

Вадим Викторович ОПЕКУНОВ, доктор технических наук, профессор кафедры  
"Технология бетона и строительные материалы"  
Белорусского национального технического университета  
Юрий Витальевич СКОРИНА, заместитель директора ООО "Наноконт"

## ЦЕМЕНТНЫЙ ГАЗОБЕТОН В СТЕНЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ОБЪЕКТА

### THE POWER EFFICIENT WALL OF AERATED CONCRETE CEMENT

Приведены данные о физико-механических и деформативных свойствах цементного газобетона с добавкой техногенного волокна в виде использованной кордной ткани. Показано, что происходит не только утилизация техногенного волокна, но и возрастает прочность на сжатие цементного газобетона. Использованная кордная ткань может быть применена при монолитном бетонировании стен из цементного газобетона.

Presents data on the physico-mechanical and the deformation properties of aerated concrete cement with the addition of the manmade fibers in the form of a used tyre cord fabric. It is shown, that involves not only the recycling of technogenic fiber, but also increased compressive strength and flexural strength of aerated concrete cement. Used cord fabric can be applied for monolithic concrete walls made of aerated concrete cement.

#### ВВЕДЕНИЕ

Строительство энергоэффективных объектов предполагает массовое использование сборных и монолитных изделий из пористых бетонов (ПБ) с улучшенными физико-техническими свойствами. В Республике Беларусь производят ПБ в основном в виде ячеистых бетонов на основе различных вяжущих систем (синтетических, гидратационных, смешанного типа) [1].

Качественный ячеистый бетон может быть получен путем поризации формовочной смеси, содержащей вяжущую систему и дисперсные неорганические заполнители с различной химической активностью. Основная номенклатура сборных изделий из ячеистых бетонов приведена в [1]. Там же рассмотрен физико-химический смысл терминов "ячеистый бетон автоклавного твердения" (допустимо — автоклавный ячеистый бетон) и "ячеистый бетон неавтоклавного твердения" (допустимо — неавтоклавный ячеистый бетон). Для обозначения цементных (гидратационных) неавтоклавных ячеистых бетонов, например, в Украине введен термин "бетоны ячеистые естественного твердения" (ТУ У В.2.7-26.6-32843212-001-2004).

В Республике Беларусь массово производят различные качественные сборные изделия из автоклавного (синтетического) ячеистого бетона в виде газобетона на известково-цементном вяжущем и молотом кварцевом песке. Вследствие ряда технических причин сборные стеновые изделия (блоки, плиты) из автоклавных пенобетонов производят в очень ограниченных объемах.

Номенклатура и области применения изделий из автоклавного газобетона (АГБ) со средней плотностью  $\rho$  в диапазоне 400–600 кг/м<sup>3</sup> существенно обширнее, чем у изделий из цементного неавтоклавного газобетона (далее — цементный газобетон), которые можно применять в энергоэффективном строительстве с некоторыми ограничениями. Указания по применению и эксплуатации блоков из ячеистых бетонов на основе различных вяжущих систем приведены в СТБ 1117 [2].

При возведении стен и перегородок, например в малоэтажных объектах, допустимо использование конструкционно-теплоизоляционного цементного газобетона и соответствующих сборных изделий. Наряду с производством сборных изделий представляется

целесообразным развивать и технологию монолитного возведения ограждающих конструкций (залитка газобетонной смеси в съемную или несъемную опалубку в построечных условиях) из цементного газобетона с  $\rho = 400\text{--}500$  кг/м<sup>3</sup>.

Цель работы — исследование физико-механических и деформативных свойств цементного газобетона в ранние сроки твердения (в возрасте 28 сут) в атмосферных (естественных) условиях при положительной температуре.

#### СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНАХ

В технологиях производства традиционного АГБ и цементного газобетона реализованы различные принципы микро(нано)структурообразования. Степень завершенности микро(нано)структурообразования в ячеистых бетонах может характеризоваться параметром  $S \rightarrow C_{\max} = 1$ . В АГБ процесс твердения (формирования долговечной микро(нано)структуры гидросиликатной матрицы со степенью завершенности структурообразования  $C_{\text{АГБ}} \sim C_{\max} \rightarrow 1$ ) заканчивается после автоклавирования при давлении не менее 1,0 МПа. У бетонов автоклавного твердения  $S$  — параметр, характеризующий достигнутый уровень технологии.

