

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М., Погромский А.С.

*В работе приводится сравнительный анализ основных характеристик пенобетона нормального твердения и газобетона автоклавного твердения. Показано, что пенобетон превосходит газобетон не только по экономическим показателям, но и по эксплуатационным.*

**Ключевые слова:** пенобетон, газобетон, марочная прочность, долговечность, атмосферостойкость.

В настоящее время при строительстве гражданских и промышленных зданий широкое распространение получили ячеистые бетоны. Наибольшей популярностью при строительстве в России и в Европе пользуется газобетон автоклавного твердения. Газобетонные блоки широко применяются при строительстве индивидуальных и многоквартирных жилых домов. Однако, среди специалистов строительных компаний периодически возникает вопрос: «Что лучше – пенобетон или газобетон?»

Многочисленные публикации [1-7] посвященные этому вопросу, не дают обоснованного ответа. В печатных изданиях в основном приводят физико-механические характеристики этих материалов, по которым пенобетон уступает газобетону в марочной прочности и трещиностойкости. На строительных форумах [5-7] утверждается, что пенобетон лучше газобетона по водостойкости, морозостойкости и атмосферостойкости. Можно предположить, что он будет превосходить газобетон по долговечности и эксплуатационным характеристикам. Однако, в настоящее время наибольшие объемы производства в

нашей стране, да и в Европе наблюдаются у газобетона автоклавного твердения.

В нынешних реалиях для Европы и для России очень остро стоит проблема экологических катастроф, терактов, землетрясений в регионах, где они до последнего времени не наблюдались, особенно в зонах с активной добычей нефти и газа. Таким примером является Бухарские землетрясения в городе Газли в 76-ом и 84-ом годах прошлого века. Во время землетрясений в мае 1976 года было разрушено 90% зданий и сооружений. Все эти обстоятельства говорят о необходимости повышения прочности материалов для ограждающих конструкций.

В настоящее время прочность ограждающих конструкций нормируется в соответствии с СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции» [8]. Согласно [8] для строительства должны применяться ячеистые бетоны следующих марок: В1; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В12,5. При многоэтажном монолитном строительстве в качестве ограждающих конструкций используются в основном газобетонные блоки средней плотности 500, 600 кг/м<sup>3</sup>,

толщина кладки определяется теплотехническим расчетом и обычно составляет не менее 400 мм. Применение этого материала обусловлено его хорошими эстетическими и теплозащитными свойствами. Предел прочности при сжатии у таких материалов не превышает 2-3 МПа, а при изгибе – 1,5 МПа. Чтобы обеспечить безопасность людей при эксплуатации зданий, особенно в экстремальных ситуациях, необходимо отказаться от применения чрезмерно легких и мало прочных материалов. С повышением плотности пенобетон и газобетон уже не так сильно отличаются по прочностным характеристикам, а по многим другим показателям изделия из пенобетона будут превосходить газобетонные блоки.

Рассмотрим данные о производстве ячеистых бетонов в нашей стране. В статистической литературе [9] приводятся данные по производству ячеистых бетонов, однако отдельно данных по пенобетонам и газобетонам нет. В последние годы производство блоков из ячеистого бетона падает. Связано это со снижениями масштабов строительства, которые произошли из-за всемирного экономического кризиса. В 2016 году производство мелких блоков из ячеистых бетонов в Российской Федерации снизилось на 11% по сравнению с 2015 годом.

Согласно данным [4] срок окупаемости инвестиций в производство изделий из ячеистого бетона составляет примерно 3 – 5 лет при достаточно большой рентабельности. Линии по производству газобетона поставляются в нашу страну из-за рубежа, в основном из Германии, и рассчитаны на большие мощности производства. Производство газобетона является достаточно энергоемким, так как прочность этот материал набирает в автоклаве при температуре 200 °С.

Пенобетон в настоящее время недостаточно исследован, его можно отнести к «молодым строительным материалам». Массовое производство изделий из пенобетона началось относительно недавно, после того как на рынке появились хорошие синтетические пенообразователи.

