

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2026-25-3-193-202>

УДК 691.327.332

Методика расчета состава конструкционно-теплоизоляционного цементного газобетона для сборного и монолитного строительства

Магистр техн. наук Ю. Д. Самуйлов¹⁾,
докт. техн. наук, проф. Э. И. Батыновский¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

Реферат. Материал статьи отражает методику расчета состава цементного газобетона на микрозаполнителе из гранитной породы для сборного и монолитного строительства, включая строительство с использованием технологии 3D-бетонирования. Методика предназначена для расчета составов газобетона теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного назначения (в диапазоне классов по прочности на осевое сжатие B0,5 – B5 и марок по средней плотности D200 – D900) по литевой технологии, со вспучиванием газобетонной смеси в полостях форм, съемных и несъемных опалубок, включая стеновые конструкции, возведенные по технологии 3D-бетонирования, без вибрационного воздействия. Разработанная, экспериментально и в опытно-производственном порядке апробированная методика базируется на использовании в качестве микрозаполнителя тонкодисперсных фракций, выделенных из гранитного отсева – технологического отхода от производства гранитного щебня на РУПП «Гранит» (г. Микашевичи). В статье предлагаемая методика представлена на примере расчета состава конструкционно-теплоизоляционного газобетона класса по прочности на осевое сжатие B0,5, марки по средней плотности D400, в соответствии с положениями СТБ 1570–2005. Методика является составной частью авторской разработки энергосберегающей технологии ячеистого цементного газобетона безавтоклавного твердения, которая позволяет отказаться от энергозатратного, технически сложного и дорогостоящего автоклавного оборудования при изготовлении сборных изделий и за счет возможности твердения такого газобетона в естественных условиях обеспечивает использование получаемого по ней теплоизоляционного газобетона в монолитном строительстве, включая тепло- и звукоизоляцию стен зданий, возведенных по технологии 3D-бетонирования, а также устройство в съемных и несъемных опалубках строительных конструкций с использованием газобетона конструкционно-теплоизоляционного назначения. Белорусский национальный технический университет готов к сотрудничеству с заинтересованными предприятиями и организациями в части использования материала статьи и по другим направлениям строительного производства.

Ключевые слова: методика, расчет, состав, цемент, микрозаполнитель, газообразователь, безавтоклавный газобетон, свойства, плотность, прочность, 3D-технология

Для цитирования: Самуйлов, Ю. Д. Методика расчета состава конструкционно-теплоизоляционного цементного газобетона для сборного и монолитного строительства / Ю. Д. Самуйлов, Э. И. Батыновский // *Наука и техника*. 2026. Т. 25, № 3. С. 193–202. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2026-25-3-193-202>

Methodology for Calculating the Composition of Structural and Thermal Insulation Cement Aerated Concrete for Prefabricated and Monolithic Construction

Yu. D. Samuilov¹⁾, E. I. Batyanovskiy¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article describes a method for calculating the composition of cement-based aerated concrete with a micro-aggregate made of granite rock for prefabricated and monolithic construction, including construction using 3D concreting

Адрес для переписки
Батыновский Эдуард Иванович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 12,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-96-73
smits@bntu.by

Address for correspondence
Batyanovskiy Eduard I.
Belarusian National Technical University
12, Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-96-73
smits@bntu.by

technology. The method is designed for calculating the compositions of aerated concrete for thermal insulation and thermal insulation and structural purposes (in the range of axial compression strength classes: B0.5–B5, and average density grades D200–D900) using casting technology, with the aerated concrete mixture expanding in the cavities of molds, removable and non-removable formwork, including wall structures built using 3D concrete technology, without vibration. The developed and experimentally and productionally tested methodology is based on the use of fine-grained fractions extracted from granite screenings, a technological waste from the production of granite crushed stone at State Unitary Enterprise Granit in Mikashevichi. In the article, the proposed methodology is presented using the example of calculating the composition of structural and thermal insulation aerated concrete with a class of axial compression strength of B0.5 and a medium density of D400, in accordance with the provisions of STB [Standards of the Republic of Belarus] 1570–2005. The technique is an integral part of the author's development of an energy-saving technology for cellular cement aerated concrete without autoclave hardening, which makes it possible to eliminate energy-consuming, technically complex and expensive autoclave equipment in the manufacture of prefabricated products. Due to the possibility of hardening such aerated concrete in natural conditions, it ensures the use of heat-insulating aerated concrete obtained from it in monolithic construction, including heat and sound insulation of building walls, constructed using 3D concreting technology, as well as the installation of building structures in removable and non-removable formwork using aerated concrete for structural and thermal insulation purposes. The Belarusian National Technical University is ready to cooperate with interested enterprises and organizations in terms of using the article's material and in other areas of construction.

