



## О целесообразности использования пластификаторов в производстве теплоизоляционного пенобетона

© О. В. Винокурова, А. А. Баранова

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Россия

**Резюме:** Целью работы является оптимизация состава теплоизоляционного пенобетона марки по плотности D300 неавтоклавно твердения по результатам ревизии сырьевых компонентов, используемых при изготовлении материала. При планировании эксперимента за изучаемый параметр принята прочностная характеристика пенобетона, за определяющие факторы – водоцементное отношение (В/Ц) цементного раствора (раствора матрицы) и концентрация раствора пены. Область исследования выбрана с учетом возможности формирования структуры пенобетона и обеспечения ее устойчивости. Фактор «В/Ц» рассматривался в пределах значений:  $0,60 \div 0,84$  для пенобетона без пластификатора,  $0,54 \div 0,78$  – с пластификатором. Концентрация рабочего раствора пены варьировалась в диапазоне от 1 до 9%. Образцы теплоизоляционного пенобетона размером  $100 \times 100 \times 100$  мм формовались из пенобетонной смеси, приготовленной по классической технологии. Прочность при сжатии образцов определялась разрушающим методом. В ходе работы получены результаты влияния В/Ц цементного раствора и концентрации рабочего раствора пены на прочность пенобетона с применением пластификатора на основе поликарбоксилата и без него. Определено и обосновано оптимальное количество воды для формирования пористой структуры пенобетона средней плотностью  $300 \text{ кг/м}^3$  на синтетическом пенообразователе, обеспечивающее наибольшую прочность. Сделан вывод о том, что применение гиперпластификатора в производстве пенобетона пониженной плотности нецелесообразно. Прочность при сжатии теплоизоляционного пенобетона увеличивается при повышении В/Ц. Между исследованными факторами существует взаимодействие: изменение прочности от В/Ц менее заметно при низкой концентрации раствора пены. При изготовлении теплоизоляционного пенобетона плотностью D300 на синтетическом пенообразователе и рядом портландцементе оптимальное В/Ц (с учетом воды в пене) составляет 0,8.

**Ключевые слова:** теплоизоляционный пенобетон, синтетический пенообразователь, водоцементное отношение, поликарбоксилатный гиперпластификатор, пористая структура

**Для цитирования:** Винокурова О. В., Баранова А. А. О целесообразности использования пластификаторов в производстве теплоизоляционного пенобетона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 432–439. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-432-439>.

## Feasibility of using plasticisers for producing heat insulation foam concrete

Olga V. Vinokurova, Albina A. Baranova

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

**Abstract:** Based on the audit findings of raw materials used in concrete manufacture, this study aimed to optimise the composition of non-autoclaved heat insulation foam concrete (grade D300). When planning an experiment, a strength characteristic of foam concrete was taken as a parameter, while the cement water factor (W/C) of the cement mortar (matrix) and the concentration of a foam solution were taken as determinant factors. The research area was chosen based on the foam concrete's ability to form the structure and ensure its stability. The "W/C" factor was considered within the following values:  $0.60 \div 0.84$  for foam concrete without a plasticiser,  $0.54 \div 0.78$  - with a plasticiser. The concentration of the work foam solution was varied across the range from 1 to 9%. Samples of heat insulation foam concrete with dimensions of  $100 \times 100 \times 100$  mm were moulded using a foam concrete mixture prepared according to the conventional technology. The compressive strength of the samples was determined by the destructive method. In the course of the work, the influence of W/C

of cement mortar and the concentration of foam work solution on the strength of foam concrete with and without polycarboxylate-based plasticiser was determined. The optimal amount of water was defined and substantiated to obtain the porous structure of foam concrete with an average density of  $300 \text{ kg/m}^3$  using a synthetic foaming agent, ensuring the maximum strength. It was concluded that using a superplasticiser for the production of low-density foam concrete is impractical. The compressive strength of heat insulation foam concrete increases with increasing W/C. The following correlation was observed between the investigated factors: the change in strength in the function of W/C is less prominent at a low concentration of the foam solution. To manufacture heat insulation foam concrete with a density of D300 based on synthetic foaming agent and general Portland cement, the optimal W/C (including water in the foam) should amount to 0.8.

**Keywords:** heat-insulating foam concrete, synthetic foaming agent, water-cement ratio, polycarboxylate hyperplasticizer, porous structure

**For citation:** Vinokurova O. V., Baranova A. A. Feasibility of using plasticisers for producing heat insulation foam concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):432–439. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-432-439>.

