

**КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ  
И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ИЗ НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА  
НА ГРАНИТОИДНОМ МИКРОЗАПОЛНИТЕЛЕ.**

*САМУЙЛОВ Ю. Д.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Для строительной отрасли Республики Беларусь одной из приоритетных является задача увеличения объема индивидуального жилищного строительства, обеспечения снижения его стоимости и повышения качества эксплуатационных характеристик. Для решения данной задачи организуются производства стеновых блоков из различных теплоизоляционно-конструкционных материалов с заданными свойствами, получаемых по различной технологии с использованием, в том числе, доступного местного сырья.

В настоящее время для возведения малоэтажных зданий и заполнения монолитных и сборных железобетонных высотных зданий широко используются ячеистобетонные стеновые блоки. Эти блоки имеют ряд преимуществ, среди которых можно отметить относительную однородность структуры и свойств по объему блока, широкий ассортимент плотностно-прочностных показателей, стойкость к гниению, негорючесть, сравнительно малую усадку, удобство в обработке, легкость и крупность размеров блоков. Успешное использование ячеистых бетонов в строительной отрасли связано с тем, что многие конкурирующие материалы, применяемые при производстве стеновых блоков, уступают им по ряду показателей.

Однако технологии не стоят на месте. В современных условиях, для организации производства строительных материалов стоит задача дальнейшего совершенствования наиболее оптимальных технологий. С целью улучшения качества неавтоклавных ячеистых бетонов и сопутного внедрения в состав ячеистого бетона новых перспективных компонентов, представленных мелкофракционными гранитоидными отсевами ОАО «Гранит» и микрокремнеземом, в

НИИЛ БиСМ БНТУ был проведен ряд исследований, результаты которых будут представлены ниже [1].

**Технология производства неавтоклавного газобетона на гранитоидном микрозаполнителе в лабораторных условиях.** Образцы неавтоклавного газобетона изготавливали в лабораторных условиях по технологии, которая включает в себя следующие стадии:

- приготовление газобетонной смеси;
- заливка в форму и вспучивание (вибровспучивание: частота – 50 Гц; амплитуда – 272,5 мкм) газобетонной смеси;
- выдержка вспученных образцов, в течение до 48 ч, до набора распалубочной прочности;
- срезка горбушки и распалубка образцов газобетона;
- тепловлажностная обработка (ТВО) образцов газобетона;
- сушка образцов газобетона (при необходимости).

Процесс приготовления газобетонной смеси включает в себя следующие операции:

- дозирование и гомогенизация компонентов для приготовления алюминиевой суспензии в отдельной емкости (вода + ПАВ (в качестве ПАВ использовался жидкий ( $C_p = 30\%$ ) гиперпластификатор «Стахемент 2000-М») + газообразователь (алюминиевая пудра ПАП));

- дозирование и перемешивание воды, цемента (в качестве цемента использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н, производства ОАО «Кричевцементношифер»), растертой комовой извести (при необходимости) и алюминиевой суспензии в основной емкости для перемешивания газобетонной смеси;

- добавка в основную емкость для перемешивания гранитоидного микрозаполнителя и окончательное перемешивание всех компонентов газобетонной смеси.

В случаях использования микрокремнезема введение в смесь последнего производилось вместе с гранитоидным микрозаполнителем. Процесс вспучивания осуществляли в двух вариантах: либо путем выдержки формы с газобетонной смесью в состоянии покоя, либо с помощью воздействия на форму вибрированием на мультислотной виброплощадке.

Формы с газобетонными образцами, в течение 48 часовой выдержки, укрывали полиэтиленовой пленкой, во избежание потери образцами влаги.

Срезку горбушки осуществляли с помощью возвратно-поступательного движения металлической проволоки, по аналогии с производственными приемами.

Тепловлажностная обработка образцов газобетона производилась в течение 48 ч (два цикла) по следующему режиму (рис. 1), в сушильном шкафу. Во избежание потерь влаги, перед началом тепловлажностной обработки извлеченные из форм образцы газобетона смачивали и укрывали полиэтиленовой пленкой.