Технология производства пенобетона позволяет изготавливать его небольшими партиями, не требуя больших инвестиционных вложений, в непосредственной близости от стройплощадки. С точки зрения строительства, использование пенобетона должно быть более привлекательным, так как можно существенно сократить или свести на нет транспортные расходы. Однако, здесь говорит о себе недостаточная «отлаженность технологии» производства изделий из пенобетона.

Проблема стабильности очень важна для ячеистых бетонов, технологии производства обоих материала являются «метеочувствительными». С этой точки зрения технология производства пенобетона является более простой по сравнению с газобетоном. Связано это с тем, что в пенобетоне колебание характеристик обусловлено сравнительно простыми физико-механическими процессами (дозировка пенообразователя, интенсивность и продолжительность перемешивания), в то время в газобетоне изменение свойств готовой продукции обусловлено химическими процессами (выделение водорода, вспенивание в

результате химической реакции частиц алюминия с гидроксидом кальция). Невысокая марочная прочность пенобетона со средней плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup> по сравнению с газобетоном влияет на сложность получения блоков, не содержащих макроскопические дефекты. Это обусловлено колебанием физико-механических процессов, сравнительно простых и легко регулируемых, в то время как в газобетоне происходят сложные гетерогенные физико-химические взаимодействия, ведущие к выделению газообразователя, которые значительно труднее регулировать.

Если сравнить между собой газобетон и пенобетон со средней плотностью 600; 700 кг/м<sup>3</sup>, то последний будет несомненно выигрывать по многим показателям. К основным преимуществам можно отнести относительно небольшие первоначальные капитальные затраты на организацию, мобильность производства и его низкую энергоемкость.

При сравнении марочной прочности пенобетон будет уступать газобетону при средней плотности материала до 500 кг/м<sup>3</sup>, с ростом прочности обоих это преимущество значительно уменьшается. Хочется подчеркнуть, что в процессе эксплуатации изделия из пенобетона будут только набирать прочность, так как чистый цемент при карбонизации продолжает твердение, чего нельзя сказать об изделиях из газобетона. Согласно [10] если марочную прочность цементного камня принять за 1, то через 90 сут она увеличится на 25%, через 180 сут – на 40%.

При сравнении физико-механических характеристик ячеистых бетонов такой показатель, как долговечность, как правило, обычно не обсуждается. Если упоминание о долговечности встречается, то в виде формулировки: «пенобетон и газобетон отличаются достаточно высокой долговечностью» [7]. Это и не удивительно, ведь долговечность – это показатель, который требует долгосрочных испытаний.

Большой интерес для оценки атмосферостойкости представляет работа [11], в которой впервые подробно исследовалась долговечность конструкционного газобетона, со средней плотностью 700-1200 кг/м<sup>3</sup> в климатических условиях города Воронежа. Стеновые блоки из этого материала прослужили в многоэтажных домах в течение 44 лет, при этом существенных повреждений изделий не отмечено, хотя наблюдались признаки коррозии. Однако, данные работы [11] относятся к плотным материалам, при снижении средней плотности до 500, 600 кг/м<sup>3</sup>, долговечность снижается как минимум на 20-50%. К тому же 44 года – недостаточный срок для исследования долговечности конструкций, период эксплуатации должен достигать 80-100 лет.

Стойкость пено- и газобетонов в атмосферных условиях зависит от состава материала, в том числе кремнеземистого компонента (для газобетона). При воздействии находящегося в воздухе углекислого газа ячеистые бетоны карбонизируются, при этом вместо гидросиликатов и гидроксидов кальция образуются карбонат кальция и гель кремневой кислоты, которые являются связующим веществом. Скорость процесса карбонизации уменьшается по мере продвижения вглубь бетонного изделия. В этих условиях при

достаточно высокой основности гидросиликатов кальция, карбонатная составляющая образует вторичную структуру твердения что вызывает рост прочности. При низкой основности гидросиликатов кальция вторичная структура не образуется, а из-за усыхания и усадки кремнеземистой составляющей наблюдается снижение марочной прочности.