Keywords: methodology, calculation, composition, cement, micro-aggregate, gas generator, non-autoclaved aerated concrete, properties, density, strength, 3D technology

For citation: Samuilov Yu. D., Batyanovskiy E. I. (2026) Methodology for Calculating the Composition of Structural and Thermal Insulation Cement Aerated Concrete for Prefabricated and Monolithic Construction. *Science and Technique*. 25 (3), 193–202 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2026-25-3-193-202>

Введение

Ячеистый бетон как негорючий минеральный звуко- и теплоизоляционный, а также конструкционный стеновой материал широко применяется в строительном производстве. В наибольших объемах газобетон на основе известково-кремнеземистого вяжущего представлен в штучных изделиях автоклавного твердения заводского производства, изготовление которых характеризуется значительными энергетическими затратами и целенаправленным использованием в качестве стенового строительного материала.

Решение научно-технической задачи по снижению энергоемкости процесса получения изделий из ячеистого бетона – одно из наиболее актуальных направлений по уменьшению стоимости строительной продукции. Отказ от автоклавирования в технологии изготовления газобетонных изделий значительно снижает энергопотребление производственных процессов.

Не менее значимым для строительного производства является отраженное в материале статьи использование гранитных отсеков, накапливающихся в отвалах РУПП «Гранит» Брестской области, которые предлагается в существенных объемах использовать в качестве одного из компонентов безавтоклавной газобетонной смеси на основе клинкерного цемента.

Также актуальна предлагаемая методика расчета состава газобетонной смеси, являющаяся составной частью разрабатываемой технологии ячеистого газобетона безавтоклавного твердения теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного назначения для использования при возведении монолитных строительных конструкций, в частности в сочетании с устройством несъемных опалубок различного назначения и возведением стеновых конструкций зданий с использованием развивающейся технологии 3D-бетонирования. В статье изложены основные результаты исследований, проведенных с целью разработки предлагаемой методики и направленных на решение ранее означенных научно-технических задач, а также представлена сама методика и результаты ее апробации.

Материалы для приготовления безавтоклавного газобетона

В качестве вяжущего применяли портландцемент СЕМ 1 42,5N по СТБ – ЕН 197-1–2007 (ЦЕМ 1 42,5 Н по ГОСТ 31108–2020), который соответствует М500-Д0 по ГОСТ 10178–85 [1], 2-й группы эффективности при пропаривании, производства ОАО «Белорусский цементный завод» (БЦЗ).

Фракционированный отсев из материалов дробления горных пород фракций 0,16–0,63 мм

по ТУ ВУ 200161167.004–2013 производства РУПП «Гранит» (г. Микашевичи) с удельной поверхностью $\sim 4600 \text{ см}^2/\text{г}$ использовали в качестве микрозаполнителя.

Водную суспензию алюминиевой пудры, изготовленную из алюминиевой пудры ПАП-1, отвечающей требованиям ГОСТ 5494–95 [2], применяли в качестве газообразователя.

Суперпластификатор и ускоритель твердения бетона на основе полиоксиэтиленовых производных полиметакриловой кислоты «Реламикс ПК», отвечающий требованиям ТУ 5745-034-58042865–2008 производства АО ГК «Полипласт» (Беларусь – Россия), использовали в качестве добавки-пластификатора.

Как вспомогательный компонент для реакции газообразования применяли известь строительную воздушную кальциевую негашеную комовую быстрогасящуюся 2-го сорта производства ОАО «Белорусский цементный завод» по ГОСТ 9179–77 [3].

Методика подбора состава конструкционно-теплоизоляционного безавтоклавного газобетона (на примере ячеистого бетона D400 B0,5 по СТБ 1570–2005) [4, 5]

Все эмпирические, установленные экспериментально коэффициенты, приведенные далее, не являются универсальными и относятся к использованным в исследовании материалам. При выборе других материалов (например, иного микрозаполнителя) их необходимо уточнять лабораторно.

1. Задаемся исходным соотношением МЗ/Ц, где МЗ – расход микрозаполнителя на приготовление 1 м^3 газобетона; Ц – расход цемента на приготовление 1 м^3 газобетона. Данное соотношение рекомендуется принимать в диапазоне 0,5–2,0 в зависимости от требуемых прочностных характеристик газобетона и рационального расхода вяжущего. При этом экспериментальными исследованиями установлено, что чем выше уровень требуемой прочности проектируемого газобетона, тем меньше МЗ/Ц (рис. 1). С учетом того, что плотность проектируемого газобетона относительно низкая, а вспучивание газобетонной смеси происходит

в спокойном режиме (при высоких значениях В/Т, что значительно снижает уровень прочности ячеистого бетона (рис. 2)), при отсутствии вибрационного воздействия для получения конструкционного газобетона принимаем минимальное значение МЗ/Ц = 0,5.