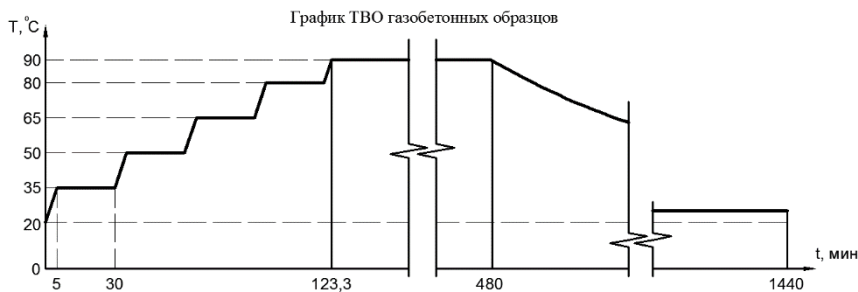


Рис. 1. График тепловлажностной обработки

Сушка образцов газобетона производилась в течение 24 ч (1 цикл), режим сушки аналогичен режиму на рис. 1; остаточная влажность образцов газобетона на выходе не превышала 5 %.

**Основные характеристики полученного ячеистого бетона.** Результаты экспериментальных исследований предлагаемой технологии получения газобетона неавтоклавного твердения, основанной на использовании в качестве микрозаполнителя гранитоидного отсева, показали, что она позволяет расширить качественные характеристики неавтоклавного газобетона по сравнению с традиционными аналогами. Экспериментально полученные данные таблицы 1 наглядно демонстрируют данный результат.

Таблица 1

Сравнительный анализ характеристик неавтоклавного газобетона по предлагаемой технологии и по СТБ 1570-2005

Вид бетона	Марка по плотности	Класс прочности	Неавтоклавный ячеистый бетон (по СТБ 1570-2005)	Неавтоклавный газобетон, по предлагаемой технологии (для $\bar{V} = 8\%$ , $K_T=1,1$ , по ГОСТ 18105-2010)
1	2	3	5	6
Теплоизоляционный	D100	–	–	+
	D150	–	–	+
	D200	–	–	+
	D250	–	–	+
	D300	–	–	+
	D350	B0,5	–	+
	D400	B0,5	+	+
		B0,75	+	+
		B1	+	+
Теплоизоляционно-конструкционный	D350	B0,5	–	+
	D400	B0,5	+	+
		B0,75	+	+
		B1	+	+
	D450	B0,5	+	+
		B0,75	+	+

1	2	3	5	6
Теплоизоляционно-конструкционный	D450	B1	+	+
		B1,5	-	+
	D500	B0,5	+	+
		B0,75	+	+
		B1	+	+
		B1,5	-	+
		B2	-	+
	D550	B1	+	+
		B1,5	+	+
		B2	-	+
		B2,5	-	+
	D600	B1,5	+	+
		B2	+	+
		B2,5	+	+
		B3	-	+
	D650	B1,5	+	+
		B2	+	+
		B2,5	+	+
	D650	B3	-	+
		B3,5	-	+
	D700	B1,5	+	+
		B2	+	+
		B2,5	+	+
		B3,5	+	+
		B4	-	+
	D750	B2,5	+	+
		B3,5	+	+
		B5	+	-
	D800	B2,5	+	+
		B3,5	+	+
B5		+	+	
D900	B2,5	+	+	
	B3,5	+	+	
	B5	+	+	
	B7,5	+	-	

**Примечание:** «+» – производится «-» – не производится. Содержание микрозаполнителя не менее 50 % от массы цемента

Данные таблицы 1 справедливы для смесей с содержанием гранитного микрозаполнителя не менее 50 % от массы вяжущего.

В случае необходимости, большой расход вяжущего дает возможность получить более высокие классы прочности.

Из данных о теплофизических свойствах неавтоклавного газобетона на основе гранитоидного и песчаного микрозаполнителя, представленных в таблице 2, следует, что в целом наблюдается тенденция к снижению теплопроводности газобетона равной плотности, полученного на гранитоидном микрозаполнителе.

Таблица 2

Сравнительный анализ теплопроводности газобетона

Марка по плотности	$\lambda$ (в сухом состоянии), для ячеистого бетона на песчаном микрозаполнителе (значения по СТБ 1570-2005), Вт/(м·°C)	$\lambda$ (в сухом состоянии), для ячеистого бетона на гранитоидном микрозаполнителе, Вт/(м·°C)
1	2	3
D100	–	0,048
D150	0,055	0,055
D200	0,060	0,063
D250	0,070	0,071
D300	0,080	0,079
D350	0,090	0,087
D400	0,100	0,096
D450	0,110	0,105
D500	0,120	0,115
D550	0,130	0,126
D600	0,140	0,138
D650	0,160	0,151
D700	0,180	0,165
D750	0,200	0,180
D800	0,210	0,194
D900	0,240	0,224

Это очевидно связано с тем, что собственная теплопроводность кварцевой породы выше, чем гранитоидной (табл. 3).