### Введение

Прочность бетона является обратной функцией водоцементного отношения (закон Абрамса). Данное утверждение прочно вошло в обиход и применяется в многочисленных методах проектирования составов тяжелого бетона [1].

Правило дало толчок развитию новых технологий по уплотнению бетона, способствовало появлению пластификаторов, гиперпластификаторов, позволяющих значительно сократить количество воды затворения и получить высокопрочные бетоны [2–5].

Применим ли этот постулат, относящийся к тяжелому бетону, в производстве теплоизоляционного пенобетона, где одним из основных сырьевых компонентов является дифильное поверхностно-активное вещество (ПАВ), изменяющее свойства поверхности, а граница раздела «воздух – жидкость» занимает значительную часть пространства пенобетона?

Результаты исследований по данному вопросу противоречивы [6–12] и требуют детальной проработки.

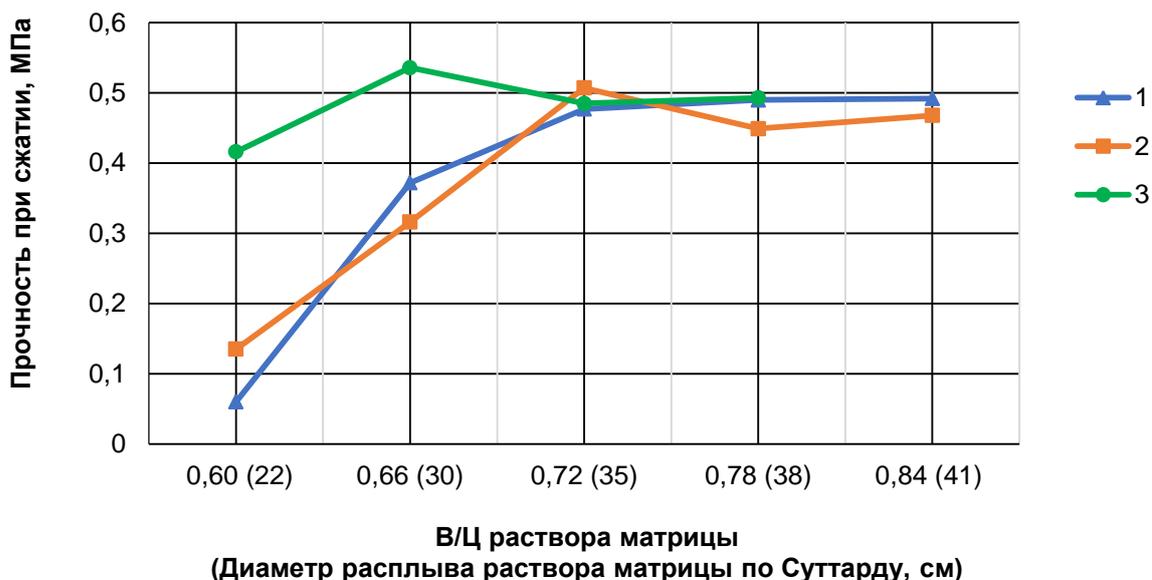
С целью получения теплоизоляционного пенобетона неавтоклавно твердения плотностью  $300 \text{ kg/m}^3$  с наибольшими прочностными характеристиками проведены исследования по определению зависимости прочности пенобетона от В/Ц раствора матрицы и концентрации раствора пены, а также проанализировано влияние пластификатора на формирование пористой структуры и ее прочность.

### Методы

При испытаниях использованы: синтетический пенообразователь «Пентапав-430» марки А, портландцемент ЦЕМ I 42,5Н АО «Ангарскцемент» и поликарбоксилатный пластификатор

