

Самуйлов Юрий Дмитриевич, магистр технических наук, аспирант,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Беларусь)

Yuri Samuilov, Master of Engineering, PhD student, Belarusian National
Technical University, Minsk (Belarus)

НЕАВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН: ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ, ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В МОНОЛИТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETE: PRODUCTION TECHNOLOGY, FEATURES OF APPLICATION IN MONOLITHIC CONSTRUCTION, NON-DESTRUCTIVE METHOD OF COMPRESSIVE STRENGTH CONTROL

АННОТАЦИЯ

Широкое применение ячеистого бетона в строительной сфере и поиски наиболее эффективных способов возведения строительных конструкций заставляют еще раз взглянуть на возможности модернизации уже существующих технологий неавтоклавного ячеистого бетона. Наличие на белорусских промышленных предприятиях отходного сырья, требующего полезной утилизации, открывает доступ к легко доступным строительным материалам, которые могут помочь улучшить качество и уменьшить стоимость производства неавтоклавного ячеистого бетона путем снижения расхода цемента. Неавтоклавные ячеистые бетоны производятся в основном на цементном вяжущем. Это позволяет использовать для их производства инертный заполнитель, который не принимает непосредственного участия в процессе твердения ячеистого бетона. Мельчайшие фракции гранитного

отсева ОАО «Гранит», являющиеся отходом дробления гранитной породы, показали хорошую применимость в производстве ячеистого газобетона. Этот сыпучий материал был успешно внедрен в качестве микрозаполнителя в состав неавтоклавной ячеистобетонной смеси, на основе которой был получен широкий ассортимент ячеистого бетона различной плотности и прочности. В данной статье представлено описание технологии получения неавтоклавного газобетона на инертном заполнителе из молотых гранитных пород, а также приведены результаты ее лабораторного апробирования. Показано, что данная технология позволяет получать неавтоклавный газобетон в более широком диапазоне плотности и прочности на сжатие. Намечены направления ее применения в строительной отрасли. Указаны некоторые особенности использования газобетонных смесей, полученных по данной технологии, в монолитном строительстве. Описан новый способ определения прочности на сжатие газобетона неразрушающим методом, представлено устройство для его реализации. Отличительной чертой данного способа является высокая точность показаний, надежность и автономность от дополнительных источников электроэнергии.

ABSTRACT

The wide use of cellular concrete in the construction industry and finding the most effective ways of erection of building structures are forced to look again at the possibility of upgrading existing technology non-autoclaved aerated concrete. The presence on the Belarusian industrial enterprises of the mineral waste that will require disposal is useful, provides access to affordable building materials that can help to improve the quality and reduce the cost of production of non-autoclaved aerated concrete by reducing the cement consumption. Non-autoclaved aerated concretes are produced mainly for the cement binder. This allows you to use for their production of inert filler, which is not directly involved in the process of hardening cellular concrete. The smallest fractions of granite screenings, JSC «Granit», which is a waste crushing granite rocks showed a good applicability in the production of cellular concrete. This bulk material was successfully introduced as the filler in the composition

of non-autoclaved cellular concrete mixture, which was obtained a wide range of cellular concrete of different densities and strength. The article presents the description of technology of obtaining non-autoclaved aerated concrete on inert filler from crushed granite rock and the results of its laboratory testing. It is shown that this technology allows to obtain non-autoclaved aerated concrete in a wider range of density and compressive strength. Directions of its application in the construction industry. There are some of the features of the use of concrete mixtures produced according to this technology, in monolithic construction. Described a new method for determining of compressive strength of aerated concrete non-destructive method, presents the device for its realization. A distinctive feature of this method is high accuracy, reliability and independence from additional sources of electricity.

Ключевые слова: неавтоклавный газобетон, гранитоидный микрозаполнитель, микрокремнезем, новый неразрушающий метод контроля прочности на сжатие.

Keywords: non-autoclaved aerated concrete, granitoid microfiller, microsilica, a new non-destructive inspection method of the compressive strength.