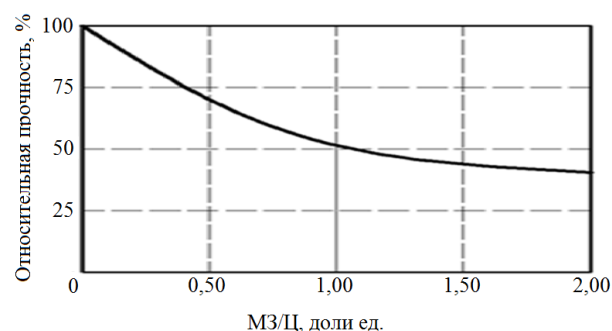


Рис. 1. График зависимости относительной прочности газобетона от соотношения МЗ/Ц

Fig. 1. Graph of the dependence of the relative strength of aerated concrete on the ratio of Microfiller/Cement (M/C)

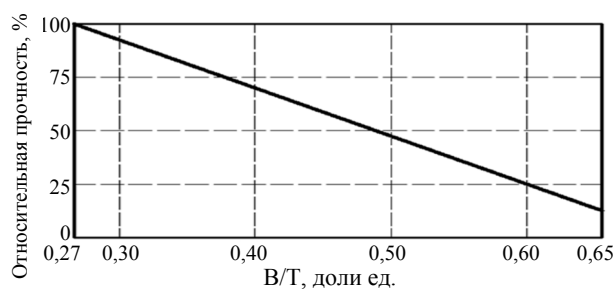


Рис. 2. График зависимости прочности ячеистого бетона на осевое сжатие от В/Т

Fig. 2. Graph of the dependence of the axial compressive strength of cellular concrete on Water/Solid Components (W/SC)

2. Задаемся соотношением В/Т, где: В – расход воды на приготовление 1 м^3 газобетона; Т – суммарный расход твердых компонентов на приготовление 1 м^3 газобетона.

Данное соотношение рекомендуется принимать в диапазоне 0,40–0,65 в зависимости от требуемых прочностных характеристик бетона, способа вспучивания (естественное или вибро-вспучивание) и необходимого коэффициента вспучивания. В случае спокойного проведения процесса вспучивания (при отсутствии вибрации) и с целью оптимизации значения коэффициента вспучивания, но с учетом требований по обеспечению необходимых прочностных характеристик ячеистого бетона (рис. 3) принимаем В/Т = 0,6.

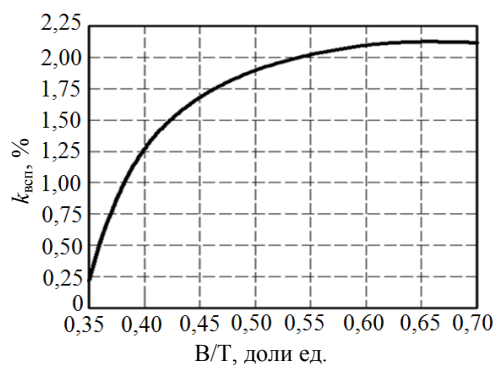


Рис. 3. График зависимости коэффициента вспучивания от В/Т при вспучивании без вибровоздействия

Fig. 3. Graph of the dependence of the swelling coefficient on Water/Solid Components (W/SC) during swelling without vibration

3. Принимаем к расчету плотность газобетона ρ_6 согласно требованиям к проектируемому классу по СТБ 1570–2005 [6] либо по проектной документации. В рассматриваемом случае значение плотности принимаем $\rho_6 = 400 \text{ кг/м}^3$.

4. Определяем объем полости формы V_{ϕ} .

Для определения объема полости несъемной опалубки в виде стеновой панели, возведенной с использованием технологии 3D-бетонирования, приведем следующие данные:

– схему поперечного сечения формируемого слоя (рис. 4);

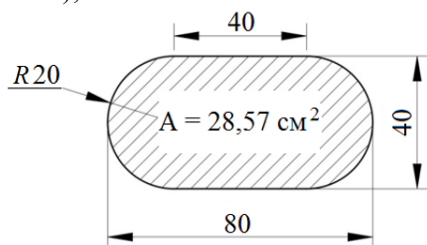


Рис. 4. Размеры поперечного сечения формируемого слоя

Fig. 4. Dimensions of the cross-section of the formed layer

– схему стеновой конструкции (рис. 5а), где внешний контур – тяжелый мелкозернистый бетон, внутреннее заполнение – ячеистый бетон (рис. 5б).

Как показывает оценка геометрических характеристик принятой к расчету конструкции, объем внутренней полости, заполняемой газобетонной смесью, с учетом неровности стеновых поверхностей полости конструкции будет равен $V_{\phi} = 1,06, \text{ м}^3$.

5. Определяем расход цемента на приготовление 1 м^3 газобетона (Ц).

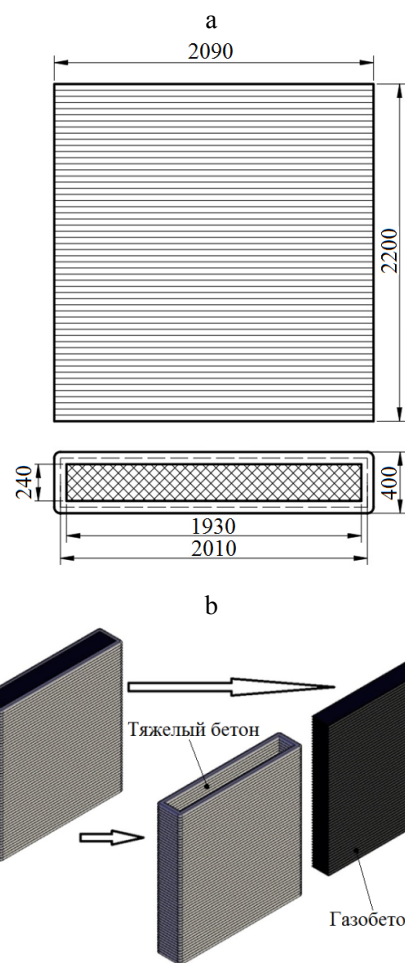


Рис. 5. Схема стеновой конструкции

Fig. 5. Wall structure diagram

Выводим формулу для расчета расхода цемента на приготовление 1 м^3 газобетона (Ц) с использованием в общем виде обозначения входящих в состав газобетона компонентов.

