

## ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ АВТОКЛАВНОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ГАЗОБЕТОНА\*

*С.В. Леонтьев, В.А. Голубев, К.А. Сарайкина, В.А. Шаманов*

**Приводятся результаты исследований по созданию теплоизоляционного автоклавного газобетона. Для повышения прочностных характеристик в состав газосиликата введены нанотрубки и базальтовая фибра. Это приводит к дисперсному упрочнению ячеистого бетона и повышению прочностных характеристик изделий.**

*Ключевые слова: теплоизоляция, автоклавный газобетон, состав, структура, добавки, углеродные нанотрубки, базальтовая фибра.*

В последнее время прослеживается тенденция роста стоимости теплоносителя и электроэнергии, будь-то газ, горячая вода или любой другой энергоноситель. В связи с этим, энерго- и ресурсосбережение является приоритетным направлением современной политики в области строительных материалов и изделий. Говоря об энергосбережении, нельзя не отметить возрастающие требования к теплозащите ограждающих конструкций и повышению комфортного микроклимата зданий и сооружений. Таким образом, очевидна необходимость использования более эффективных теплоизоляционных материалов.

Анализ характеристик существующих утеплителей показывает, что наиболее оптимальным было бы сочетание в одном материале ячеистой структуры в виде закрытых пор, присущей пенопластам и экологичности и паропроницаемости, свойственной изделиям на основе неорганического сырья.

Примером материала, структура и свойства которого представляются весьма эффективными в плане теплозащиты ограждающих конструкций зданий и сооружений, является теплоизоляционный материал из автоклавного ячеистого бетона. Однако, ввиду того, что автоклавный газобетон в большей степени используется как конструкционно-теплоизоляционный материал, по своим тепло-техническим характеристикам он уступает другим утеплителям, представленным на современном рынке.

В связи с этим появляется потребность создания теплоизоляционного материала на основе ячеистого газобетона, обладающего оптимальными теплофизическими свойствами, что и является целью настоящего исследования. В свою очередь, повышение эффективности данного вида бетона состоит в предельно возможном уменьшении его средней плотности с одновременным обеспечением требуемого уровня прочностных показателей,

необходимого для изготовления блоков и плит заданного размера. При этом стоит обратить внимание на такие решения, которые позволили бы, во-первых, приблизить теплотехнические характеристики газосиликата к показателям полимерных теплоизоляционных материалов, а во-вторых, обеспечить одновременно с этим и реализацию преимуществ, заложенных в неорганической основе твердой фазы ячеистых бетонов. Эти преимущества состоят в территориальной и экономической доступности исходного сырья, в возможности использования данного материала в условиях высоких температур для изоляции печных и тепло-технических установок, и что не менее важно, в экологической безопасности материалов на неорганической основе [1].

На сегодняшний день был проведен ряд экспериментов с целью снижения плотности газосиликата, а также произведен анализ свойств и теплотехнических характеристик полученного материала. В качестве сырья для изготовления опытных образцов были использованы известково-цементно-кремнеземистое вяжущее активностью 23–25 % и газообразователь – алюминиевая пудра ПАП-1 производства компании «РусАл».

Исследования физико-механических и тепло-технических свойств полученных образцов из газосиликата проводились по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТ 12852.0-77, их результаты представлены в таблице.

В результате эксперимента был получен теплоизоляционный автоклавный газобетон с плотностью  $250 \text{ кг/м}^3$ , однако, при анализе приведенных данных становится очевидной необходимость улучшения структуры и свойств газосиликата. В частности, следует увеличить прочностные показатели материала, снизить теплопроводность, а также обеспечить равномерность распределения пор.

Реализация вышеперечисленных задач воз-

\* Рекомендовано к опубликованию по результатам конкурса докладов молодых ученых на международной научно-технической конференции «Перспективы развития строительного материаловедения», проходившей в Южно-Уральском государственном университете 24–26 сентября 2013 г. при участии фирмы «КНАУФ».