*Sokalan*. Количество цемента для пенобетона средней плотностью  $300 \text{ kg/m}^3$  принималось с учетом увеличения массы за счет связанной воды и составляло 265 кг на  $1 \text{ m}^3$  пенобетонной смеси. Поризация цементного раствора с различным В/Ц производилась отдельно приготовленной пеной фиксированной концентрации. Испытание образцов теплоизоляционного пенобетона на прочность при сжатии осуществлялось после 28 суток нормального твердения в соответствии с требованиями ГОСТ 10180. Первый этап исследования посвящен определению зависимости прочности при сжатии пенобетона, приготовленного без пластификатора, от В/Ц раствора матрицы и концентрации раствора пены, второй этап – влиянию пластификатора на оптимальное количество воды в пенобетонной смеси и прочность пенобетона. Зависимость прочности пенобетона без пластификатора от В/Ц и концентрации раствора пены представлена на рис. 1. Ход кривых, изображенных на рис. 1, указывает на тенденцию возрастания прочности пенобетона с увеличением В/Ц раствора матрицы, но при уменьшении концентрации раствора пены до 1% степень влияния В/Ц на прочность снижается. Графики (рис. 1) построены на основе данных, полученных при испытаниях и систематизированных в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что прочность пенобетона зависит от количества воды в пенобетонной смеси, фиксируемого водоцементным отношением с учетом воды в пене (В/Ц\*). Точка экстремума прочности пенобетона, или выхода на плато, соответствует значению В/Ц\* около 0,8, независимо от источника поступления воды в пенобетонную смесь, которым является пена или раствор матрицы.



**Рис. 1.** Зависимость прочности пенобетона марки по плотности D300 от В/Ц раствора матрицы при различном количестве пенообразователя в растворе пены. Концентрация раствора пены: 1 – 9%, 2 – 2%, 3 – 1%

**Fig. 1.** Dependence of the strength of foam concrete of the D300 density on the W/C of the matrix solution with different amounts of foaming agent in the foam solution. Concentration of foam solution: 1 – 9%, 2 – 2%, 3 – 1%

**Таблица 1.** Прочность при сжатии пенобетона марки по плотности D300 на синтетическом пенообразователе «Пентапав-430» марки А  
**Table 1.** Compressive strength of D300 density foam concrete on Pentapav-430 synthetic foaming agent, grade A

№	Состав на 1 м <sup>3</sup> пенобетона				В/Ц* (с учетом воды в пене)	Диаметр расплыва раствора матрицы по Суттарду, см	Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа
	Пена		Раствор матрицы					
	ПАВ, кг	Вода, кг	Цемент, кг	В/Ц				
<i>Концентрация раствора пены – 9%</i>								
1.	1,30	13,0	265	0,60	0,65	22	271	0,06
2.	1,20	12,0	265	0,66	0,71	30	293	0,372
3.	1,01	10,1	265	0,72	0,76	35	311	0,477
4.	1,03	10,3	265	0,78	0,82	38,5	298	0,490
5.	0,86	8,6	265	0,84	0,87	41	307	0,492
<i>Концентрация раствора пены – 2%</i>								
6.	0,49	24,5	265	0,60	0,69	22	305	0,135
7.	0,46	24,1	265	0,66	0,75	30	288	0,316
8.	0,47	23,5	265	0,72	0,81	35	286	0,507
9.	0,39	19,5	265	0,78	0,86	38,5	307	0,449
10.	0,44	22,1	265	0,84	0,92	41	301	0,468
<i>Концентрация раствора пены – 1%</i>								
11.	0,53	47,7	265	0,60	0,78	22	289	0,416
12.	0,39	36,0	265	0,66	0,80	30	301	0,536
13.	0,38	35,1	265	0,72	0,85	35	299	0,485
14.	0,33	34,2	265	0,78	0,91	38,5	313	0,493

Согласно указаниям СН 277-80<sup>1</sup>, водотвердое отношение (В/Т) раствора матрицы назначается исходя из требований к текучести смеси. Для ячеистого бетона марки по средней плотности D300 на цементном вяжущем В/Т матрицы соответствует максимальному из требуемых диаметров расплыва смеси по Суттарду – 38 см. Данную текучесть смеси можно обеспечить значительным количеством воды затворения или при помощи пластификатора.

Применение пластифицирующей добавки *Sokalan* на основе поликарбоксилата в количестве 0,1% от массы цемента не повлияло на значение максимальной прочности и опти-

мальное количество воды в пенобетонной смеси. Диспергируя цементные зерна и освобождая иммобилизованную воду [13, 14], пластификатор позволяет повысить прочность пенобетона на уровне низких значений  $V/C = 0,54 \div 0,6$  в три раза (до 0,3 МПа). Однако иммобилизованной воды недостаточно, максимальная прочность пенобетона наблюдается при большем В/Ц. Добавление воды в пенобетонную смесь с добавкой *Sokalan* увеличило прочность теплоизоляционного пенобетона, но ее значение не превысило порога прочности пенобетона без пластификатора (рис. 2).