В работе [12] было показано, что газонаполненные материалы неавтоклавного твердения отличаются значительно более высокой стойкостью против

углекислотной агрессии и обусловленной этим лучшей атмосферостойкостью, чем газобетоны автоклавного твердения.

В таблице 1 представлены данные о влиянии карбонизации на прочность камня из низкоосновного гидросиликата кальция группы тоберморита и двухосновного, к которым относится волокнистый гелеобразный гидросиликат  $C_2SH_2$  и хорошо закристаллизованные  $C_2SH(A)$ ,  $C_2SH(C)$  [13].

Таблица 1 – Твердение гидросиликатов кальция при хранении на воздухе и в среде углекислого газа

Гидросиликаты кальция	Средняя плотность в кг/м <sup>3</sup> через			Предел прочности (в МПа) при					
	1 сут	3 мес	6 мес	сжатии через			изгибе через		
				1 сут	3 мес	6 мес	1 сут	3 мес	6 мес
Искусственная карбонизация									
CSH(B)	1070	1300	1330	2,65	2,06	1,92	0,40	0,37	0,31
Ксонолит	0750	1160	1200	1,55	1,73	2,03	0,87	0,81	0,77
$C_2SH(A)$	720	960	1110	0,04	0,51	0,55	0,02	0,33	0,53
$C_2SH(C)$	710	1140	1180	0,13	0,81	0,95	0,18	0,22	0,25
На воздухе									
CSH(B)	1070	1220	1330	2,65	2,25	2,03	0,40	0,37	0,35
Ксонолит	750	890	960	1,55	1,78	1,99	0,87	0,93	0,90
$C_2SH(A)$	720	850	920	0,04	0,30	0,35	0,02	0,28	0,30
$C_2SH(C)$	710	750	850	0,13	0,35	0,36	0,18	0,30	0,33

Из приведенных данных видно, что после тепловой обработки камень из тоберморита значительно прочнее, чем из двухосновного гидросиликата кальция. Однако, после карбонизации атмосферным углекислым газом камень из низкоосновного гидросиликата кальция теряет прочность, а из высокоосновного, наоборот, повышает ее. Тоберморит является основным связующим газобетона из известково-песчаного вяжущего автоклавного твердения, а двухосновный гидросиликат кальция – пенобетона неавтоклавного твердения.

Если сравнивать пенобетон и газобетон по экологическим показателям, то пенобетон несравненно выигрывает. Связано это с тем, что газобетон, не защищенный специальной отделкой, будет «вбирать» воду. Молекулы воды из воздуха будут притягиваться к отрицательно заряженным частицам низкоосновного гидросиликата кальция. В то же время пенобетон не имеет такого недостатка, так как электрокинетический потенциал поверхности пор пенобетона, состоящих из высокоосновных гидросиликатов кальция, а также гидроалюминатных фаз и портландита, смещен в область слабых отрицательных и положительных зарядов. В связи с этим, в помещениях со стенами из пенобетона, при сопоставительных условиях влажность воздуха будет ниже, чем в помещениях со стенами из газобетона.

#### Литература:

1. Овчинникова В.П. Новые перспективы применения пенобетонов // Цемент и его применение. 2001. №4. С. 38-39.
2. Песцов В.И., Оцоков К.А., Вылегжанин В.П., Пинскер В.А. Эффективность применения ячеистых

Ранее с помощью расчета критериев подобия авторами было показано, что коэффициент теплопроводности для теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных ячеистых материалов (пенобетон, газобетон) при средней плотности не более 600 кг/м<sup>3</sup>, при температуре до 30-50°C мало зависит от формы, размера пор, пористости перегородок [14, 15].

Такие недостатки пенобетона, как длительное схватывание и повышенная усадка при эксплуатации, регулируются с помощью химических добавок. На основе наших исследований [16, 17] были разработаны пенобетоны для интенсивных технологий строительства.