Плотность готового газобетона в сухом состоянии ρ_6

$$\rho_6 = \frac{m_{б.см} - B + Ц \cdot 0,15}{V_{\phi}} \quad (\text{кг/м}^3), \quad (1)$$

где 0,15 – эмпирический коэффициент $k_{х.в.}$, который характеризует относительное содержание химически связанной цементной воды, он определяется по формуле

$$k_{х.в.} = \frac{B - m_{б.см} + \rho_6}{Ц} \quad (\text{доли ед.}). \quad (2)$$

Масса 1 м^3 газобетонной смеси

$$m_{\text{б.см}} = Ц + МЗ + В + Д + Г \text{ (кг)}, \quad (3)$$

где Д – расход добавки-пластификатора на приготовление 1 м³ газобетона, кг; Г – расход газообразователя (пудры алюминиевой ПАП) на приготовление 1 м³ газобетона, кг.

Расход микрозаполнителя на приготовление 1 м³ газобетона

$$МЗ = Ц \cdot (МЗ / Ц) \text{ (кг)}. \quad (4)$$

Переписываем зависимость (1) с учетом соотношения (3)

$$\rho_{\text{б}} = \frac{Ц + МЗ + В + Д + Г - В + Ц \cdot 0,15}{V_{\text{ф}}} \text{ (кг/м}^3\text{)}. \quad (5)$$

Упрощаем выражение (5), пренебрегая величинами Д и Г ввиду их незначительности:

$$\rho_{\text{б}} = \frac{Ц \cdot 1,15 + МЗ}{V_{\text{ф}}} \text{ (кг/м}^3\text{)}. \quad (6)$$

С учетом зависимости (4) выражение (6) примет вид

$$\rho_{\text{б}} = \frac{Ц \cdot (1,15 + (МЗ / Ц))}{V_{\text{ф}}} \text{ (кг/м}^3\text{)}. \quad (7)$$

Из зависимости (7) получаем формулу для определения расхода цемента на приготовление 1 м³ газобетона

$$Ц = \frac{\rho_{\text{б}} V_{\text{ф}}}{(1,15 + (МЗ / Ц))} \text{ (кг)}. \quad (8)$$

Вычислим расход цемента по формуле (8)

$$Ц = \frac{400 \cdot 1,06}{(1,15 + 0,5)} = 257 \text{ (кг)}.$$

6. Определяем расход микрозаполнителя на приготовление 1 м³ газобетона (МЗ) по формуле (4)

$$МЗ = 257 \cdot 0,5 = 129 \text{ (кг)}.$$

7. Вычисляем суммарный расход твердых компонентов на приготовление газобетона

$$Т = Ц + МЗ \text{ (кг)}. \quad (9)$$

После подстановки исходных данных получим следующие значения параметров:

$$Т = 257 + 129 = 386 \text{ (кг)}.$$

8. Определяем расход воды на приготовление 1 м³ газобетона

$$В = Т (В / Т) \text{ (кг)}. \quad (10)$$

После подстановки исходных данных получим следующие значения параметров:

$$В = 386 \cdot 0,6 = 232 \text{ (кг)}.$$

9. Рассчитаем объем залитой в форму ячеисто-бетонной смеси до газообразования

$$V_{\text{б.см}} = \frac{МЗ}{\rho_{\text{МЗ ист}}} + \frac{Ц}{\rho_{\text{Ц ист}}} + \frac{В}{\rho_{\text{в}}} \text{ (м}^3\text{)}, \quad (11)$$

где $\rho_{\text{МЗ ист}}$ – истинная плотность микрозаполнителя (для гранита 2670 кг/м³); $\rho_{\text{Ц ист}}$ – то же цемента (3100 кг/м³).

После подстановки исходных данных получим следующие значения параметров:

$$V_{\text{б.см}} = \frac{129}{2670} + \frac{257}{3100} + \frac{232}{1000} = 0,363 \text{ (м}^3\text{)}.$$

10. Определим эмпирический коэффициент вспучивания $k_{\text{всп}}$, который показывает прирост объема пробы ячеисто-бетонной смеси объемом 0,25 дм³ после реакции в ней 1 г газообразователя. Он определяется по графической зависимости, представленной на рис. 3. При $В / Т = 0,6$ получаем $k_{\text{всп}} = 2,09$.