Физико-механические и теплотехнические свойства газобетона

Параметр	Размерность	Шифр массива											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	237	235	240	297	289	288	393	382	390	490	498	497
Предел прочности при сжатии	МПа	0,45	0,42	0,51	0,75	0,81	0,83	1,51	1,64	1,72	2,55	2,69	2,57
Предел прочности при изгибе	МПа	0,47	0,58	0,45	0,71	0,62	0,65	1,11	1,20	0,94	1,45	1,33	1,75
Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии	МПа	0,39	0,37	0,28	0,55	0,52	0,60	1,0	1,10	0,90	2,37	1,48	2,20
Коэффициент размячтения	—	0,87	0,88	0,55	0,73	0,64	0,72	0,66	0,67	0,52	0,93	0,55	0,86
Теплопроводность	Вт/(м·°С)	0,061	0,059	0,062	0,07	0,063	0,065	0,095	0,091	0,094	0,115	0,119	0,120
Пористость	%	88,8	90,1	91,2	84,3	85,7	85,9	82,7	83,7	81,6	79,3	81,0	77,7
Открытая пористость	%	53,0	40,1	45,6	49,9	51,5	48,5	46,7	41,7	49,9	37,3	43,8	37,5
Закрытая пористость	%	35,8	50,0	45,6	34,7	34,2	37,4	36,0	42,0	31,7	42,0	37,2	40,2

можно с помощью введения в сырьевую смесь различного рода добавок, благодаря которым станет реальным как увеличение прочностных показателей автоклавного ячеистого бетона пониженной плотности, так и улучшение качества пористой структуры материала.

Эффективным технологическим приемом для повышения физико-механических характеристик является дисперсное армирование силикатного камня волокнистыми добавками [2]. Армирование позволяет влиять на характер напряженного состояния матрицы ячеистого бетона при приложении нагрузок, а за счет перераспределения напряжений – тормозить процессы развития трещин и разрушения материала.

Кроме того, в последнее время, все большее внимание уделяется микро-, ультра- и нанодисперсному армированию и влиянию армирующих компонентов (добавок) на различные физико-химические процессы и конечные свойства ячеистого бетона.

Таким образом, в результате анализа научных публикаций были определены виды и необходимое количество добавок, введение в сырьевую смесь которых позволит оптимизировать структуру и прочностные характеристики разрабатываемого теплоизоляционного газобетона. Целью дальнейшего исследования стало изучение влияния таких добавок, как базальтовая фибра (длиной 6 мм, диаметром 20 мкм) и углеродные многослойные нанотрубки (Master batch CW2-45), на конечные физико-механические характеристики газосиликата. Для этого был проведен дробный трехфакторный эксперимент, в котором варьируемыми факторами приняты содержание базальто-

вой фибры, количество нанотрубок и расход алюминиевой пудры.

В результате эксперимента было выявлено, что прочность образцов содержащих добавки нанотрубок и базальтовой фибры в 1,5-2 раза, выше, чем прочность образцов без введения данных компонентов. Необходимо отметить, что при увеличении содержания фибры и нанотрубок прочность образцов возрастает, что наглядно представлено на рис. 1.

Обратный эффект наблюдается при анализе поверхности функции отклика плотности. В этом случае плотность газобетона возрастает при увеличении количества добавок. Однако предполагается, что плотность можно снизить путем введения большего количества алюминиевой пудры (рис. 2).