Таблица 3

Характеристики сыпучих материалов, полученных из кварцевого песка и гранитоидного отсева, идентичных фракционных составов

Вид материала	Показатель	Ед. изм.	Кол-во	Изменение показателя, %
Кварцевый песок	Насыпная плотность в сухом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1380	100
	Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·К)	0,26	100
Гранитоидный отсев	Насыпная плотность в сухом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1520	110,1
	Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·К)	0,22	84,6

**Ячеистый бетон пониженной плотности для изготовления теплоизоляционных плит.** Лабораторный опыт внедрения в неавтоклавный ячеистый бетон микрокремнезема создал возможность получения образцов с беспрецедентно низкой плотностью. Графическая зависимость на рисунке 2 показывает, что полученный ячеистый бетон, имеющий плотность 100 кг/м<sup>3</sup>, имеет достаточную для теплоизоляционного материала прочность. Кубик с ребром 10 см способен выдержать без разрушения вес в 39 кг (при равномерно распределенной нагрузке).

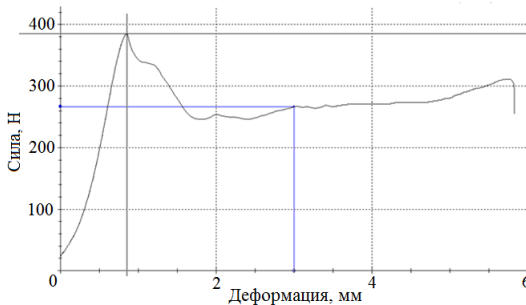


Рис. 2. График зависимости нагрузки от деформации при испытании образца-куба ребром 10 см (неавтоклавный ячеистый бетон плотностью 100 кг/м<sup>3</sup>)

Прочность такого ячеистого бетона составляет 0,039 МПа, теплопроводность – 0,048 Вт/(м·°С). Для сравнения: теплопроводность реализуемого на рынке РБ пеностекла [2] – 0,05 Вт/(м·°С), прочность – 0,6 МПа, плотность – 160 кг/м<sup>3</sup>. Если залить ячеистый бетон плотностью 100 кг/м<sup>3</sup> между двух 3-миллиметровых оболочек плотного бетона на гранитном микрозаполнителе, то можно получить хороший негорючий аналог дорогостоящему теплоизоляционному материалу (рис. 3).



Рис. 3. Теплоизоляционная плита из сверхлегкого ячеистого бетона

Расход цемента для таких теплоизоляционных панелей не превышает 50 кг на 1м<sup>3</sup> изделия.

Данный вид теплоизоляционных плит можно успешно использовать и при каркасном строительстве (рисунок 4).

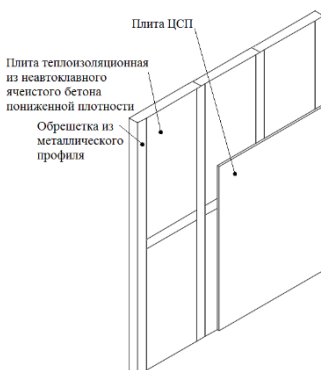


Рис. 4. Пример использования теплоизоляционных плит из неавтоклавноого ячеистого бетона пониженной плотности в возведении перегородки при каркасном строительстве





Для обеспечения термического сопротивления стены  $R_{т.норм} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$  толщина теплоизоляционной плиты должна быть не менее 150 мм. При размерах плиты  $600 \times 150 \times 1300$  мм ее вес не превысит 25 кг (с учетом плотных внешних оболочек и естественной влажности).





**Ячеистый бетон для изготовления теплоизоляционно-конструкционных блоков.** Для наглядной демонстрации эффективности технологии неавтоклавного ячеистого бетона на гранитоидном микрозаполнителе в сегменте конструкционно-теплоизоляционных стеновых материалов приведена таблица 4.