В случае принятия когезионной прочности  $R$  (далее — прочность) в качестве параметра оптимизации за характеристику  $S$  микро(нано)структуры в АГБ можно принять суммарное содержание после автоклавирования гидросиликатов кальция (ГСК) 11,30 Å и CSH(V), которые определяются по данным рентгенофазового анализа (по величине дифракционных максимумов 1,83; 3,07 и 11,30 Å).

Массовая доля новообразований  $n$  в основном в виде ГСК и гидроалюминатов кальция (ГАК) в рядовом автоклавном газобетоне с  $\rho = 500$  кг/м<sup>3</sup> составляет  $n_1 \approx 47$  мас. % (вяжущее: микрозаполнитель  $\approx 41$  %:59 %; табл. 1), в рядовом цементном газобетоне —  $n_2 \approx 49$  мас. % (вяжущее: микрозаполнитель  $\approx 45$  %:55 %; табл. 2). Практически  $n_1 \approx n_2$ , поэтому причиной пониженной прочности и повышенной деформативности цементного газо-

Таблица 1. Примерный состав формовочной смеси и автоклавного газобетона с  $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ 

Компонент формовочной смеси и автоклавного газобетона	Содержание компонента, $\text{кг/м}^3$
Портландцемент (ПЦ) бездобавочный	80
Известково-песчаное вяжущее (состава И:П = 1,0:1,3; активность ИПВ — около 40 %), в т. ч.: известь негашеная ( $A_v \approx 74 \%$ ) песок молотый (содержание $\text{SiO}_2$ -кварца $\approx 92 \%$ )	160 70 (в пересчете на $A_v = 100 \% \approx 52$ ) 90 (в пересчете на $100 \% \approx 83$ )
СаО-известь в реакции синтеза ( $C/S \approx 0,8-1,0$ )	52
Песок кварцевый молотый (в шламе)	220 (в пересчете на $100 \% \text{ SiO}_2$ -кварца $\approx 202$ )
Песок (микрозаполнитель)	310
Активный $\text{SiO}_2$ -кварц в песке (в микрозаполнителе)	285
Активный $\text{SiO}_2$ -кварц в реакции синтеза ( $C/S \approx 0,8-1,0$ )	52
Песок в реакции синтеза	$\approx 57$
Песок-микрозаполнитель (инертный)	253
Молотый минеральный микрозаполнитель (или сухой, или в шламе, или в составе ПЦ с минеральной добавкой)	—
Исходные сухие компоненты смеси	$80 + 160 + 220 = 460$
Реакционноспособные твердые компоненты (при $C/S = \text{И/П} \approx 0,8-1,0$ )	$80 + 52 + 57 = 189$ , вяжущее:микрозаполнитель = $= 189:271 = 1:1,43 \approx 41\%:59\%$
Твердые компоненты в бетоне	$1,2 \cdot 189 + 253 \approx 480$
Новообразования в бетоне (в основном в виде синтетических ГСК с $C/S = \text{И/П} \approx 0,8-1,0$ )	$1,2 (80 + 52 + 57) = 1,2 \cdot 189 \approx 227$
Примечания: 1. И — известь; П — песок; $A_v$ — активность извести; ИПВ — известково-песчаное вяжущее; ПЦ — портландцемент. 2. Примерная доля новообразований — 47 мас. %.	

Таблица 2. Примерный состав формовочной смеси и цементного неавтоклавного газобетона с  $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ 

Компонент формовочной смеси и цементного неавтоклавного газобетона	Содержание компонента, $\text{кг/м}^3$
Портландцемент (ПЦ) бездобавочный	200 (клинкера $\approx 190$ )
$\text{SiO}_2$ -кварц в песке (в микрозаполнителе)	$\approx 120$
Молотый минеральный микрозаполнитель (или сухой, или в шламе, или в составе ПЦ с минеральной добавкой)	240
Исходные сухие компоненты в смеси	$200 + 240 = 440$
Реакционноспособные твердые компоненты	200, вяжущее:микрозаполнитель = $= 200:240 = 1:1,2 \approx 45\%:55\%$
Твердые компоненты в бетоне	$1,2 \cdot 200 + 240 \approx 480$
Новообразования в бетоне (в основном в виде ГСК и ГАК гидратационного происхождения)	$1,23 \cdot 190 \approx 234$
Примечание — Примерная доля новообразований — 49 мас. %.	

