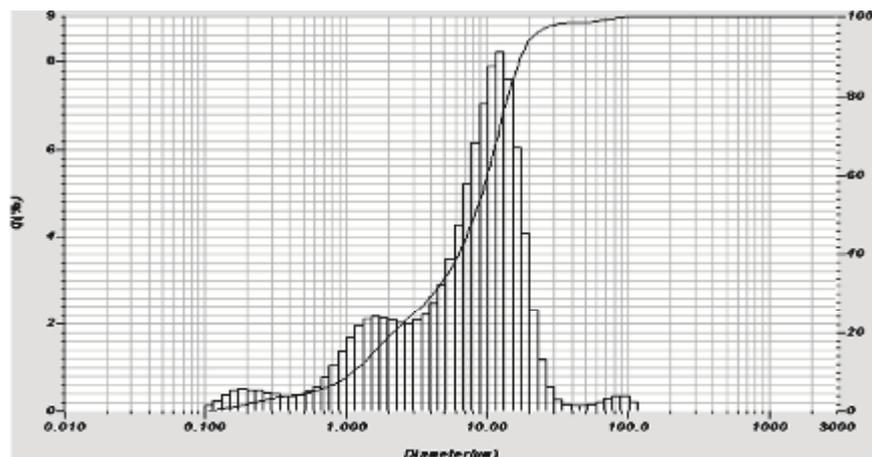


Рис. 2. Распределение частиц по размерам (РЧР) модифицированного состава сухой смеси

Из рис. 2. видно, что кривая РЧР модифицированной сухой смеси имеет тримодальный характер, содержание зерен мельче 0,1-5 мкм – 34 %, зерен размерами 5-10 мкм – 26 %, зерен размерами 10-20 мкм – 33 %, зерен размерами более 20 мкм – 7 %. Следует отметить, что содержание наномодификатора – кремнезоля КЗ-ТМ-30 в количестве 0,001 % не отразилось на смещении «левого плеча» кривой к наноразмерной области (менее 100 нм). При этом полученная кривая распределения частиц по размеру обеспечивает быстрый набор прочности, т.к. частицы размерами 0-5 мкм оказывают решающее влияние на рост прочности пенобетона из сухой смеси впервые часы твердения. Частицы размером 5-10 мкм влияют на прочность – в 3-7 суточном возрасте, а фракция 10-20 мкм определяет прочность в 28 суточном и более позднем возрасте [11] (табл. 2).

Таблица 2

Прочность пенобетона из сухих смесей

Наименование материала	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии 28 сут, МПа
Пенобетон из сухой смеси	400	1,5-1,7
Пенобетон из модифицированной пенобетонной смеси	400	1,9-2,0

Из табл. 2 видно, что модифицирование сухой смеси для неавтоклавного пенобетона, позволяет повысить прочность в среднем на 15 %.

Выше уже отмечалось, что для теплоизоляционных бетонов в настоящее время необходимы пористые заполнители с насыпной плотностью не более 600 кг/м<sup>3</sup>.

В настоящее время создан целый ряд разновидностей легких бетонов, получение которых основано на сочетании пористых заполнителей с поризованной растворной частью, которые можно условно разделить в зависимости от способов поризации на три основные группы:

- 1) беспесчаные, поризованные пеной;
- 2) беспесчаные или с песком, поризованные газообразующей добавкой;
- 3) песчаные, поризованные воздухововлекающими добавками.

В нашей работе, получение легких бетонов на основе сухих смесей для неавтоклавного пенобетона относится к первой группе.

Анализ работ [12, 13] по поризации, показал, что поризацию растворной части можно проводить следующими способами:

- 1 – добавлением технической пены при перемешивании смесей;
- 2 – перемешиванием цементного теста с пеной, а затем поризованного теста с пористым заполнителем;
- 3 – добавление пенообразующих веществ при перемешивании смесей;
- 4 – перемешивание смеси пенообразующего вещества, воды и вяжущего с последующим добавлением пористого заполнителя.

Все описанные способы относятся к раздельному приготовлению пеномассы и легкого заполнителя. Следует отметить, что при этом происходит разрушение большого количества пены. В связи с этим встает задача одностадийного перемешивания – образования пены в процессе приготовления пенобетона с заполнителями.

Этим требованием отвечает приготовление легкого бетона на основе сухих смесей для неавтоклавного пенобетона [3].

Для приготовления пенобетона из сухой смеси требуются скоростные смесители, с частотой 1500 об/мин, но высокочастотное перемешивание приводит к расслоению образующей пеномассы и заполнителя. Нами выявлено, что целесообразно для приготовления легкого бетона использовать смеситель с частотой вращения лопастей 500 об/мин. Влияние вида заполнителей на прочность при сжатии легкого бетона из сухой смеси показано в табл. 3. Эффективность легких бетонов целесообразно оценивать и сравнивать по коэффициенту конструктивного качества (ККК). Этот коэффициент обуславливает снижение веса сооружений без снижения их прочности [14, 15]. ККК, равен отношению предела прочности бетона при сжатии к его средней плотности, который также приведен в табл. 3.