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь широко распространена практика применения ячеистого бетона в различных видах строительства. Большие объемы данного строительного материала идут на стеновые заполнения железобетонных каркасов многоэтажных жилых и производственных зданий, выполняемых по технологиям сборного, монолитного и сборно-монолитного строительства. Не меньшее распространение ячеистый бетон получил и в малоэтажной жилой застройке.

Современная неавтоклавная технология производства ячеистого бетона позволяет работать в монолитном строительстве, кроме того, минимизирует номенклатуру используемого при производстве ячеистого бетона оборудования, позволяя мелким и средним производственным предприятиям осваивать данный

сегмент производственной деятельности. Неавтоклавный ячеистый бетон твердеет не только в камерах ТВО (тепло-влажностной обработки), но и в обычных атмосферных условиях, что позволяет избежать существенных энергетических затрат при его использовании.

Однако до сих пор стоит вопрос о повышении качества неавтоклавного ячеистого бетона. На сегодняшний день он значительно уступает по своим прочностным характеристикам ячеистому бетону, выполненному по автоклавной технологии. В связи с этим предпринята попытка усовершенствовать технологию неавтоклавного ячеистого бетона с целью повышения его качества.

Одним из путей повышения качества неавтоклавного ячеистого бетона выбрано использование гранитоидного микрозаполнителя, полученного размельчением гранитного отсева ОАО «Гранит» (г. Микашевичи, Брестская обл.), что одновременно направленно на решение задачи расширения использования гранитного отсева в сфере производства ячеистого бетона.

Для широкого использования неавтоклавного ячеистого бетона в монолитном строительстве необходимо создать возможность контроля его прочностных характеристик непосредственно на объекте строительства. С этой целью разработан механический способ неразрушающего контроля прочности ячеистого бетона на сжатие, который позволяет решить данную задачу.

Кроме проверки прочностных характеристик ячеистого бетона в конструкциях, данный способ позволяет также с высокой точностью оценить прочность штучных изделий из ячеистого бетона, что может помочь оперативно выявить некачественную продукцию индустриального производства до того, как будет произведен ее монтаж.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 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 часов 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 мультисоставной 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.

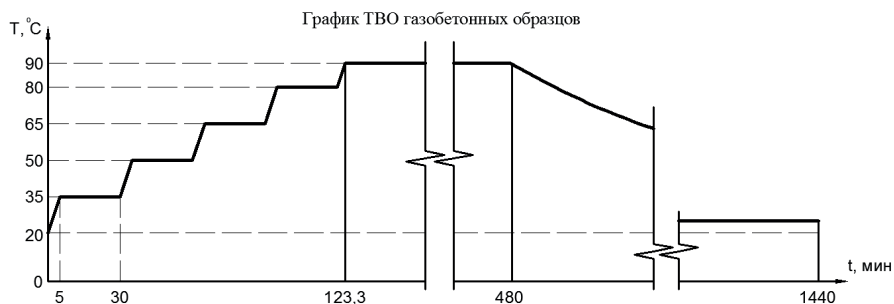


Рисунок 1. График тепловлажностной обработки

Тепловлажностная обработка образцов газобетона производилась в течение 48 часов (два цикла) по режиму, указанному на рисунке 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 часов (1 цикл), режим сушки аналогичен режиму на рис. 1; остаточная влажность образцов газобетона на выходе не превышала 5 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОБЕТОНА

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, что предлагаемая неавтоклавная технология позволяет получить те классы прочности (для некоторых марок плотности) ячеистого бетона, которые ранее были недоступны для «безавтоклавной» технологии.