бетона является качество его CSH-геля, в котором при обычных условиях в ранние сроки твердения (например, в возрасте 28 сут) содержится увеличенное количество ГСК с низкой степенью закристаллизованности. В цементном газобетоне процесс набора прочности носит монотонно-длительный характер (практически до 2–3 лет в зависимости от средней плотности, условий твердения изделий и других факторов).

При рассмотрении параметра  $C$  у цементного газобетона следует учитывать действие фактора времени  $\tau$ , то есть  $C_{\text{цнГБ}} = \psi(\tau)$ . Отсюда следует, что и прочность, и усадка  $U$ , и теплопроводность  $\lambda$ , и коэффициент размягчения, и морозостойкость этих бетонов также изменяются во времени. При современном уровне технологии производства изделий из цементного газобетона имеет место соотношение  $C_{\text{цнГБ}} < C_{\text{аГБ}}$ .

Прочность (основной параметр качества ячеистых бетонов) цементных газобетонов на плотных микрозаполнителях зависит от тех же факторов, что и прочность автоклавного газобетона. При заданном уровне  $\rho$  прочность газобетона существенно зависит от факторов, описывающих структурно-механические свойства цементирующей матрицы, микрозаполнителя и контактного слоя между ними (уточненная формула по сравнению с формулой, приведенной в [1])

$$R = f(P_{K(K=1-3)}, R_a, R_m, R_c, C, A, D, U, L), \quad (1)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  — функции, характеризующие распределение соответственно капиллярных, воздушных и газовых пор в матрице;

$R_a$  — функция, характеризующая прочность адгезионного контакта "микрозаполнитель — матрица";  
 $R_m$  — функция, характеризующая когезионную прочность матрицы;  
 $R_c$  — параметр (или функция), характеризующий когезионную прочность микрозаполнителя;  
 $C$  — степень (функция) завершенности структурообразования матрицы ( $C_{\max} \rightarrow 1$ );  
 $A$  — анизотропия прочности;  
 $D$  — параметр однородности;  
 $U$  — усадка;  
 $L$  — класс среды эксплуатации конструкций по СТБ 1544 [3].

Прочность ячеистых бетонов зависит также от уровня эксплуатационной влажности  $W$ , температуры  $T$  и скорости возрастания нагрузки, а также от деформаций ползучести и набухания. Уровень  $R$  ячеистых бетонов при использовании активированных микрозаполнителей может быть повышен не только за счет формирования улучшенного фазового состава новообразований и увеличения  $R_m$ , а также вследствие повышения  $R_a$ . Параметры  $D$  и  $A$  (см. (1)) существенно зависят от способов смешения компонентов (конструкции смесителя) и формирования массивов ячеистого бетона (литьевой, вибрационный, ударный).

#### ЦЕМЕНТНЫЙ ГАЗОБЕТОН — СТЕНОВОЙ МАТЕРИАЛ

При изготовлении цементного газобетона с  $\rho = 400\text{--}500 \text{ кг/м}^3$  в качестве минерального микрозаполнителя могут быть использованы не только традиционные кремнеземистые материалы по ТКП 5.03-137 [4] с высоким содержанием кварца, но и другие плотные и прочные дисперсные материалы из горных пород и/или техногенных продуктов с размером частиц не более 100 мкм.

Уровень  $R$  ячеистых бетонов может быть существенно повышен путем использования добавок в виде различных долговечных (щелочестойких) волокнистых наполнителей (ВН). Наличие ВН с необходимой прочностью адгезионного контакта "ВН — гидросиликатная матрица" ( $R_{\text{аВН}}$ ) способствует уменьшению усадки бетона  $U$ . Вследствие низкого содержания гелеобразной составляющей синтетические (автоклавно происхождения) ГСК и ГАК подвержены усадке, ползучести и набуханию в меньшей степени, чем ГСК и ГАК — продукты гидратации минералов портландцементного клинкера.

Наиболее детально изучены деформативные свойства тяжелых конструкционных бетонов при классе среды эксплуатации изделий  $L \rightarrow X0$  (см. [3] — среда без признаков агрессии). Усадка при высыхании сопровождается уменьшением размеров  $N$  образца (изделия), содержащего ГСК и ГАК. При этом характер напряженного состояния бетона конструкции оказывает существенное влияние на скорость усадки. Процесс усадки является разрушительным в неармированных строительных изделиях некоторого максимального (критического) размера  $N = N_{\max}$ .

На макроуровне имеет место (см. (1))

$$U = \varphi(\rho, T, n, C, R_0, L, D, A), \quad (2)$$

где  $R_0$  — напряжение в бетоне от внешней нагрузки.