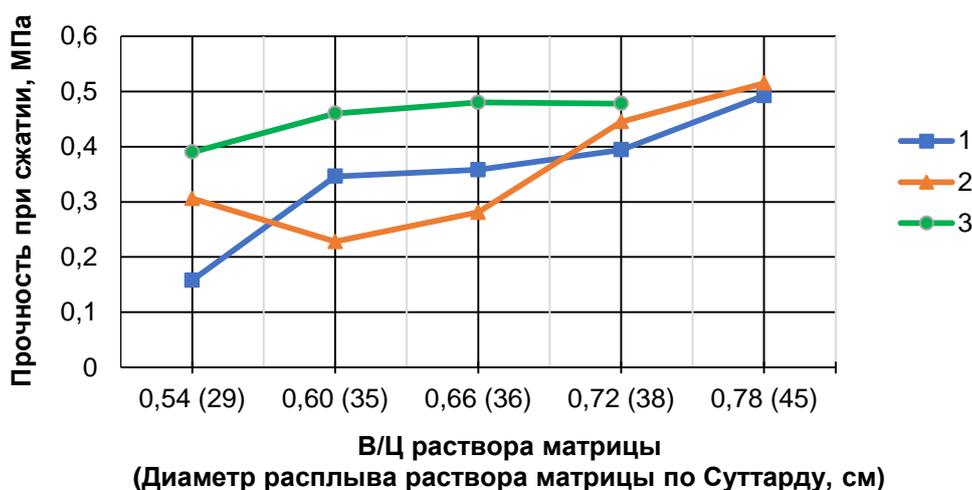


Рис. 2. Зависимость прочности пенобетона марки по плотности D300 с пластификатором *Sokalan* от В/Ц раствора матрицы при различном количестве пенообразователя в растворе пены. Концентрация раствора пены: 1 – 9%; 2 – 2%; 3 – 1%

Fig. 2. Dependence of the strength of foam concrete of the D300 density with *Sokalan* plasticizer on the W/C of the matrix solution with different amounts of foaming agent in the foam solution. Concentration of the foam solution: 1 – 9%; 2 – 2%; 3 – 1%

Таким образом, в составе теплоизоляционного пенобетона неавтоклавного твердения предназначение пластификатора не обеспечивается в полной мере.

Точка экстремума прочности или выхода на плато в пенобетоне с пластификатором *Sokalan* находится в том же значении водоцементного отношения с учетом воды в пене, что и для пенобетона без пластифицирующей добавки – 0,8 (табл. 2).

В пенобетоне цементная система заключена в межпоровом пространстве, ограниченном молекулами пенообразователя. Адсорбируясь на цементных зернах и изменяя смачиваемость их поверхности, молекулы ПАВ блокируют функцию воды как компонента взаимодействия с цементной составляющей. При

перемешивании пены из раствора концентрации 9%, обеспечивающего незначительное содержание в ней воды, и раствора матрицы с низким  $V/C = 0,6$  в пенобетонной смеси наблюдается образование рыхлых цементных конгломератов, а прочность пенобетона составляет не более 0,06 МПа (п. 1 табл. 1).

Повышение количества воды в пенобетонной смеси способствует увеличению объема межпорового пространства и внедрению цементных зерен без увеличения на их поверхности концентрации ПАВ. Водоредуцирование и добавление пластификатора в состав тяжелого бетона не обеспечит качество тонкостенной густоармированной конструкции, если при ее изготовлении используется заполнитель недопустимой крупности.

<sup>1</sup>СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона: введ. 01.07.1980 / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1981. 47 с.

**Таблица 2.** Прочность при сжатии пенобетона марки по плотности D300 на синтетическом пенообразователе «Пентапав-430» марки А и с пластификатором *Sokalan*  
**Table 2.** Compressive strength of D300 density foam concrete on Pentapav-430 synthetic foaming agent, grade A and with *Sokalan* plasticizer