11. Вычислим расход газообразователя пудры алюминиевой на приготовление ячеистого бетона

$$Г = \frac{V_{\text{ф}} - V_{\text{б.см}}}{0,25 k_{\text{всп}}} \text{ (кг)}. \quad (12)$$

После подстановки исходных данных получим следующие значения параметров:

$$Г = \frac{1,06 - 0,363}{0,25 \cdot 2,09} = 1,33 \text{ (кг)}.$$

12. Определим количество воды, необходимой для приготовления газообразующей суспензии:

$$B_c = 15Г \text{ (кг)}. \quad (13)$$

После подстановки исходных данных получим следующие значения параметров:

$$B_c = 15 \cdot 1,33 = 20 \text{ (кг)},$$

где 15 – эмпирический коэффициент, установленный экспериментально (для приготовления алюминиевой суспензии использовали количество воды, равное по массе 15 массам навески алюминиевой пудры; при меньшем количестве воды пудра распределялась в водном растворе ПАВ неравномерно, контроль равномерности ее распределения проводился визуально).

13. Рассчитаем количество воды затворения газобетонной смеси

$$B_3 = B - B_c \text{ (кг)}. \quad (14)$$

После подстановки исходных данных получим следующие значения параметров:

$$B_3 = 232 - 20 = 212 \text{ (кг)}.$$

14. Определим расход добавки-пластификатора, используемой в качестве ПАВ для приготовления газообразующей суспензии:

$$Д = Г \cdot 0,167 \text{ (кг)}. \quad (15)$$

После подстановки исходных данных получим:

$$Д = 1,33 \cdot 0,167 = 0,22 \text{ (кг)},$$

где 0,167 – эмпирический коэффициент, установленный экспериментально (для приготовления алюминиевой суспензии использовали количество добавки ПАВ, равное по массе 0,167 массы навески алюминиевой пудры; при меньшем количестве добавки пудра распределялась в водном растворе ПАВ неравномерно, контроль равномерности ее распределения проводился визуально).

15. Учет особенностей газообразования в цементных ячеистых газобетонах.

Вспучивание газобетонов на цементном вяжущем происходит за счет реакции газообразователя (ПАП) со свободной известью (СаО), содержащейся в цементе. Содержание свободной извести в цементах различных марок, как правило, колеблется от 0,5 до 1 % от массы вяжущего. Однако опыт показывает, что некото-

рые разновидности цемента иностранного производства, особенно белые цементы, могут вовсе не содержать свободной СаО в своем составе. Данное явление необходимо учитывать при проектировании состава ячеистого бетона.

При повышенных значениях МЗ/Ц, предполагающих экономию вяжущего, а также при использовании цемента с низким содержанием свободной СаО необходимо вводить в состав бетона дополнительное количество негашеной извести.

Соотношение Al и СаО для активного развития реакции газообразования соответствует зависимости

$$m_{CaO} = \frac{m_{Al}}{54} \cdot 168,3 \text{ (кг)}, \quad (16)$$

где m_{CaO} – масса чистой извести; m_{Al} – то же чистого алюминия.

С учетом того обстоятельства, что строительная известь и газообразователь не обладают абсолютной чистотой вещества, для более точного определения расхода компонентов выражение (16) преобразуется к виду

$$И = \frac{Г A_r}{54 A_n} \cdot 168,3 \text{ (кг)}, \quad (17)$$

где И – расход негашеной извести на приготовление 1 м³ ячеистого бетона; A_r – активность газообразователя (0,95); A_n – то же негашеной извести (0,80). После подстановки исходных данных получим

$$И = \frac{1,33 \cdot 0,95}{54 \cdot 0,80} \cdot 168,3 = 5 \text{ (кг)}.$$

Если цемент содержит собственную активную известь в своем составе, то необходимо добавить только часть негашеной извести, масса которой определяется по формуле

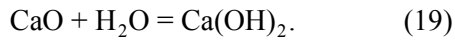
$$И' = И - \frac{Ц \omega_{CaO}}{A_n} \text{ (кг)}, \quad (18)$$

где ω_{CaO} – массовая доля СаО в цементе (0,0065).

После подстановки исходных данных имеем

$$И' = 5 - \frac{257 \cdot 0,0065}{0,8} = 3 \text{ (кг)}.$$

Для определения массы воды, необходимой для гидратации CaO, воспользуемся следующей зависимостью:



Определим молярные массы: $M_{\text{CaO}} = 40,1 + 16 = 56,1$ (г/моль); $M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot 1 + 16 = 18$ (г/моль). Следовательно, соотношение CaO и H₂O для протекания реакции гидратации будет выглядеть

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{CaO}}}{56,1} \cdot 18 \text{ (кг)}, \quad (20)$$

где $m_{\text{H}_2\text{O}}$ – масса воды.

Исходя из выражения (20), можем записать формулу для определения массы воды, необходимой для гидратации извести:

$$B_{\text{г.и}} = \frac{I' \cdot A_{\text{и}}}{56,1} \cdot 18 \text{ (кг)}. \quad (21)$$

После подстановки исходных данных получим следующие значения параметров:

$$B_{\text{г.и}} = \frac{3 \cdot 0,8}{56,1} \cdot 18 \sim 1 \text{ (кг)}.$$

При корректировке состава ячеисто-бетонной смеси с учетом количества дополнительно вводимой извести следует уменьшить расход микрозаполнителя на массу вводимой извести, а также добавить количество воды, необходимой для гидратации дополнительно вводимой извести. После корректировки получаем: $B = 233$ кг; $MЗ = 126$ кг.

