

УДК 691.327.332

**ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ,
ОСОБЕННОСТИ РЕЦЕПТУРЫ, ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
И МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ**

Ю.Д. Самуйлов, Э.И. Батяновский

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
e-mail: ppublikatsii@mail.ru, but47@tut.by

Разработана технология изготовления ячеистого газобетона неавтоклавного твердения на основе микрозаполнителя из гранитного отсева, позволяющая получать ячеистые газобетоны на цементном вяжущем, твердеющие в нормальных условиях, без применения тепловлажностной обработки, а также в условиях ТВО, и соответствующие широкому диапазону марок по плотности и классов по прочности на сжатие, указанных в СТБ 1570-2005, представлены теплофизические характеристики данного материала. Разработана технология получения ячеистого газобетона пониженной плотности, с плотностью, не превышающей 125 кг/м³. Разработаны способ определения прочности на сжатие ячеистого бетона неразрушающим методом и прибор для его реализации, которые позволяют оценить прочностные характеристики ячеистого бетона непосредственно на объекте строительства.

Ключевые слова: цементное вяжущее, микрозаполнитель, микрокремнезем, гранитный отсев, ячеистый бетон, неавтоклавный газобетон, неразрушающий контроль прочности на сжатие.

**NON-AUTOCCLAVE HARDENING CELLULAR CONCRETES,
FEATURES OF THE FORMULATION, THE MAIN DIRECTIONS OF USE
AND THE METHOD OF COMPRESSIVE STRENGTH NON-DESTRUCTIVE TESTING**

Yu. Samuilov, E. Batoryanovskiy

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus
e-mail: ppublikatsii@mail.ru, but47@tut.by

The technology of manufacturing cellular aerated concrete of non-autoclave hardening based on a micro-filler made of granite screening has been developed. It allows you to obtain cellular aerated concrete on a cement binder, which harden under normal conditions, without the use of heat and moisture treatment, as well as with its use. The resulting aerated concrete corresponds to a wide range of density grades and compressive strength classes specified in STB 1570-2005. The thermo-physical characteristics of this material are presented. A technology has been developed for producing cellular aerated concrete of reduced density, with a density not exceeding 125 kg/m³. A method for determining the compressive strength of cellular concrete by a non-destructive method and a device for its implementation have been developed, which make it possible to evaluate the strength characteristics of cellular concrete directly at the construction site.

Keywords: cement binder, micro-filler, micro-silica, granite screening, cellular concrete, non-autoclaved aerated concrete, non-destructive testing of compressive strength.

Введение. Неавтоклавный газобетон – это вид ячеистого бетона, который твердеет в естественных условиях без применения дополнительной тепловлажностной обработки, что позволяет использовать его не только при изготовлении штучных изделий в заводских усло-

виях, но и в качестве строительного материала для монолитного бетонирования, а также при заполнение пустот конструкций, полученных в результате реализации технологии строительной 3D-печати. В связи с этим была разработана технология получения неавтоклавных ячеистых газобетонов различных классов по прочности на сжатие и марок по плотности. Данная технология дополнительно позволяет частично утилизировать крупные залежи отходов гранитного отсева предприятия РУПП «Гранит» (Синкевичский сельсовет, Лунинецкий район, Брестская область). Данный отсев успешно используется в качестве микрозаполнителя при изготовлении неавтоклавного газобетона. С целью контроля прочности ячеистого бетона непосредственно на строительной площадке был разработан способ определения его прочности на сжатие неразрушающим методом, а также прибор для реализации данного способа. Более подробные сведения о вышеуказанной информации, а также эксплуатационные характеристики неавтоклавного газобетона по предлагаемой технологии, приведены в данной статье.

Особенности рецептуры неавтоклавного газобетона на гранитном микрозаполнителе.

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 включал:

- дозирование и гомогенизацию компонентов для приготовления алюминиевой суспензии в отдельной емкости (вода+ПАВ (в качестве ПАВ использовался жидкий (Ср=30%) суперпластификатор «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;
- добавление гранитного микрозаполнителя в основную емкость для перемешивания и окончательное перемешивание всех компонентов газобетонной смеси.

Процесс вспучивания осуществляли в двух вариантах: либо путем выдержки формы с газобетонной смесью в состоянии покоя, либо с помощью воздействия на форму вибрированием на виброплощадке.

Формы с газобетонными образцами в течение 48 часовой выдержки (для последующей распалубки) укрывали полиэтиленовой пленкой во избежание потерь образцами влаги.