Таблица 4

Рекомендуемые аналоги стеновых блоков из неавтоклавного ячеистого бетона для популярных представителей из других материалов

Внешний вид	Класс (марка) по прочности на сжатие	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Размеры, мм	Масса блока, кг	Блоков в 1 м <sup>3</sup>	R <sub>т</sub> , кладки м <sup>2</sup> ·°С/Вт	Расход цемента на 1 м <sup>3</sup> , кг
1	2	3	4	5	6	7	8
Блок из арболита							
	B1,5	600	390×390×190	20	35	3,25	–
Аналог из ячеистого бетона неавтоклавного твердения для блоков из арболита							
	B1,5	450	350×600×200	20	24	3,33	294

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Керамзитобетонный блок строительный «ТермоКомфорт»							
	B2	650	400×340×240	22	313	3,39	–
Аналог из ячеистого бетона неавтоклавного твердения для керамзитобетонных блоков							
	B2	500	400×500×200	22	25	3,48	348
Блок керамический поризованный пустотелый пазо-гребневый							
	B2,5	950	250×250×188	13	85	0,71	–
Аналог из ячеистого бетона неавтоклавного твердения для блока керамического поризованного (под дополнительное утепление)							
	B2,5	600	250×600×200	20	34	1,81	404

**Направление использования технологии.** Как уже показано ранее, представленная технология подходит для производства штучных сборных изделий из неавтоклавного ячеистого бетона конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного назначения.

Возможно использование данной технологии в монолитном строительстве (для заливки стен малоэтажных зданий и заполнения

монолитных и сборных железобетонных каркасов высотных зданий) и при применении строительной 3D-печати (для теплоизоляции и упрочнения полостей распечатанной несъемной опалубки). При этом необходимо учитывать ряд ее особенностей.

Процесс вспучивания газобетона зависит от реологии смеси, в связи с этим по консистенции и особенностям процесса вспучивания ячеистобетонные смеси на гранитоидном микрозаполнителе можно разделить на два типа: первый тип - текучие-самовспучивающиеся; второй тип – вязкие-вибровспучивающиеся.

Текучие-самовспучивающиеся газобетонные смеси обладают высокой текучестью за счет относительно высокого содержания воды. В связи с этим газобетон, полученный из таких смесей, значительно уступает по прочности газобетону, полученному из смесей второго типа в уровне прочностных характеристик.

Вибровоздействие на опалубку (либо непосредственно на смесь погружными вибраторами) позволяет использовать вязкие-вибровспучивающиеся газобетонные смеси, которые характеризуются значительно большей прочностью газобетона, при том же расходе вяжущего. Помимо этого, процесс вспучивания таких смесей происходит более равномерно, что дает возможность избежать роста горбушки, которая уходит в отход.

**Заключение.** В НИИЛ БиСМ БНТУ разработана технология неавтоклавного ячеистого бетона, использующая в качестве одного из основных компонентов сравнительно новые для данного направления микрозаполнители, представленные низкофракционным гранитным отсевом ОАО «Гранит» и микрокремнеземом.

Данная технология позволяет существенно расширить ассортимент неавтоклавных ячеистых бетонов по классам прочности и прочности, представленный в СТБ 1570-2005.

Представленная технология весьма эффективна в сегменте производства штучных сборных конструкционно-теплоизоляционных стеновых элементов и теплоизоляционных панелей.

Кроме того, представленная технология может быть успешно использована в монолитном строительстве (для заливки стен малоэтажных зданий и заполнения монолитных и сборных железобетонных каркасов высотных зданий) и при применении строительной 3D-печати (для теплоизоляции и упрочнения полостей распечатанной несъемной опалубки).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самуйлов, Ю. Д. Неавтоклавный газобетон: технология получения, особенности применения в монолитном строительстве, разрушающий способ контроля прочности на сжатие / Ю. Д. Самуйлов // Проблемы современного бетона и железобетона. – 2016.
2. ПЕНОСТЕКЛО.БЕЛ // Официальный сайт [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://пеностекло.бел>. – Дата доступа: 19.05.2021.
3. Бетоны ячеистые. Технические условия : СТБ 1570-2005. – Введ. 01.01.1990. – Мн.: Минстройархитектуры, 2005. – 24 с.
4. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона : СН 277-80. – Введ. 07.02.1980. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 47 с.
5. Арболит-блок // Официальный сайт [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://arbolit-blok.by>. – Дата доступа: 21.05.2021.
6. ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» // Официальный сайт [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://www.keramzit.by>. – Дата доступа: 21.04.2021.
7. ОАО «Горьинский комбинат строительных материалов» // Официальный сайт [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://gorksm.by>. – Дата доступа: 08.05.2021.

УДК 691:620.179.1

### **ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА НА ФЕРРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АРМАТУРЫ**

*ЧИКУЛАЕВ Г. С., ЯКИМОВИЧ В. Д.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Железобетон широко известен как долговечный материал, в большинстве случаев не нуждающийся в какой-либо защите от воздействия внешней среды. Бетон, представляющий собой искусственный каменный материал, может быть изготовлен достаточно прочным и стойким к агрессивным воздействиям, а стальная арма-