16. Рассчитаем прочность газобетона из проектируемой газобетонной смеси.

Для определения характеристик ячеистого бетона при составлении графических зависимостей использовались следующие методики:

- определение прочности ячеистого бетона по ГОСТ 10180–2012;
- определение влажности ячеистого бетона по ГОСТ 12730.2–2020;
- определение плотности ячеистого бетона по ГОСТ 12730.1–2020.

В разрабатываемой методике исходили из того, что зависимость прочности неавтоклавного ячеистого газобетона от основных влияющих факторов отражается следующей формулой:

$$R_b = R_{\text{эт}} k_{\text{В/Т}} k_{\text{МЗ/Ц}} k_p k_W \text{ (МПа)}, \quad (22)$$

где $R_{\text{эт}}$ – прочность эталонного образца (за эталон принят образец ячеистого бетона плотностью 1200 кг/м³, влажностью по массе 10 %, твердевший с прогревом по приведенному ранее режиму ТВО (рис. 6), изготовленный из поризованного цементного камня, полученного на основе цемента СЕМ 1 42,5N по СТБ – ЕН 197-1–2007 (ЦЕМ 1 42,5 Н по ГОСТ 31108–2020, который соответствует М500-Д0 по ГОСТ 10178–85, 2-й группы эффективности при пропаривании)) из теста нормальной густоты при соотношении расходов микрозаполнителя и цемента МЗ/Ц = 0, водотвердом отношении В/Т = 0,27 (доли ед.); $R_{\text{эт}} = 20,66$ МПа.

Коэффициент $k_{\text{В/Т}}$, зависящий от В/Т, определяется с помощью графической зависимости (рис. 2) и формулы

$$k_{\text{В/Т}} = \frac{R_{\text{отн}}}{100}, \quad (23)$$

где $R_{\text{отн}}$ – относительная прочность по графической зависимости (рис. 2), %.

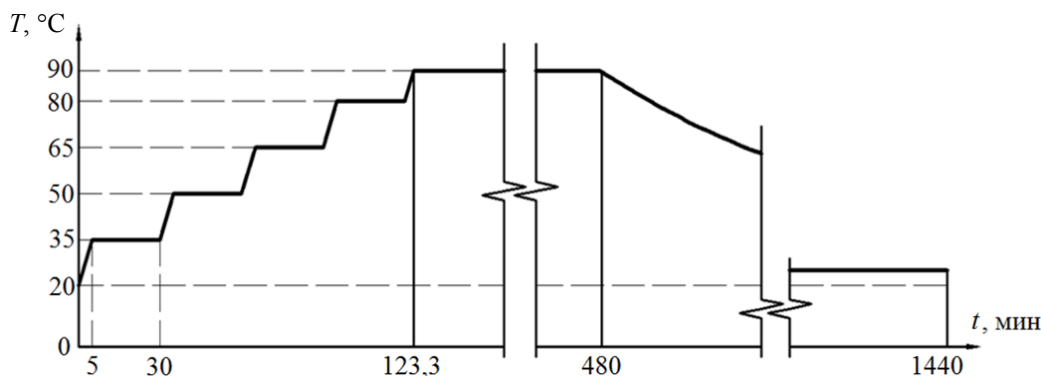


Рис. 6. График тепловлажностной обработки

Fig. 6. Heat and moisture treatment schedule

После анализа рис. 2 (при $V/T = 0,6$) и подстановки исходных данных в (23) получим $k_{B/T} = 0,26$.

Коэффициент $k_{M3/C}$, зависящий от МЗ/Ц, определяется с помощью графической зависимости (рис. 1) и формулы

$$k_{M3/C} = \frac{R_{отн}}{100}, \quad (24)$$

где $R_{отн}$ – относительная прочность по графической зависимости (рис. 1), %.

После анализа рис. 1 (при МЗ/Ц = 0,5) и подстановки исходных данных в (24) получим $k_{M3/C} = 0,75$.

Коэффициент k_p , зависящий от плотности проектируемого газобетона, определяется с помощью графической зависимости (рис. 7) и формулы

$$k_p = \frac{R_{отн}}{100}, \quad (25)$$

где $R_{отн}$ – относительная прочность по графической зависимости (рис. 7), %.

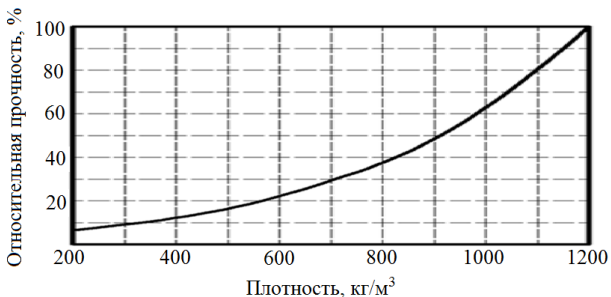


Рис. 7. График зависимости относительной прочности газобетона от его плотности

Fig. 7. Graph of the dependence of the relative strength of aerated concrete on its density

После анализа рис. 7 (при $\rho = 400$ кг/м³) и подстановки исходных данных в (25) получим $k_p = 0,15$.