**Заключение.** Пенобетон превосходит газобетон не только по экономическим показателям, но и по эксплуатационным. Такие преимущества газобетона, как прочность и привлекательный внешний вид, во время строительства не являются значимыми, так как его прочностные показатели в процессе эксплуатации не увеличиваются, как у пенобетона, а белые блоки газобетона необходимо отделывать внутри и снаружи, чтобы повысить его влагостойкость, морозостойкость, атмосферостойкость. Проведя сравнение эффективности пенобетона и газобетона, авторы считают, что масштабы производства пенобетона целесообразно наращивать ускоренными темпами.

#### References:

1. Ovchinnikova V. P. Novye-perspektivy-primeneniya-penobetonov [New prospects for the use of foam concrete] *Cement I ego primenienie* .– 2001.– No. 4.– pp. 38-39 (in Russian).
2. Foxes V. I., Ocafov K. A., Vylegzhanin V. P., Pinsker

- бетонов в строительстве России // Строительные материалы. 2004. №3. С. 7-8.
3. Ухова Т.А. Настоящее и будущее ячеистых бетонов в России // Строительный журнал «Весь бетон». URL: [http://www.concreteunion.ru/articles/cellular\\_concrete.php?ELEMENT\\_ID=5510](http://www.concreteunion.ru/articles/cellular_concrete.php?ELEMENT_ID=5510) (дата обращения: 10.03.2011).
4. Сахаров Г.П. Ячеистые бетоны в посткризисный период // Научно-практический Интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование». URL: <http://www.nso-journal.ru> (дата обращения: 05.2011).
5. Форум «Как построить дом, дачу, гараж, баню, беседку». URL: <http://stroim-svoim.ru/materialy/yacheisty-beton-gazobeton-i-penobeton-cto-luchshe.html>
6. Форум «Все про строительство домов». URL: <http://www.mukhin.ru/beton>
7. Дебаркадер Л.А. Газобетон и пенобетон: сходства и отличия. URL: <http://interesko.info/gazobeton-i-penobeton-sxodstva-i-otlichiya/>
8. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\*. М.: Минрегион России, 2012. 74 с.
9. Россия в цифрах. 2017: Крат. стат. сб./ Росстат. – М., 2017. 511 с.
10. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства). М.: Стройиздат, 1979. 476 с.
11. Баутина Е.В. Оценка состояния ячеистого силикатного бетона в ограждающих конструкциях жилых зданий с длительным сроком эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Баутина Елена Владимировна; Воронеж. – ВГАСУ, 2006. – 26с.
12. Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М., Кафтаева М.В. К вопросу о механизме углекислотной коррозии строительных материалов // Фундаментальные исследования. 2015. № 5. Ч1. С.19 – 26.
13. Бутт Ю.М., Куатбаев К.К. Долговечность автоклавных силикатных бетонов. М.: Стройиздат, 1966. 216с.
14. Рахимбаев Ш.М., Аниканова Т.В. Теоретические аспекты улучшения теплотехнических характеристик пористых систем // Строительные материалы. 2007. №4. С. 26-29.
15. Рахимбаев Ш.М., Аниканова Т.В. О влиянии размера и формы пор на теплотехнические характеристики ячеистых бетонов // Бетон и железобетон. 2010. №1. С. 10-13.
16. Рахимбаев Ш.М., Аниканова Т.В. Пенобетонные смеси с ускоренными сроками схватывания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №1. С. 15-17.
17. Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М. Пенобетоны для интенсивных технологий строительства: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 128 с.
- V. A. Ehfektivnost primeneniya yacheistyh betonov v stroitelstve Rossii [Efficiency of application porous concrete in the construction of Russia] *Stroitelnyye materialy* –2004. –No. 3.– pp. 7-8 (in Russian).