Таблица 3

**Влияние вида заполнителей на прочность легкого бетона**

Наименование заполнителя	Фракция заполнителя, мм	Прочность при сжатии МПа	Наименование материала	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	ККК·10 <sup>-3</sup> (R/D), м								
Керамзитовый гравий	5-10	П100	Легкий бетон на керамзитовом гравии	750	3,11-3,68	4,1-4,9								
	10-20	П75		650			2,87-3,45	4,4-5,3						
Гранулированное пеностекло	0-2	2,61	Легкий бетон на гранулированном пеностекле	550	4,6-5,18	8,3-9,4								
	0-5	2,26		500			3,91-4,49	7,8-8,98						
	7-20	0,79		400					2,3-3,22	5,75-8,05				
	5-7	0,78		450							2,53-3,45	5,62-7,6		
	1,25-2,5	2,26		500									3,22-3,68	6,44-7,36
	2,5-5	2,03		450										
Вспененные гранулы полистирола	4-6	-	Легкий бетон на вспененных гранулах полистирола	300	0,92-1,38	3,0- 4,6								

В табл. 4 приведены нормативные значения коэффициента конструктивного качества легких бетонов.

Таблица 4

**Нормативные значения коэффициента конструктивного качества**

Наименование материала	Нормативный документ	Нормативное значение прочности	ККК·10 <sup>-3</sup> (R/D), м
1	2	3	4
Керамзитобетон D700	Гост 25820-2000	Класс бетона по прочности на сжатие – В2,5-В3,5 (3,27-4,58 МПа)	4,67-6,54
Керамзитобетон D600	Гост 25820-2000	Класс бетона по прочности на сжатие – В2,5 (3,27 МПа)	5,45
1	2	3	4
Керамзитобетон D500	Гост 25820-2000	Класс бетона по прочности на сжатие – В1,0-В2,0 (1,45 МПа- 2,9 МПа)	2,9- 5,8
Конструкционно-теплоизоляционный автоклавного твердения D700	ГОСТ 31359-2007	Класс по прочности на сжатие не ниже В1,5 (2,17 МПа)	3,1
Полистиролбетон D300 – D400	ГОСТ 51263-2012	Класс по прочности на сжатие не ниже В0,5-В 0,75 (0,75-1,5 МПа)	1,85-2,75

Анализ табл. 2-3 показал, что у всех видов, разработанных легких бетонов ККК превышает нормативные значения на 30 % и более. При этом, максимальное значение ККК достигнуто у легкого бетона на гранулированном пеностекле.

### **Заключение**

Таким образом, показаны высокий упрочняющий эффект модифицирования пенобетона из сухой смеси наноразмерным кремнеземом и практическая целесообразность использования при этом пористых легких заполнителей (керамических, силикатных, полимерных).

### **Список библиографических ссылок**

1. Беляев В.С., Ахмяров Т.А. Энергоэффективность крупнопанельных зданий // Жилищное строительство, 2013, № 4. – С. 47-49.
2. Рахимов Р.Р., Рахимова Н.Р. Строительство и минеральные вяжущего прошлого, настоящего, будущего // Строительные материалы, 2013, № 2015. – С. 57-59.
3. З.Красиникова Н.М., Хозин В.Г. Новый способ приготовления пенобетона Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура», 2010, Вып. 10, № 15 (191). – С. 49-50.
4. Яценко Ю.В. Энергоэффективные строительные материалы // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2015, № 4. – С. 24-27.
5. Брюшков А.А. Газо- и пенобетоны. ОНТИ, 1930.
6. Комиссаренко Б.С., Чикноворьян А.Г. Керамзитопенобетон – материал для наружных стеновых панелей // Строительные материалы, 1999, № 4. – С. 15-16.
7. Комиссаренко Б.С. Перспективы развития производства керамзита и керамзитобетона с учетом современных задач стройиндустрии // Строительные материалы, 2000, № 6. – С. 22-23.
8. Красиникова Н.М., Кашапов Р.Р., Морозов Н.М. Влияние кремнезоля на фазовый состав гидратированного цемента с полифункциональной добавкой // Известия КГАСУ, 2016, № 1 (35). – С. 172-177.
9. Степанов С.В., Морозов Н.М., Хозин В.Г. Исследование фазового состава гидратированного цемента с комплексным ускорителем твердения // Известия КГАСУ, 2015, № 1 (31). – С. 142-147.
10. Красиникова Н.М., Хозина Е.В., Хозин В.Г., Морозов Н.М. Исследование размолоспособности сухих смесей для пенобетона // Вестник технологического университета, 2015, Т. 18, № 8. – С. 187-190.
11. Липилин А.Б., Коремюгина Н.В., Векслер М.В. Инновационные технологии снижения расхода цемента в строительстве на основе использования сырьевых ресурсов Тульской области // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2007, № 12. – С. 14-15.
12. Меркин А.П. Научные и практические основы улучшения структуры и свойства поризованных бетонов: Автореф. дис. д.т.н. – М., 1972. – 44 с.
13. Меркин А.П. Ячеистые бетоны: научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строит. Материалы, 1995, № 2. – С. 11-15.
14. Хозин В.Г., Морозов Н.М., Мугинов Х.Г. Особенности модифицирования песчаных бетонов // Строительные материалы, 2010, № 9. – С. 72-73.
15. Хозин В.Г., Морозов Н.М., Боровских И.В., Степанов С.В. Высокопрочные цементные бетоны для дорожного строительства // Строительные материалы, 2009, № 11. – С. 15-17.