Зависимости  $U = U(\rho, \tau)$ ,  $U = U(\rho, T)$ ,  $U = U(R_0, T)$  для цементного газобетона не установлены. Методика расчета значений  $N = N_{\max}$  не разработана.

В СТБ EN 680 [5] параметр  $R_0$  трактуется как постоянное напряжение от действия силы тяжести. При этом условия испытаний соответствуют  $L \rightarrow X0$ . Для обеспечения условия  $U \rightarrow U_{\min}$  в цементных газобетонах при заданном  $\rho$  необходимо, прежде всего, уменьшить количество негидратированных частиц цемента. При оптимальном уровне  $n = n_{\text{опт.им}}$  будет иметь место не только повышение  $R$  бетона, но и уменьшение скорости процесса усадки, которая в общем случае зависит от факторов  $\rho$ ,  $C$  и  $L$  и имеет наибольшее значение у цементных газобетонов с  $\rho < 400 \text{ кг/м}^3$ . Следует стремиться к образованию в цементном газобетоне большего количества тоберморита 11,3 Å, так как он имеет пониженную усадку по сравнению с CSH(V) и другими низкоосновными ГСК.

Согласно [5], бетон удовлетворяет требованиям стандарта, если уровень  $U$  не превышает нормируемое значение (см. EN 771-4 или EN 12602). В СТБ 1570 [6] указано, что усадка при высыхании не должна превышать: для автоклавных бетонов марок D350–D900 —  $U \leq 0,5 \text{ мм/м}$ ; для неавтоклавных (цементных) бетонов марок D400–D900 —  $U \leq 3,0 \text{ мм/м}$ . Параметр  $N_{\max}$  не нормируется.

Уровень эксплуатационной влажности  $W$  определяет не только физико-механические и теплофизические, но и деформативные свойства материалов. В процессе эксплуатации изделий из ячеистых бетонов кроме карбонизации происходит и явление, при котором часть абсорбированной воды переходит в разряд хемосорбированной или кристаллизационной с образованием новых соединений в структуре бетонов, так как фактически в бетоне  $n \neq n_{\text{опт.им}}$ , и в ранние сроки твердения присутствуют негидратированные частицы цемента.

Для уменьшения масштабов этого негативного явления в исходной ячеистобетонной смеси необходимо уменьшать количество негидратированных частиц цемента (клинкера). Уменьшение контракции в ГСК- и ГАК-матрицах возможно, если в процессе производства изделий из цементного газобетона будет обеспечена высокая однородность исходной ячеистобетонной смеси ( $D \rightarrow D_{\max}$  при  $n \rightarrow n_{\text{опт.им}}$ ). Для этого следует применять смесители-активаторы и другие устройства, приводящие к физико-химической активации компонентов формовочной смеси.

В экспериментах по получению цементного газобетона использованы полимерные ВН в виде отходов ПТК "Химволокно — Гродно Азот" (ВН-1) и отходов искусственных волокон ОАО "БЕЛФА" (коммерческое название "КНОП"). Наличие в составе "КНОП" канекарона не должно сдерживать его рациональной утилизации, например путем дискретного распределения "КНОП" в малом количестве (до 3 мас. %) в матрице долговечных искусственных камней строительного назначения.

При формировании образцов цементного газобетона в виде кубов с ребрами длиной 100, 150, 300 мм и балочек 40×40×160 мм применяли также и использованную кордную ткань (ИКТ) — техногенный продукт, получаемый при разделке (разрушении) пневматических шин на специальном оборудовании (рис. 1, ВН-2). В отличие от



Рис. 1. Волокнистый наполнитель ВН-2 (использованная кордная ткань)

других полимерных ВН отход ИКТ имеет специальное покрытие-«замасливатель», повышающее  $R_{авн}$ .

Исходя из имеющейся априорной информации, инженерами ООО «Наноконт» (г. Минск) разработаны базовые составы цементного газобетона на основе различных портландцементов (ПЦ; песчанистого ПЦ по ТУ ВУ 590118065.562 «Портландцемент песчанистый. Технические условия»; ПЦ с гранитной миндобавкой по ТУ ВУ 100649721.116-2010 «Портландцемент с минеральной добавкой из молотого гранитного отсева (опытная партия)» и бездобавочного ПЦ) и микрозаполнителя в виде молотого кварцевого песка (остаток на сите № 008 — не более 20 %).