Коэффициент k_w , зависящий от влажности газобетона, определяется с помощью графической зависимости (рис. 8) и формулы

$$k_w = \frac{R_{отн}}{100}, \quad (26)$$

где $R_{отн}$ – относительная прочность по графической зависимости (рис. 8), %.

После анализа рис. 8 (при $W = 10$ %) и подстановки исходных данных в (26) получим $k_w = 1,0$.

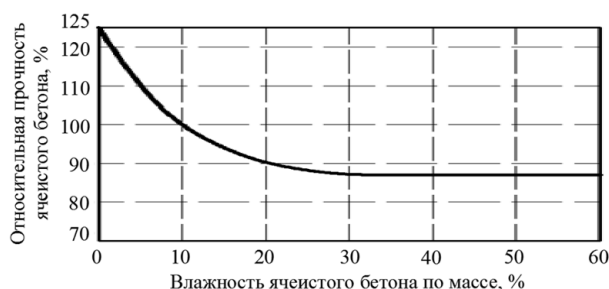


Рис. 8. График зависимости относительной прочности газобетона от его влажности

Fig. 8. Graph of the dependence of the relative strength of aerated concrete on its moisture

Проверим проектную прочность газобетона расчетного состава, подставляя полученные значения искомых коэффициентов в зависимость (22):

$$R_6 = 20,66 \cdot 0,26 \cdot 0,75 \cdot 0,15 \cdot 1 = 0,60 \text{ (МПа)}.$$

Проверим соответствие проектной прочности газобетона, полученного из безавтоклавной газобетонной смеси, требуемой для необходимого класса по прочности на сжатие (для В0,5 при коэффициенте вариаций 8 % значение $R_T = 0,58$ МПа) путем сравнения полученных данных: $0,58 < 0,60$. Следовательно, расчет состава смеси по прочности осуществлен верно.

17. Определение теплотехнических характеристик газобетона, полученного из проектируемой газобетонной смеси, осуществим при помощи анализа графической зависимости, представленной на рис. 9.

После анализа рис. 9 (при $\rho = 400$ кг/м³) получим $\lambda = 0,1$ Вт/(м·К).

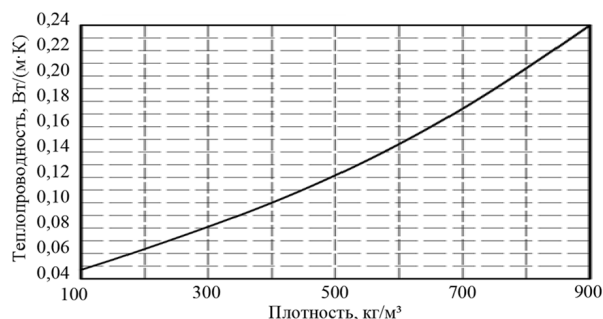


Рис. 9. График зависимости теплопроводности газобетона от его плотности

Fig. 9. Graph of the dependence of thermal conductivity of aerated concrete on its density

18. Результаты расчета состава газобетонной смеси сведен в табл. 1 и 2.

19. Результаты апробирования методики подбора состава конструкционно-теплоизоляционного безавтоклавного газобетона в лабораторных условиях (фактические результаты испытания полученного газобетона) представлены в табл. 3.

Таблица 1

Параметры газобетонной смеси и проектные свойства газобетона

Parameters of aerated concrete mixture and design properties of aerated concrete

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Теплопроводность газобетона [7]	Вт/(м·К)	0,10
Плотность газобетона [8]	кг/м ³	400
В/Т	%	60
Влажность [9]	%	10
Прочность [10, 11]	МПа	0,60
МЗ/Ц	%	50

Таблица 2

Расчетный состав газобетонной смеси на объем полости конструкции (1,06 м³)

Calculated composition of aerated concrete mixture per cavity volume of the structure (1.06 m³)

Наименование компонента	Единица измерения	Значение
Цемент	Вт/(м·К)	257
Гранитный отсев	кг/м ³	126
Вода	%	233
Алюминиевая пудра (ПАП-1)	%	1,33
Известь негашеная молотая	МПа	3
Добавка (Реламикс ПК)	%	0,22

Таблица 3

Параметры газобетонной смеси и проектные свойства газобетона

Parameters of aerated concrete mixture and design properties of aerated concrete

Наименование параметра	Единица измерения	Значение	Отклонение от расчетного значения, %
Теплопроводность газобетона	Вт/(м·К)	0,097	3
Плотность газобетона	кг/м ³	406	1,5
Влажность	%	9,8	2
Прочность	МПа	0,63	5

ВЫВОДЫ

1. Разработана и представлена методика расчета состава газобетонной смеси на основе

портландцемента, предназначенная для приготовления и применения газобетона безавтоклавного твердения с использованием микрозаполнителя из тонкодисперсных фракций переработанного гранитного отсева (удельная поверхность $S_{уд} \sim 4600 \text{ см}^2/\text{г}$), образующегося при дроблении гранитной породы при производстве крупного заполнителя для бетона и накапливающегося в отвалах РУПП «Гранит» в Брестской области.