Таблица 1

**Сравнительный анализ характеристик
неавтоклавного газобетона**

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	+	+
	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		–	+	

1	2	3	5	6
Теплоизоляционно-конструкционный	D650	B1,5	+	+
		B2	+	+
		B2,5	+	+
	D650	B3	–	+
		B3,5	–	+
	D700	B1,5	+	+
		B2	+	+
		B2,5	+	+
		B3,5	+	+
	D750	B4	–	+
		B2,5	+	+
		B3,5	+	+
	D800	B5	+	–
		B2,5	+	+
		B3,5	+	+
	D900	B5	+	+
		B2,5	+	+
		B3,5	+	+
B7,5		+	–	
«+» – производится				
«–» – не производится				
Содержание микрозаполнителя не менее 50% от массы цемента				

Данные таблицы 1 справедливы для смесей с содержанием гранитоидного микрозаполнителя не менее 50% от массы вяжущего. В случае необходимости больший расход вяжущего дает возможность получить более высокие классы прочности.

Из данных о теплофизических свойствах неавтоклавногазобетона на основе гранитоидного и песчаного микрозаполнителя, представленных в таблице 3, следует, что в целом наблюдается тенденция к снижению теплопроводности газобетона равной плотности, полученного на гранитоидном микрозаполнителе. Это, очевидно, связано с тем, что собственная теплопроводность кварцевой породы выше, чем гранитоидной (табл. 2).

Поэтому при равной средней плотности ячеистого бетона (то есть примерно одинаковой пористости структуры) этот фактор обеспечивает снижение теплопроводности образцов газобетона на гранитоидном микрозаполнителе.

Таблица 2

**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 ³	1380	100
	Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·К)	0,26	100
Гранитоидный отсев	Насыпная плотность в сухом состоянии	кг/м ³	1520	110,1
	Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·К)	0,22	84,6

Таблица 3

Сравнительный анализ теплопроводности газобетона

Марка по плотности	λ (в сухом состоянии), для ячеистого бетона на песчаном микрозаполнителе (значения по СТБ 1570–2005), Вт/(м·°С)	λ (в сухом состоянии), для ячеистого бетона на гранитоидном микрозаполнителе, Вт/(м·°С)
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

НАПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Кроме производства штучных сборных изделий, возможно использование данной технологии в монолитном строительстве. 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 уровню прочности газобетону, полученному из смесей второго типа.

Вибровоздействие на опалубку 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.

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.

Применение

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.

Устройство и принцип работы

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

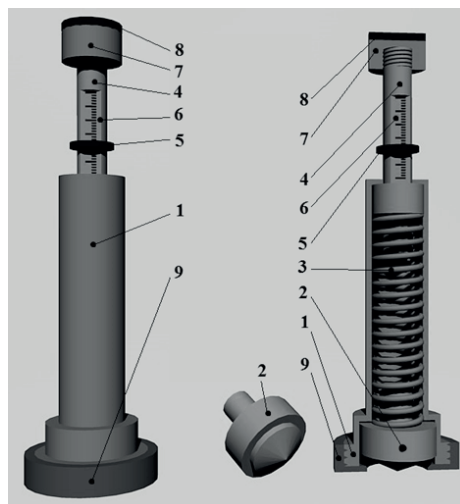


Рисунок 2. Устройство прибора

Прибор работает следующим образом (рис. 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 6 (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:

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

где α_{cp} – это угол между осью «OK» и графиком линейной зависимости $R(K)$.

Характер графической зависимости $R(K)$ (рис. 3) зависит от вида ячеистого бетона, способа твердения, влажности поверхностных слоев.

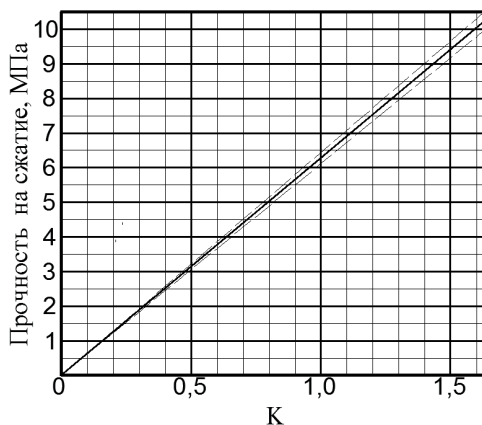


Рисунок 3. Пример кривой $R(K)$ для газобетона на гранитоидном микрозаполнителе

Особенности эксплуатации прибора

1. Для получения наиболее точных показаний рабочую поверхность испытываемого 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 испытываемых образцов должна быть ровной, чтобы прибор прилегал плотно.
2. Нельзя допускать попадания пыли в трущиеся элементы прибора, это может усложнить ход подвижных элементов.
3. Необходимо 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, очистить от пыли и старой загрязнившейся смазки, смазать свежим моторным маслом.
6. Удар по ударной шайбе прибора должен быть максимальным 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 4