В формовочной смеси соотношение ПЦ клинкерная часть:микрозаполнитель = 1:1. Расход ВН — до 1,5 % от массы цемента. Распределение ВН-1 (длина волокон — до 2–3 мм) и ВН-2 (длина волокон — до 3–4 мм) в воде затворения при обычных режимах перемешивания (смешение компонентов с помощью смесителя с оборотами вала не менее 100 мин<sup>-1</sup>) равномерное, без использования поверхностно-активных веществ (ПАВ). Гидрофобный «КНОП» (длина волокон — до 4–5 мм; вещественный состав не установлен) без ПАВ в воде равномерно не распределяется.

Формование образцов цементного газобетона и оценку основных физико-технических свойств выполняли в научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетонов и строительных материалов БНТУ по заданию ООО «Наноконт». Вследствие действия ряда технических причин степень гидрофильности исходных ВН, а также прочность на разрыв  $R_{вн}$ , форма сечения волокон, ее изменение по длине ВН не установлены. Трибохимический (приобретенный) знак заряда поверхности ВН после приготовления формовочной газобетонной смеси не определен.

Микроскопические исследования показали, что прозрачные волокна ВН-1 имеют гладкую поверхность, толщина по длине волокна практически не изменяется. Элементарные полиамидные волокна ВН-2 имеют коричневатый цвет, на участках длиной 20–25 мкм иногда содержат один–два остатка размером до 10 мкм вещества черного цвета (материал шины), прочно соединенного с волокном (микроанкеры).

Испытания образцов в возрасте 28 сут твердения в атмосферных условиях по ГОСТ 10180 [7] показали, что

при  $\rho = 365\text{--}375 \text{ кг/м}^3$  у образцов цементного газобетона, содержащих «КНОП» и добавку ВН-1, имеет место прирост прочности на сжатие до 20 %. При этом контрольный цементный газобетон имел прочность на сжатие 1,0 МПа. При  $\rho = 400\text{--}420 \text{ кг/м}^3$  усадка при высыхании с  $U = 2,6\text{--}3,0 \text{ мм/м}$  (контрольный образец цементного газобетона) снизилась до  $U = 1,1 \text{ мм/м}$  (образцы цементного газобетона с волокном).

Наличие волокнистого наполнителя в указанном количестве не уменьшает теплопроводность цементного газобетона: у сухих образцов-плит размерами 250×250×30 мм из цементного газобетона с волокном при  $\rho = 400\text{--}420 \text{ кг/м}^3$  коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,11 \text{ Вт/(м·К)}$ , что соответствует теплопроводности бетона контрольных образцов (без волокна).

Установлено, что в заданном диапазоне средней плотности наилучшими физико-техническими свойствами в возрасте 28 сут обладает цементный газобетон с добавкой ВН-2 (см. рис. 1). При  $\rho = 420\text{--}425 \text{ кг/м}^3$  у образцов цементного газобетона, содержащих добавку ВН-2, прирост прочности на сжатие составляет до 35–40 %,  $U = 1,0 \text{ мм/м}$ , морозостойкость — F25.

Предварительный вывод об уровне параметра  $R_{авн}$  (качестве адгезионного контакта «ВН — гидросиликатная матрица») сделан на основании визуального анализа поверхностей, по которым произошло разрушение образцов цементного газобетона при их испытании на прочность на сжатие в возрасте 28 сут (рис. 2). Установлено, что свежесформованная поверхность цементного газобетона содержит небольшое количество волокон добавки ВН-2 (на сколе образцов просматриваются единичные элементарные волокна ИКТ).

В возрасте цементного камня 28 сут (при этом  $C_{цгб} \ll 1$ , то есть набор прочности (см. (1)) у цементного газобетона продолжается) волокна ИКТ, ослабленные вследствие их применения в составе материала шин, имеют достаточный уровень  $R_{авн} = \xi(\tau)$ . С течением времени значения параметра  $R_{авн}$ , как и прочности цементного газобетона, возрастают.

Другие волокна (ВН-1 и «КНОП») длиной до 1 мм после испытаний видны невооруженным глазом в большем количестве, чем волокна ИКТ. Возможно, что в процессе нагружения образца цементного газобетона волокна ВН-1 и «КНОП» дополнительно вытягиваются с последующим разрывом или без сопротивления извлекаются из цементного камня без разрыва. Механизм поведения



Рис. 2. Макроструктура образца цементного газобетона ( $\rho = 420 \text{ кг/м}^3$ ) с волокнами ВН-2

щелочестойкого ВН при нагружении цементного газобетона зависит от множества факторов, в том числе и от соотношения между  $R_m = f(\tau)$ ,  $R_{авн}$  и  $R_{ВН}$ .