№	Состав на 1 м <sup>3</sup> пенобетона					В/Ц* (с учетом воды в пене)	Диаметр расплава раствора матрицы по Суттарду, см	Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа
	Пена		Раствор матрицы						
	ПАВ, кг	Вода, кг	Цемент, кг	<i>Sokalan</i> , % от массы цемента	В/Ц				
<i>Концентрация раствора пены – 9%</i>									
1.	1,77	17,7	265	0,1	0,54	0,61	29	287	0,158
2.	1,19	11,9	265	0,1	0,60	0,65	35	279	0,346
3.	1,06	10,6	265	0,1	0,66	0,70	36	295	0,358
4.	0,93	9,3	265	0,1	0,72	0,76	38	299	0,394
5.	0,91	9,1	265	0,1	0,78	0,82	45	306	0,492
<i>Концентрации раствора пены – 2%</i>									
6.	0,49	24,5	265	0,1	0,54	0,63	29	275	0,306
7.	0,50	25,0	265	0,1	0,60	0,70	35	270	0,228
8.	0,49	24,5	265	0,1	0,66	0,75	36	283	0,281
9.	0,41	20,5	265	0,1	0,72	0,80	38	290	0,445
10.	0,41	20,5	265	0,1	0,78	0,86	45	301	0,515
<i>Концентрация раствора пены – 1%</i>									
11	0,54	48,6	265	0,1	0,54	0,72	29	293	0,393
12.	0,44	39,6	265	0,1	0,60	0,75	35	293	0,461
13.	0,34	30,6	265	0,1	0,66	0,78	36	295	0,483
14.	0,40	36,2	265	0,1	0,72	0,86	38	317	0,478

Правило Абрамса – частный случай основного закона прочности и применяется для удобоукладываемого тяжелого бетона [15], где реологическую функцию воды может заменить пластификатор. Однако роль дисперсионной среды и компонента, участвующего в образовании гидратов, все же остается за водой.

Несмотря на то, что результатом адсорбции ПАВ на поверхности цемента является нарушение процессов гидратации [16] и низкая прочность пенобетона, гидрофобизация твердых частиц положительно влияет на устойчивость пенобетонной смеси за счет увеличения краевого угла смачивания и вероятности минерализации воздушного пузырька [17]. По данным В.В. Стольникова [18], снижение подвижности цементно-водной пасты при увеличении концентрации воздухововлекающей добавки связано с закономерностями флотационного эффекта. Экспериментальные исследования [19, 20] показали, что с увеличением концентрации в воде затворения пенообразователя «Пентапав-430» от 0,3 до 3% снижается подвижность цементного теста. Пенобетонная смесь – малоустойчивая си-

стема, и результат от флотационных процессов может быть задействован в ее стабилизации.

Таким образом, количество воды в пенобетонной смеси должно быть достаточным для нормального течения процессов гидратации вяжущего, обеспечивающего требуемые прочностные характеристики пенобетона, но не превышать значения, при котором происходит потеря устойчивости ячеистой массы. Пластификатор используется в случае необходимости увеличения пластичности цементного раствора матрицы при условии содержания оптимального количества воды в пенобетонной смеси.

Требование норм СН-277-80 к назначению В/Т в соответствии с диаметром расплава матрицы предусматривает обеспечение необходимого количества воды для формирования прочной структуры с замкнутой пористостью, и текучесть является ее индикатором. В пенобетоне марки по средней плотности D300 на синтетическом пенообразователе и рядовом портландцементе оптимальное водоцементное отношение с учетом воды в пене составляет  $V/C^* = 0,8$ . При этом текучесть раствора

матрицы, в зависимости от концентрации раствора пены, находится в пределах 30÷38 см, допускающих равномерное перемешивание компонентов пенобетонной смеси, поэтому применение пластификатора в данном случае является излишним.

#### Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Использование пластификатора как водоредуцирующей добавки в составе теплоизоляционного пенобетона не обеспечивается в полной мере. Введение его в состав пенобетона марки по средней плотности D300 на

синтетическом пенообразователе и рядовом портландцементе неэффективно и нецелесообразно. При повышении В/Ц в пенобетоне с пластификатором прочность при сжатии увеличивается, а устойчивость вспененной массы снижается.