**Eruslanova E.V.** – post-graduate student

**Krasinikova N.M.** – candidate of technical science, senior lecturer

E-mail: [knm0104@mail.ru](mailto:knm0104@mail.ru)

**Khozin V.G.** – doctor of technical science, professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## No warm-lightweight concrete on the basis of nano-modified dry mixtures for foam

### Resume

The main wall material used in the present time, are silicate and ceramic bricks and blocks, hollow blocks, exterior wall panels efficiency, monolithic wall, foam and aerated concrete blocks, small-pieces, as well as blocks of expanded clay. It has shown earlier the effectiveness of a new method of preparation of foam concrete and products made from the finished dry mixture comprising blowing agent, and a practical interest in the use of cellular concrete with porous aggregates. Results demonstrated the possibility of modifying the dry mixture nanoadditives and its technological compatibility with lightweight aggregates.

This article shows the possibility to update a dry foam concrete mix (DFCM) and the joint work of the foam it with lightweight aggregates. It was established that the modification of its addition in an amount of 0,001 % by weight of cement improves strength of the resulting foam on average 15 %. Designed lightweight concrete heat-insulating and heat-insulating-constructional purposes showed an increase of constructive quality factor of 30 % or more.

**Keywords:** dry mix, non-autoclave foam concrete. silica sol, lightweight aggregate, structural quality factor.

### Reference list

1. Belyaev V.S., Akhmyarov T.A. Energy efficiency of large-panel buildings // Housing construction, 2013, № 4. – P. 47-49.
2. Rakhimov R.R., Rakhimova N.R. Construction and mineral the knitting past, real, future // Construction materials, 2013, № 2015. – P. 57-59.
3. Krasnikova N.M., Hozin V.G. New way of preparation of foam concrete Bulletin of the Southern Ural state university. Construction and Architecture series, Issue 10, № 15 (191), 2010. – P. 49-50.
4. Yashchenko Yu.V. Power effective construction materials // Construction materials, equipment, XXI centuries technologies, 2015, № 4. – P. 24-27.
5. Bryushkov A.A. Gazo-and foam concretes. ONTI, 1930.
6. Komissarenko B.S., Chiknovoryan A.G. Claydite foam concrete– material for external wall panels // Construction materials, 1999, №. 4. – P. 15-16.
7. Komissarenko B. S. Prospects of development of production of expanded clay and a expanded clay lightweight concrete taking into account modern problems of building industry // Construction materials, 2000, № 6. – P. 22-23.
8. Krasnikova N.M., Kashapov R.R., Morozov N.M. Influence silica sol on phase composition of the hydrated cement with a multifunctional additive // News of KGASU, 2016, № 1 (35). – P. 172-177.
9. Stepanovov S.V., Morozov N.M., Khozin V.G. Research of phase composition of the hydrated cement with the complex accelerator of curing // Izvestiya KGASU, 2015, № 1 (35). – P. 142-147.
10. Krasnikova N.M., Khozin E.V., Khozin V.G., Morozov N.M. Research of a grindability of dry mixes for foam concrete // Bulletin of technological university, 2015, T. 18, № 8. – P. 187-190.
11. Lipilin A.B., Koremyugina N.V., Wexler M.V. Innovative technologies of decrease in a consumption of cement in construction on the basis of use of raw material resources Tula region // Construction materials, the equipment, technologies of the 21st century, 2007, № 12. – P. 14-15.
12. Merkin A.P. Scientific and practical bases of improvement of structure and property porous of concrete: Avtoref. yew. the Dr. Sci. Tech. – M., 1972. – 44 p.
13. Merkin A.P. Cellular concrete: // Builds scientific and practical prerequisites of further development. Materials, 1995, № 2. – P. 11-15.
14. Khozin V.G., Morozov N.M., Muginov H.G. Features of modifying of sandy concrete // Construction materials, 2010, № 9. – P. 72-73.
15. Khozin V.G., Morozov N.M., Bohr I.V., Stepanov S.V. High-strength cement concrete for road construction // Construction materials, 2009, № 11.