Срезку горбушки осуществляли с помощью возвратно-поступательного движения металлической проволоки, по аналогии с производственным приемом.

Тепловлажностную обработку образцов газобетона производили в течение 24 ч по режиму рисунка 1, в сушильном шкафу. Во избежание потерь влаги, перед началом тепловлажностной обработки извлеченные из форм образцы газобетона смачивали и укрывали полиэтиленовой пленкой.

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

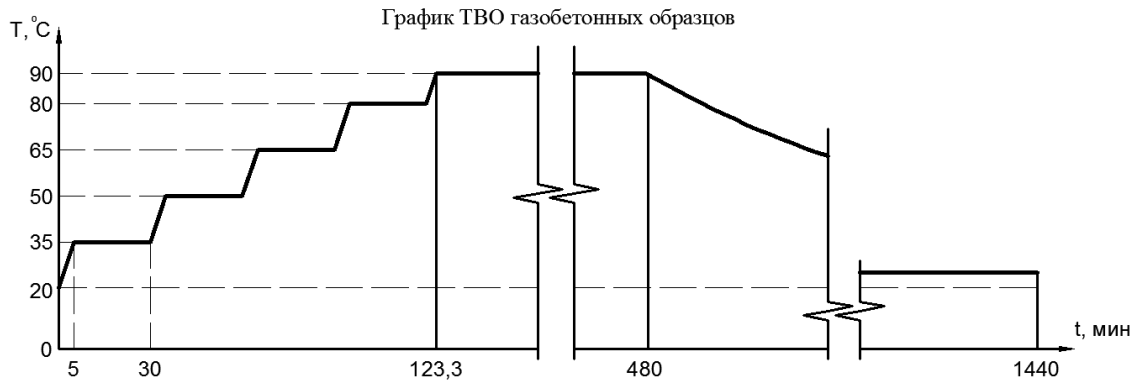


Рисунок 1. – График тепловлажностной обработки

Основные характеристики полученного ячеистого бетона. Результаты экспериментальных исследований предлагаемой технологии получения газобетона неавтоклавного твердения, основанной на использовании в качестве микрозаполнителя гранитного отсева с удельной поверхностью $S_{уд.} \geq 3000 \text{ см}^2/\text{г}$, приведены в таблице 1.

Данные таблицы 1 относятся к смесям с содержанием гранитного микрозаполнителя не менее 50% от массы вяжущего. В случае необходимости повышение расхода вяжущего дает возможность получать газобетон более высоких классов по прочности.

Показатели теплофизических свойств неавтоклавного газобетона на основе гранитного микрозаполнителя представлены в таблице 2 (см. далее).

Таблица 1. – Характеристики неавтоклавного газобетона по предлагаемой технологии (марки по плотности и классы прочности по СТБ 1570-2005)

Вид бетона	Марка по плотности	Класс прочности
1	2	3
Теплоизоляционный	D100	-
	D150	-
	D200	-
	D250	-
	D300	-
Теплоизоляционно-конструкционный	D350	B0,5
	D400	B0,5
		B0,75
		B1
		B1,5
	D450	B0,5
		B0,75
	D450	B1
		B1,5
		B2
		B2,5
	D500	B0,5
		B0,75
		B1
		B1,5
B2		
B2,5		
D550	B1	
	B1,5	
	B2	
	B2,5	
D600	B1,5	
	B2	
	B2,5	
		B3

Окончание таблицы 1

1	2	3
Теплоизоляционно- конструкционный	D650	B1,5
		B2
		B2,5
	D650	B3
		B3,5
	D700	B1,5
		B2
		B2,5
		B3,5
	D750	B4
		B2,5
	D800	B3,5
		B2,5
		B3,5
	D900	B5
B2,5		
B3,5		
B5		
Содержание микрозаполнителя не менее 50 % от массы цемента		

Таблица 2. – Теплопроводность газобетона

Марка по плотности	λ (в сухом состоянии), для ячеистого бетона на гранитном микрозаполнителе, Вт/(м·°C)
D100	0,048
D150	0,055
D200	0,058
D250	0,069
D300	0,079
D350	0,087
D400	0,096
D450	0,105
D500	0,115
D550	0,126
D600	0,138
D650	0,151
D700	0,165
D750	0,180
D800	0,194
D900	0,224

Ячеистый бетон пониженной плотности. Данный вид неавтоклавнога газобетона отличается тем, что вместо гранитного отсева при его изготовлении в качестве микрозаполнителя используется микрокремнезем.