2. Водоцементное отношение с учетом воды в пене (В/Ц\*) должно быть достаточным для экранирования цементных зерен от молекул ПАВ. Для теплоизоляционного пенобетона плотностью 300 кг/м<sup>3</sup> на портландцементном вяжущем без наполнителя при использовании синтетического пенообразователя В/Ц\* составляет более 0,8.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dvorkin L.I. Modified water-cement ratio rule for the design of air-entrained concrete // Magazine of Civil Engineering. 2019. No. 1 (85). p. 123–135. <https://doi.org/10.18720/MCE.85.10>.
2. Балыков А.С., Низина Т.А., Макарова Л.В. Критерии эффективности цементных бетонов и их применение для анализа составов высокопрочных композитов // Строительные материалы. 2017. № 6. С. 69–75.
3. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Чилин И.А. О подборе составов высококачественных бетонов с органоминеральными модификаторами // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 58–63.
4. Ezzat M., Xu X., Cheikh K.E., Lesage K., Schutter G.D. Structure-property relationships for polycarboxylate ether superplasticizers by means of RAFT polymerization // Journal of Colloid and Interface Science. 2019. Vol. 553. p. 788–797. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.088>.
5. Калашников В.И., Тараканов О.В., Кузнецов Ю.С., Володин В.М., Белякова Е.А. Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 47–53. <https://doi.org/10.5862/MCE.34.7>.
6. Marcin K., Marta K. Mechanical characterization of lightweight foamed concrete // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 2018. p. 6801258. <https://doi.org/10.1155/2018/6801258>.
7. Fu Y., Wang X., Wang L., Li Y. Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review // Advances in Materials Science and Engineering. 2020. No. 4. p. 6153602. <https://doi.org/10.1155/2020/6153602>.
8. Lim M., Park W. Investigation on Foam Volume/Fly Ash Relationship of Foam Concrete, and Effect of High Content Micro-Fibre and Microstructure // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. No. 23. p. 13057–13063.
9. Falliano D., Domenico D.D., Ricciardi G., Gugliandolo E. Mechanical Characterization of Extrudable Foamed Concrete: An Experimental Study // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2018. Vol. 12. No. 3. p. 290–294. [doi.org/10.5281/zenodo.1316103](https://doi.org/10.5281/zenodo.1316103).
10. Dang B., Wang Y. Experimental study on pore structure and mechanical property of chemical foaming foam concrete // Chemical Engineering Transactions. 2018. Vol. 66. p. 151–156. [doi.org/10.3303/CET1866026](https://doi.org/10.3303/CET1866026).
11. Liu Z., Zhao K., Hu C., Tang Y. Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete // Advances in Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 2. p. 9520294. <https://doi.org/10.1155/2016/9520294>.
12. Коломацкий А.С., Коломацкий С.А. Теплоизоляционный пенобетон // Строительные материалы. 2002. № 3. С. 18–19.
13. Тейлор Х. Химия цемента. М.: Мир, 1996. 560 с.
14. Петрунин С.Ю., Тарасов В.Н., Короткова Н.П., Гарновесов А.П., Сироткина И.А. Влияние молекулярной структуры поликарбоксилатных суперпластификаторов на свойства бетона // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2016. № 1 (42). С. 68–77.
15. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. М.: Госстройиздат, 1961. 630 с.
16. Шахова Л.Д. Роль пенообразователей в технологии пенобетонов // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 16–19.
17. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М., Мальхотра В.М., Долч В.Л., Мехта П.К. и др. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.

18. Стольников В.В. Воздухововлекающие добавки в гидротехническом бетоне. Л.: Госэнергоиздат, 1953. 168 с.  
 19. Баранова А.А., Савенков А.И., Шустов П.А. Природа пенообразователя и свойства цементной матрицы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016.

№ 3 (18). С. 63–70. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2016-3-63-70>.  
 20. Баранова А.А., Савенков А.И. Пенообразователи и прочность пенобетона // Известия Сочинского государственного университета. 2014. № 3 (31). С. 10–14.