С применением съемной опалубки была выполнена экспериментальная заливка фрагмента стены  $3,2 \times 1,0 \text{ м}^2$  толщиной  $0,4 \text{ м}$ . Послойно заливали газобетонные смеси, содержащие добавки "КНОП" и ВН-2. Стальную арматуру в конструкции стены не использовали.

Для монолитного бетонирования был использован комплект мобильного оборудования, разработанный инженерами ООО "Наноконт", включающий два сблокированных смесителя-активатора с общим рабочим объемом смесительной емкости  $2,0 \cdot 0,4 \text{ м}^3$  (мощность электродвигателей —  $2,0 \times 1,5 \text{ кВт}$ ), перистальтический насос производительностью  $5\text{--}12 \text{ м}^3/\text{ч}$ , гибкие полимерные трубопроводы диаметром  $50 \text{ мм}$  и пульт управления.

Параллельно с заливкой в опалубку ту же формовочную смесь заливали в формы для получения образцов-кубов из цементного газобетона. Согласно СТБ 1544 [3], параметр  $L$  при выполнении экспериментов имел уровень Х0 или ХФ1 (среда без признаков агрессии — наружные стены, ежесезонно подверженные действию дождя и мороза). По EN 199-2 [8], среда проведения экспериментов — МХ2.

Испытания образцов-кернов (выбуренных образцов) и образцов-кубов из цементного газобетона в возрасте 28 сут выполняли по ГОСТ 28570 [9] и ГОСТ 10180 [10] (с учетом поправочных коэффициентов). Полученные данные подтвердили результаты испытаний образцов цементного газобетона, изготовленного в лабораторных условиях.

По данным Научно-исследовательского РУП по строительству "Институт БелНИИС" (работы выполнялись РУП "Институт БелНИИС" по заданию ООО "Наноконт"), монолитная наружная стена из цементного газобетона при толщине  $400 \text{ мм}$  ( $\lambda = 0,128 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ) в условиях "Б" — влажный режим, согласно протоколу испытаний от 20.09.2012 № 2286) имеет сопротивле-

ние теплопередаче  $R_T = 3,28 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , что выше нормативного значения сопротивления теплопередаче стен, равного  $3,20 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ .

В настоящее время выполняются натурные исследования деформаций набухания и ползучести цементного газобетона возведенной стены в процессе достижения параметром  $W$  уровня равновесной влажности, а также начаты работы по оценке коррозионной стойкости волокнистых наполнителей при экспериментальной эксплуатации фрагмента монолитной стены без фасадной отделки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Решению практических задач в области ресурсосбережения при массовом строительстве энергоэффективных объектов способствует интенсивное развитие технологии производства изделий и конструкций из цементных газобетонов различного состава с  $\rho < 500 \text{ кг}/\text{м}^3$  монолитным способом. В деле организации производства качественных изделий из цементного газобетона главным звеном является использование современного дозирочного и смесительного оборудования. Монолитные строительные конструкции из цементного газобетона целесообразно изготавливать с использованием комплектов мобильного оборудования.
2. Наличие в формовочной смеси волокнистого наполнителя в количестве до  $1,5 \%$  не изменяет качество макроструктуры (структуру макропор) цементного газобетона. При этом в возрасте 28 сут существенно повышается прочность цементного газобетона и снижается его усадка.
3. Конструкционно-теплоизоляционные цементные газобетоны обладают такими физико-техническими и теплофизическими свойствами, которые позволяют прогнозировать дальнейшее возрастание объемов их использования в энергоэффективном строительстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опекунов, В. В. Пористые бетоны / В. В. Опекунов. — Гродно: ГрГУ, 2011. — 193 с.
2. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия: СТБ 1117-98.
3. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия: СТБ 1544-2005.
4. Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления: ТКП 5.03-137-2009.
5. Определение усадки автоклавного ячеистого бетона: СТБ EN 680-2008.
6. Бетоны ячеистые. Технические условия: СТБ 1570-2005.
7. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90.
8. Проектирование каменных конструкций. Часть 2. Проектирование, применение строительных материалов и выполнение каменной кладки: EN 199-2. Еврокод 6.
9. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций: ГОСТ 28570-90.
10. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90.

Статья поступила в редакцию 18.02.2013.