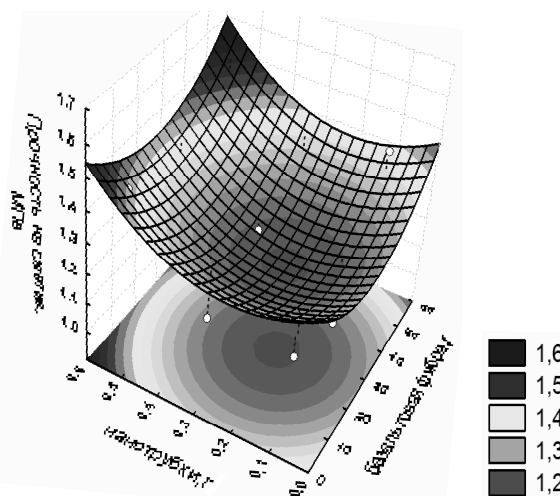


Рис. 1. Поверхность функции откликов прочности

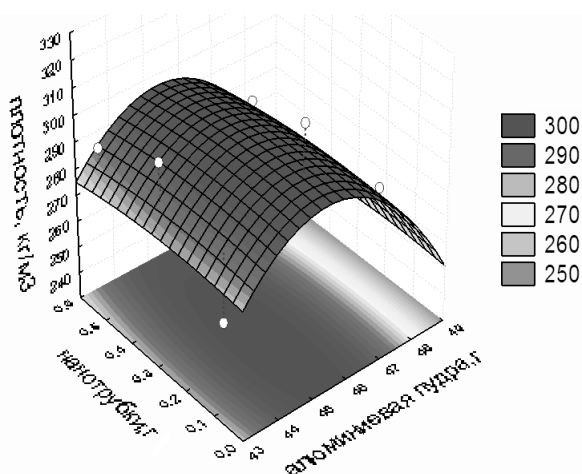


Рис. 2. Поверхность функции откликов плотности

Результаты исследований показывают, что закрытая пористость образцов с добавками выше, чем контрольных. Кроме того, при рассмотрении образцов под микроскопом (десятикратное увеличение) наблюдается различие в структуре пор и межпоровых перегородок. Так в модифицированных образцах четко видны включения базальтовой фибры, которые способствуют повышению прочностных характеристик материала (рис. 3).

Таким образом, в результате проведенных исследований получен теплоизоляционный автоклавный газобетон плотностью  $250 \text{ кг/м}^3$ , по своим физико-механическим и теплотехническим характеристикам отвечающий требованиям ГОСТ 31359-2007. Также подтверждены существующие предположения и результаты работ о перспективности применения модифицирующих добавок углеродных наноструктур для повышения механиче-

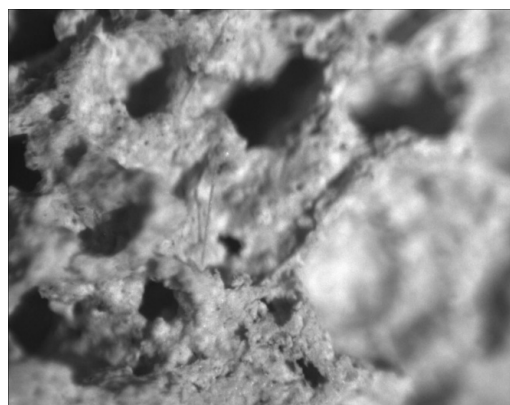


Рис. 3. Изображение волокна базальтовой фибры в структуре газобетона

ских свойств ячеистых бетонов. Установлено, что основным фактором, способствующим улучшению механических свойств, является изменение структуры стенок пор за счет дисперсного упрочнения. В дальнейших исследованиях предполагается вести работу над понижением плотности и увеличением прочностных показателей газобетона.

### Литература

1. Чернышов, Е.М. Высокопоризованные ячеистые бетоны для эффективных теплоизоляционных плит / Е.М. Чернышов // Вестник ТГАСУ. – 2007. – № 1. – С. 34–40.
2. Ваганов, В.Е. Структура и свойства ячеистого газобетона, модифицированного углеродными наноструктурами / В.Е. Ваганов, В.Д. Захаров // Строительные материалы. – 2010. – № 9. – С. 59–61.

**Леонтьев Степан Васильевич**, аспирант кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, p1306cl@yandex.ru.

**Голубев Виктор Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», декан строительного факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, dekstf@pstu.ru.

**Сарайкина Ксения Александровна**, ассистент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, smstf@pstu.ru.

**Шаманов Виталий Альбертович**, ассистент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, smstf@pstu.ru.

*Поступила в редакцию 1 октября 2013 г.*

## DEVELOPMENT OF HEAT-INSULATING AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

*S.V. Leontiev, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation, n1306cl@yandex.ru.*

*V.A. Golubev, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation, dekstf@pstu.ru.*

*K.A. Saraikina, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation, smstf@pstu.ru.*

*V.A. Shamanov, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation, smstf@pstu.ru.*

The results of the research work focused on the development of heat-insulating autoclaved aerated concrete are given in the article. The samples received during experiments have low durability. Nanotubes and a basalt fiber are included into the gas silicate composition to increase strength characteristics. It leads to disperse hardening of cellular concrete and improvement of strength characteristics.

*Keywords: thermal insulation, autoclaved aerated concrete, composition, structure, additives, carbon nanotubes, basalt fiber.*

### References

1. Chernyshov E.M. [Highly porous cellular concrete for efficient heat-insulating plates]. *Bulletin of TGASU*, 2007, no.1, pp. 34–40 (in Russ.).
2. Vaganov V.E., Zaharov V.D. [Structure and properties of cellular concrete modified by carbon nanostructures]. *Construction materials*, 2010, no. 9, pp. 59–61 (in Russ.).

*Received 1 October 2013*