## REFERENCES

- Dvorkin LI. Modified water-cement ratio rule for the design of air-entrained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2019;1(85):123-135. <https://doi.org/10.18720/MCE.85.10>.
- Balykov AS, Nizina TA, Makarova LV. Criteria of efficiency of cement concretes and their use for analyzing compositions of high-strength composites. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*. 2017;6:69-75. (In Russ.).
- Kaprielov SS, Sheinfeld AV, Kardumyan GS, Chilin IA. About selection of compositions of high-quality concretes with organic-mineral modifiers. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*. 2017;12:58-63. (In Russ.).
- Ezzat M, Xu X, Cheikh KE, Lesage K, Schutter GD. Structure-property relationships for polycarboxylate ether superplasticizers by means of RAFT polymerization. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2019;553:788-797. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.088>.
- Kalashnikov VI, Tarakanov OV, Kusnetsov YuS, Volodin VM, Belyakova EA. Next generation concrete on the basis of fine-grained dry powder mixes. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal = Magazine of civil engineering*. 2012;8:47-53. <https://doi.org/10.5862/MCE.34.7>.
- Marcin K, Marta K. Mechanical characterization of lightweight foamed concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018;2018:6801258. <https://doi.org/10.1155/2018/6801258>.
- Fu Y, Wang X, Wang L, Li Y. Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020;4:6153602. <https://doi.org/10.1155/2020/6153602>.
- Lim M, Park W. Investigation on Foam Volume/Fly Ash Relationship of Foam Concrete, and Effect of High Content Micro-Fiber and Microstructure. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017;12(23):13057-13063.
- Falliano D, Domenico DD, Ricciardi G, Gugliandolo E. Mechanical Characterization of Extrudable Foamed Concrete: An Experimental Study. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2018;12(3):290-294. [doi.org/10.5281/zenodo.1316103](https://doi.org/10.5281/zenodo.1316103).
- Dang B, Wang Y. Experimental study on pore structure and mechanical property of chemical foaming foam concrete. *Chemical Engineering Transactions*. 2018;66:151-156. [doi.org/10.3303/CET1866026](https://doi.org/10.3303/CET1866026).
- Liu Z, Zhao K, Hu C, Tang Y. Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016;2:9520294. [doi.org/10.1155/2016/9520294](https://doi.org/10.1155/2016/9520294).
- Kolomatsky AS, Kolomatsky SA. Thermal insulation foam concrete. *Stroitel'nye materialy*. 2002;3:18-19. (In Russ.).
- Taylor H. Cement chemistry. Moscow: Mir; 1996. 560 p. (In Russ.).
- Petrinin SY, Tarasov VN, Korotkova NP, Garnovesov AP, Sirotkina IA. The effect of the molecular structure of polycarboxylate superplasticizers on concrete properties. *ALITinform: Cement. Beton. Suhie smesi = ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes*. 2016;1(42):68-77. (In Russ.).
- Lee FM. Chemistry of cement and concrete. Moscow: Gosstroyizdat; 1961. 630 p. (In Russ.).
- Shakhova LD. The role of foaming agents in foam concrete technology. *Stroitel'nye materialy*. 2007;4:16-19. (In Russ.).
- Ramachandran VS, Fel'dman RF, Kollepari M, Mal'hotra VM, Dolch VL, Mehta PK. Additives to concrete. Moscow: Stroyizdat; 1988. 575 p.
- Stolnikov VV. Air-entraining additives in hydraulic concrete. Leningrad: Gosenergoizdat; 1953. 168 p.
- Baranova AA, Savenkov AI, Shustov PA. Nature of foam generated agent and properties of cement matrix. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016;3(18):63-70. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2016-3-63-70>.
- Baranova AA, Savenkov AI. Foam Maker and Foam Concrete Durability. *Izvestiya Sochinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014;3(31):10-14. (In Russ.).

### Сведения об авторах

**Винокурова Ольга Владимировна**,  
соискатель кафедры промышленного  
и гражданского строительства,  
Ангарский государственный технический  
университет,  
e-mail: neutrino.78@mail.ru  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6136-720X>

**Баранова Альбина Алексеевна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры промышленного  
и гражданского строительства,  
Ангарский государственный технический  
университет,  
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия,  
✉ e-mail: baranova2012aa@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>

### Заявленный вклад авторов

Винокурова О. В., Баранова А. А. имеют равные авторские права. Винокурова О. В. несет ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 31.05.2021.  
Одобрена после рецензирования 25.06.2021.  
Принята к публикации 29.06.2021.

### Information about the authors

**Olga V. Vinokurova**,  
Applicant of the Department of Industrial  
and Civil Engineering,  
Angarsk State Technical University,  
60 Tchaikovsky St., Angarsk, 665835, Russia,  
e-mail: neutrino.78@mail.ru  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6136-720X>

**Albina A. Baranova**,  
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor  
of the Department of Industrial and Civil  
Engineering,  
Angarsk State Technical University,  
60 Tchaikovsky St., Angarsk, 665835, Russia,  
✉ e-mail: baranova2012aa@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>

### Contribution of the authors

Vinokurova O. V., Baranova A. A. have equal author's rights. Vinokurova O. V. bears the responsibility for plagiarism.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

The article was submitted 31.05.2021.  
Approved after reviewing 25.06.2021.  
Accepted for publication 29.06.2021.