2. Предложенная методика расчета состава газобетона позволяет получать безавтоклавные газобетоны в диапазонах классов по прочности на осевое сжатие В0,5 – В5 (марок по средней плотности D200 – D900) по литьевой технологии со вспучиванием газобетонной смеси в полостях форм, съемных и несъемных опалубок, включая стеновые конструкции, возведенные по технологии 3D-бетонирования, без вибрационного воздействия и при последующем твердении бетона в условиях естественной среды.

3. Проведена и представлена апробация предлагаемой методики на примере расчета состава смеси для получения безавтоклавного газобетона класса по прочности на осевое сжатие В0,5 и марки по средней плотности D400 (в соответствии с СТБ 1570–2005) в объеме, необходимом для заполнения полости стеновой конструкции, возведенной с использованием технологии 3D-бетонирования. Приведены результаты апробации методики расчета состава безавтоклавной газобетонной смеси и определения свойств затвердевшего бетона, которые подтвердили ее эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия: ГОСТ 10178–85. Введ. 1987-01-01. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с.
2. Пудра алюминиевая. Технические условия: ГОСТ 5494–95. Введ. 1997-07-01. М.: Стандартинформ, 2006. 12 с.
3. Известь строительная. Технические условия: ГОСТ 9179–77. Введ. 1979-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 16 с.
4. Самуйлов, Ю. Д. Методика определения состава газобетонной смеси требуемой прочности неавтоклавного ячеистого газобетона на микрозаполнителе из диспергированного гранитного отсева / Ю. Д. Самуйлов // Проблемы современного бетона и железобетона.

- на: сб. науч. тр. Минск: Колорград, 2019. Вып. 11. С. 234–252.
5. Самуйлов, Ю. Д. Методика определения состава газобетонной смеси требуемой плотности неавтоклавнога ячеистого газобетона на микрозаполнителе из диспергированного гранитного отсева / Ю. Д. Самуйлов // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. Минск: Колорград, 2018. Вып. 10. С. 214–232.
 6. Бетоны ячеистые. Технические условия: СТБ 1570–2005. Введ. 1990-01-01. Минск: Минстройархитектуры, 2005. 24 с.
 7. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме: СТБ 1618–2006. Введ. 2006-07-01. Минск: Минстройархитектуры, 2007. 16 с.
 8. Бетоны. Методы определения плотности: ГОСТ 12730.1–2020. Введ. 2021-09-01. М.: Стандартинформ, 2021. 8 с.
 9. Материалы строительные. Дилъкометрический метод измерения влажности: ГОСТ 21718–84. Введ. 1985-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 8 с.
 10. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–2012. Введ. 2016-02-01. М.: Стандартинформ, 2017. 36 с.
 11. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности: ГОСТ 18105–2010. Введ. 2013-11-01. М.: Стандартинформ, 2012. 16 с.

Поступила 10.12.2025

Подписана в печать 12.02.2026

Опубликована онлайн 29.05.2026

REFERENCES

1. State Standard 10178–85. *Portland Cement and Slag Portland Cement. Technical Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 8 (in Russian).
2. State Standard 5494–95. *Aluminum Powder. Technical Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 12 (in Russian).
3. State Standard 9179–77. *Building Lime. Technical Specifications*. Moscow, Publishing House of Standards, 2001. 16 (in Russian).
4. Samuylov Yu. D. (2019) Methodology for Determining the Composition of Aerated Concrete Mixture of Required Strength of Non-Autoclaved Cellular Aerated Concrete on Micro-Filler from Dispersed Granite Screenings. *Problemy Sovremennogo Betona i Zhelezobetona: sb. nauch. tr.* [Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete: collection of scientific papers]. Minsk, Kolorgrad Publ., Iss. 11, 234–252 (in Russian).
5. Samuylov Yu. D. (2018) Methodology for Determining the Composition of Aerated Concrete Mixture of Required Density of Non-Autoclaved Cellular Aerated Concrete on Micro-Filler Made of Dispersed Granite Screenings. *Problemy Sovremennogo Betona i Zhelezobetona: sb. nauch. tr.* [Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete: collection of scientific papers]. Minsk, Kolorgrad Publ., Iss. 10, 214–232 (in Russian).
6. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1570–2005. *Cellular Concrete. Technical Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2005. 24 (in Russian).
7. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1618–2006. *Construction Materials and Products. Method for Determining Thermal Conductivity under Steady-State Thermal Conditions*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2007. 16 (in Russian).
8. State Standard 12730.1–2020. *Concrete. Methods for Determining Density*. Moscow, Standartinform Publ., 2021. 8 (in Russian).
9. State Standard 21718–84. *Construction Materials. Dielectric Method of Measuring Humidity*. Moscow, Publishing House of Standards, 1984. 8 (in Russian).
10. State Standard 10180–2012. *Concrete Methods for Determining Strength Using Control Specimens*. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 36 (in Russian).
11. State Standard 18105–2010. *Concrete. Rules for Control and Assessment of Strength*. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 16 (in Russian).

Received: 10.12.2025

Accepted: 12.02.2026

Published online: 29.05.2026