Графическая зависимость рисунка 2 показывает, что полученный по разработанной технологии ячеистый бетон средней плотности 100 кг/м³ имеет достаточную для теплоизоляционного материала прочность. Кубы с ребром 10 см способны выдержать без разрушения равномерно распределенную нагрузку до 40 кГс при теплопроводности ~ 0,048 Вт/(м·°C).

Кроме этого, важным свойством газобетона является увеличение в объёме в процессе вспучивания смеси, что обеспечивает возможность бездефектного заполнения пазух несъёмных опалубок в монолитном строительстве, например, при возведении стеновых конструкций различного назначения. В частности, авторы статьи разрабатывают вариант сочетания технологии теплоизоляционного пониженной плотности газобетона с технологией 3D-бетонирования при возведении стеновых конструкций, в которых используются как теплозащитная, так и звукоизолирующая способности ячеистого газобетона. Так, например, для обеспечения нормируемого на данный момент времени термического сопротивления стены ($R_{т.норм} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) толщина теплоизоляционного слоя газобетона марки D100 может не превышать 150 мм.

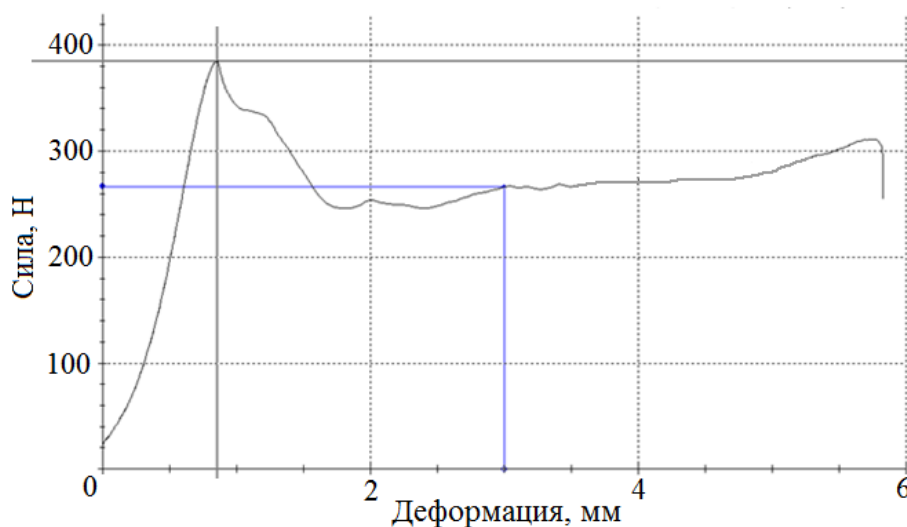


Рисунок 2. – График зависимости нагрузки от деформации при испытании образца-куба ребром 10 см (неавтоклавный ячеистый бетон плотностью 100 кг/м³)

Направление использования технологии неавтоклавного газобетона. Газобетоны неавтоклавного твердения рекомендуется использовать как в заводском производстве (при изготовлении штучных изделий в заводских условиях: стеновых блоков, лотковых блоков, перемычек, арочных перемычек, плит перекрытия, теплоизоляционных плит) так и в качестве строительного материала для монолитного бетонирования полостей съёмных и несъёмных опалубок при монолитном строительстве, а также данный строительный материал подходит для использования при заполнении полостей конструкций, полученных в результате реализации на объектах строительства технологии строительной 3D-печати.

Новый способ определения прочности на сжатие газобетона неразрушающим методом, и прибор для его реализации. С целью обеспечения возможности осуществления максимально точного оперативного неразрушающего контроля прочности газобетона на строительной площадке был разработан новый прибор, который механическим способом, методом упругопластической деформации, позволяет с высокой точностью определить прочность газобетона на сжатие непосредственно на объекте строительства.

Прибор предназначен для определения прочности на сжатие ячеистых бетонов (газо- и пенобетонов автоклавного и неавтоклавного твердения) неразрушающим методом (по СТБ 2264-2012).

Может использоваться для определения прочности как штучных изделий (блоков, панелей и т. д.), так и монолитных конструкций.

Прибор состоит из следующих элементов (рисунок 3): корпус 1, боек с индентором 2, пружина 3 и толкатель со штоком 4, насадка фиксирующая длину деформации пружины 5, шкала 6, ударная шайба 7, амортизирующая резиновая накладка 8, крышка корпуса 9.