3. Ukhova T. A. Nastoyashchee i budushchee yacheistyh betonov v Rossii [Present and future of cellular concrete in Russia] *Stroitelnyj zhurnal. Ves beton* URL:[http://www.concreteunion.ru/articles/cellular\\_concrete.php?ELEMENT\\_ID=5510](http://www.concreteunion.ru/articles/cellular_concrete.php?ELEMENT_ID=5510) (date of circulation: 10.03.2011).
4. Sakharov G. P. Yacheistye betony v postkrisisnyj period [Cellular concrete in the post-crisis period] *Nauchno- prakticheskij internet- zhurnal "Nauka. Stroitelstvo. Obrazovanie"*. URL: <http://www.nso-journal.ru> (05.2011).
5. Forum "Kak postroit dom, dachu, garazh,banyu,besedku [Forum "How to build a house, cottage, garage, bath, gazebo] URL: <http://stroim-svoim.ru/materialy/yacheisty-beton-gazobeton-i-penobeton-cto-luchshe.html>.
6. Forum "Vse pro stroitelstvo domov" [Forum "All about the construction of houses] URL: <http://www.mukhin.ru/beton>.
7. Dock L. A. Aerated concrete and foam concrete: similarities and differences. URL: <http://interesko.info/gazobeton-i-penobeton-sxodstva-i-otlichiya/>
- 8.SP-15-13330-2012.Kamennye I armokamennye konstrukcii aktualiziro vannaya redakciya SNIP-ii-22-81 [SP 15.13330.2012 Masonry and reinforced masonry structures. Updated edition SNiP II-22-81\*] Moscow: Ministry Of Regional Development, 2012.– 74 p.
9. Rossiya v cifrah, 2017 .Krat .stat .sb [Russia in numbers]. 2017: Krat. stat. SB. / Rosstat. - M., 2017. 511 p.
10. Volginskiy A. V., Burov Y. S., Kolokolnikov, V. S. Mineralnye vyazhushchie veshchestva (tehnologiya I svoystva) [Mineral binders (technology and properties)] M.: Stroyizdat, 1979.– 476 p(in Russian).
- 11.Bautina E. V. Ocenka sostoyaniya yacheistogo silikatnogo betona v ograzhdayushchih konstrukciyah zhilyh zdaniy s dlitelnyim srokom ehkspluatatsii: dis kand tekhn nauk [Assessment of the state of cellular silicate concrete in heating structures of residential buildings with a long term of operation: autoref. dis. ... kand. Techn. Sciences] Voronezh: VGASU, 2006. – 26 p(in Russian).
- 12.Anikanova T. V., Rakhimbaev Sh. M., Kataeva M. V. K voprosu o mekhanizme uglekislotoj korrozii stroitelnyh materialov [On the mechanism of carbon dioxide corrosion of building materials] *Fundamental research*, 2015.– No. 5. CH1. S. 19 – 26(in Russian).
- 13.Butt Y. M., Kuatbaev K. K. Dolgovechnost avtoklavnyh silikatnyh betonov [Durability of autoclaved lime-sand concrete] M.: Stroyizdat, 1966.– 216 p (in Russian).
- 14.Rakhimbaev Sh. M., Anikanova T. V. Teoreticheskie aspekty uluchsheniya teplotekhnicheskikh harakteristik poristyh sistem [Theoretical aspects of improvement of thermal characteristics of porous systems] *Building materials*.– 2007.– No. 4. –pp. 26-29 (in Russian).
- 15.Rakhimbaev Sh. M., Anikanova T. V. O vliyani razmera i formy por na teplotekhnicheskije harakteristiki yacheistyh betonov [On the influence of pore size and

shape on the thermal characteristics of cellular concrete] *Beton i zhelezobeton* – 2010.– No. 1.– pp. 10-13(in Russian).

16. Rakhimbaev Sh. M., Anikanova T. V. Penobetonnye smesi s uskorennyimi srokami skhvatyvaniya [Foam concrete mix with an accelerated setting time ] *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhov.*– 2012.– No. 1. – pp. 15-17(in Russian).

17. Anikanova T. V., Rakhimbaev Sh. M. *Penobetony dlya intensivnyh tekhnologij stroitel'stva* [Foam concrete intensive construction technologies] Belgorod: BSTU publishing House, 2015. –128 p (in Russian).

---

*Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М., Погромский А.С.* – ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)

E-mail: [anik.tv@yandex.ru](mailto:anik.tv@yandex.ru) , [i\\_rahim@mail.ru](mailto:i_rahim@mail.ru) , [pogrom7@yandex.ru](mailto:pogrom7@yandex.ru)