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты исследований технологии получения газобетона на неавтоклавногo твердения на гранитоидном микрозаполнителе подтвердили возможность успешного использования гранитного отсева в производстве неавтоклавногo газобетона.
2. Результаты продемонстрировали расширение диапазона прочностей и плотностей газобетона, который можно получить без применения автоклавирования.
3. Сравнительный анализ теплофизических характеристик газобетонов на различных микрозаполнителях показывает, что газобетоны на гранитоидном микрозаполнителе

- характеризуются большим сопротивлением теплопередаче, чем газобетоны на песчаном микрозаполнителе.
4. Предложенная технология позволяет получать газобетонные смеси, которые могут быть применены при монолитном бетонировании и при этом позволяют получать классы ячеистого бетона по прочности, обеспечивающие необходимые и достаточные условия их применения в этом варианте строительства.
 5. Разработан новый прибор, позволяющий с высокой точностью определять прочность газобетона на сжатие неразрушающим методом непосредственно на объекте строительства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТБ 1570–2005. Бетоны ячеистые. Технические условия [Текст].–Введ. 2006–07–01.–Мн.: Минстройархитектуры, 2005.– 15 с.
2. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст].–Введ. 2016–02–01.–М.: Стандартинформ, 2013.– 36 с.
3. ГОСТ 12730.2–78. Бетоны. Метод определения влажности [Текст].–Введ. 1980–01–01.–М.: Стандартинформ, 2007.– 4 с.
4. ГОСТ 12730.1–78. Бетоны. Методы определения плотности [Текст].–Введ. 1980–01–01.–М.: Стандартинформ, 2007.– 5 с.
5. СТБ 1618–2006. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме [Текст].–Введ. 2006–07–01.–Мн.: Минстройархитектуры, 2005.– 16 с.
6. ГОСТ 18105–2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности [Текст].–Введ. 2013–11–01.–М.: Стандартинформ, 2012.– 16 с.
7. СТБ 2264–2012. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности [Текст].–Введ. 2013–01–01.–Мн.: Минстройархитектуры, 2012.– 22 с.

REFERENCES

1. STB1570–2005. *Betony yacheistye. Tehnicheskie usloviya* [Aerated concrete. Technical conditions]. Minsk: Minstroyarhitektury, 2005. 15 p. (rus)
2. GOST 10180–2012. *Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrolnym obraztsam* [Concretes. Methods for determining the strength of control samples]. Moscow: Standartinform, 2013. 36 p. (rus)
3. GOST12730.2–78. *Betony. Metod opredeleniya vlazhnosti* [Concretes. The method of determining the moisture]. Moscow: Standartinform, 2007. 4 p. (rus)
4. GOST 12730.1–78. *Betony. Metod opredeleniya plotnosti* [Concretes. Methods for determining the density]. Moscow: Standartinform, 2007. 5 p. (rus)
5. STB1618–2006. *Materialy i izdeliya stroitelnye. Metod opredeleniya teploprovodnosti pristatsyonarnom teplovom rezhime* [The construction materials and products. Determination method of thermal conductivity at a stationary thermal mode]. Minsk: Minstroyarhitektury, 2005. 16 p. (rus)
6. GOST 18105–2010. *Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti* [The concretes. Rules of monitoring and evaluation strength]. Moscow: Standartinform, 2012. 16 p. (rus)
7. STB2264–2012. *Ispytaniye betona. Nerazrushayushchiy control prochnosti* [Test of concrete. Non-destructive testing of strength]. Minsk: Minstroyarhitektury, 2012. 22p. (rus)

Статья поступила в редколлегию 22.11.2016.