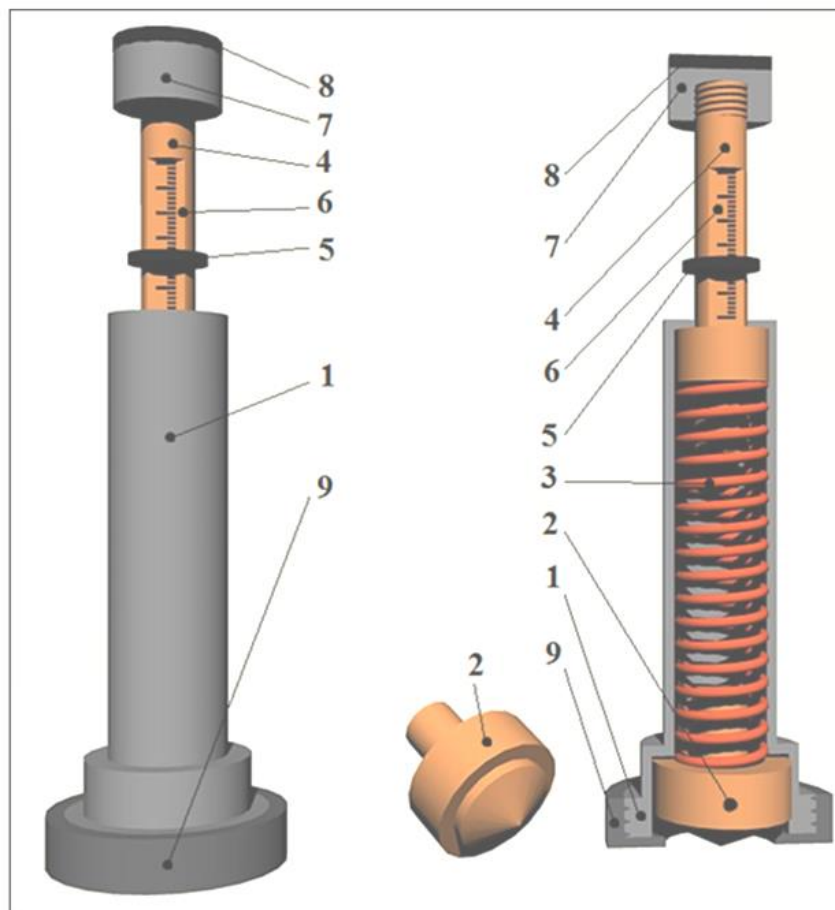


Рисунок 3. – Устройство прибора

Прибор работает следующим образом (рисунок 2): прибор устанавливается на гладкую поверхность испытуемого образца таким образом, чтобы ноль шкалы 6 (нижняя риска шкалы 6) был заподлицо с верхней гранью корпуса 1. Фиксирующая насадка 5 устанавливается на ноль шкалы 6 (опускается на верхнюю грань корпуса 1). По ударной шайбе 7 наносится осевой удар любым тяжелым предметом (желательно молотком), при ударе корпус 1 прибора необходимо прижать к поверхности испытуемого образца, чтобы не допустить перекоса корпуса 1 и отрыва его от поверхности испытуемого образца. От удара толкатель 4 сжимает пружину 3, опускаясь вниз по полости корпуса 1, при этом фиксирующая насадка 5 поднимается вверх по шкале 6, т.к. упор в верхнюю грань корпуса 1 не дает фиксирующей насадке 5 опуститься вместе с толкателем 4. Пружина 3 передает усилие от удара молотка на боек с индентором 2, после чего индентор вдавливаются в поверхность испытуемого образца, оставляя на ней конусообразный отпечаток. Рабочая поверхность индентора имеет коническую форму, следовательно, чем глубже проникновение индентора в тело испытуемого образца, тем больше диаметр отпечатка на поверхности последнего. После возврата пружины 3 в исходное положение толкатель 4 поднимается на свое место, а фиксирующая насадка 5, плотно обжимающая шток толкателя, остается неподвижной относительно штока, тем самым фиксируя длину деформации пружины 3 на шкале 6.

Далее снимаются показания шкалы b (L, усл. ед.), которые характеризуют силу удара, а также замеряется диаметр отпечатка (D , мм) от индентора на поверхности испытуемого образца. Затем высчитывается коэффициент K , по формуле:

$$K = \frac{L - 0,334 \cdot D}{D^2}. \quad (1)$$

Коэффициент K характеризует прочность на сжатие испытуемого образца. Прочность на сжатие (R) испытуемого образца в МПа определяют по графической зависимости $R(K)$ или по формуле:

$$R = K \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\text{сп}}, \text{ МПа}, \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{сп}}$ - это угол между осью «OK» и графиком линейной зависимости $R(K)$.

Характер графической зависимости $R(K)$ (рисунок 4) зависит от вида ячеистого бетона, способа твердения, влажности поверхностных слоев.

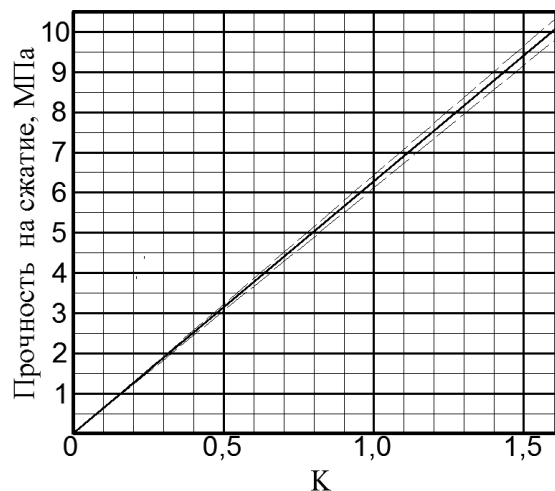


Рисунок 4. – Пример кривой $R(K)$ для газобетона на гранитоидном микрозаполнителе

Особенности эксплуатации прибора.

1. Для получения наиболее точных показаний рабочую поверхность испытуемого образца необходимо сточить угловой шлифмашиной с абразивным кругом на $5 \div 10$ мм. При испытании штучных изделий из ячеистого бетона прибор следует устанавливать на поверхность свежего спила. Рабочая поверхность испытуемых образцов должна быть ровной, чтобы прибор прилегал плотно.

2. Нельзя допускать попадания пыли в трущиеся элементы прибора, это может усложнить ход подвижных элементов.

3. Следует следить за чистотой индентора.

4. Не допускается проверять работу прибора на твердых поверхностях (металл, тяжелый бетон и т. д.). Это может вызвать пластическую деформацию конического индентора и испортить прибор.

5. При затруднении хода подвижных частей в корпусе прибора необходимо открутить крышку корпуса, достать их, отчистить от пыли и старой загрязнившейся смазки, смазать свежим моторным маслом.

6. Удар по ударной шайбе прибора должен быть максимально осевым, чтобы не согнулся шток толкателя.

7. Сила удара не должна превышать диапазон шкалы на штоке толкателя.

8. Следует предохранять прибор от длительного воздействия влаги (во избежание появления коррозии).

9. Резьба на элементах прибора должна быть чистой и смазанной моторным маслом. Любое попадание пыли, грязи, частиц бетона на резьбу любого из элементов может привести к заклиниванию резьбового соединения. Следовательно, разборку и сборку прибора следует проводить только в чистых условиях, предварительно протерев прибор от грязи и пыли.

Таблица 2. – Технические характеристики прибора

Показатель	Единица измерения	Величина
Размеры: -высота прибора; -наружный диаметр крышки корпуса; -наружный диаметр корпуса;	мм	220 65 33
Диапазон измерений	МПа	0-10,00
Относительная погрешность измерений	%	±5
Масса прибора	кг	1,04

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 1570-2005. Бетоны ячеистые. Технические условия [Текст]. – Введ. 1990-01-01. – Мн.: Минстройархитектуры, 2005. – 24 с.
2. СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона [Текст]. – Введ. 1980-02-07. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 47 с.
3. Ю.Д. Самуйлов Неавтоклавный газобетон: технология получения, особенности применения в монолитном строительстве, неразрушающий способ контроля прочности на сжатие / Ю.Д. Самуйлов // Проблемы современного бетона и железобетона. – 2016.
4. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – Введ. 2016-02-01. – М.: Стандартиформ, 2013. – 36 с.
5. ГОСТ 12730.2-78. Бетоны. Метод определения влажности [Текст]. – Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартиформ, 2007. – 4 с.
6. ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности [Текст]. – Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартиформ, 2007. – 5 с.
7. СТБ 1618-2006. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме [Текст]. – Введ. 2006-07-01. – Мн.: Минстройархитектуры, 2005. – 16 с.
8. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности [Текст]. – Введ. 2013-11-01. – М.: Стандартиформ, 2012. – 16 с.
9. СТБ 2264-2012. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – Мн.: Минстройархитектуры, 2012. – 22 с.