

6. Советников, Д. О. Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга / Д. О. Советников, Д. О. Семашкина, Д. В. Баранова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 12 (51). – С. 7–19.

7. Богатова, Т. В. Преимущества и особенности безопасных природных утеплителей / Т. В. Богатова, А. И. Двойцына // Инженерные сети и сооружения. – 2016. – № 3–4 (24–25). – С. 14–19.

8. Rozyev, M. Thermal insulation material, using waste cotton production as a placeholder / M. Rozyev, A. Bakatovich // XI Junior Researchers, Conference. European & national dimension in research. Architecture and civil engineering. Polotsk state University. – Novopolotsk : PSU, 2019. – № 11. – P. 64–66.

9. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers / X. Zhou, F. Zheng, H. Li, C. Lu // Energy and Buildings. – 2010. – № 42. – P. 1070–1074. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.01.020.

10. Romanovskiy, S. Insulating material on the basis of bark fibre of the olive palm tree / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // European and National Dimension in Research: IX Junior Researchers , Conference, Novopolotsk, April 26–27, 2017: in 3 p. // Polotsk stage University. – Novopolotsk : PSU, 2017. – P. 104–107.

11. Manohar, K. Building Thermal Insulation – Biodegradable Sugarcane and Coconut Fiber / K. Manohar, David W. Yarbrough, G. S Kochhar // Journal of Thermal Envelope and Building Science. – 2000. – № 23 (3). – P. 263–276. – DOI: 10.1177/174425910002300308.

12. Конюхов, М. В. Утеплитель из джутовых волокон / М. В. Конюхов, Е. В. Послед // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой. – 2022. – Вып. 44 (114): Прикладные науки. Строительство. – С. 69–70.

УДК 691.327.332

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА СОСТАВА НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО ГАЗОБЕТОНА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ ГРАНИТНОГО ОТСЕВА

Ю. Д. Самуйлов¹, Э. И. Батяновский²

¹ *М. т. н., мл.н.с. НИИЛ БУСМ филиала «НИПИ» БНТУ, Минск, Беларусь,
e-mail: ppublikatsii@mail.ru*

² *Д. т. н., профессор каф. СМУТС СФ БНТУ, Минск, Беларусь,
e-mail: bat47@tut.by*

Реферат

Широкое использование теплоизоляционных строительных материалов на строительных площадках Республики Беларусь ярко демонстрирует высокий спрос на данный сегмент продукции. Однако данный вид строительных материалов на сегодняшний день представлен в основном газосиликатными и ке-

рамзитобетонными блоками, а также минеральной ватой и различного рода вспененными полимерами.

В качестве альтернативы предлагается использование технологии неавтоклавного газобетона, которая позволяет заполнять полости съёмных и несъёмных опалубок ограждающих и перегородочных строительных конструкций вспученной газобетонной смесью и получать готовые теплоизолирующие конструкции без применения кладочных работ и расходов на клеевые материалы для кладки штучных блочных изделий. Данная технология дополнительно решает вопрос утилизации тонких фракций гранитных отсеков производства РУПП «Гранит», г. Микашевичи.

Ключевые слова: ячеистый бетон, неавтоклавный газобетон, газобетонная смесь, микрозаполнитель для ячеистого бетона, состав газобетонной смеси.

Введение

На сегодняшний день в Республике Беларусь теплоизоляционные строительные материалы используются повсеместно.

Газосиликатные и керамзитобетонные блоки используются в качестве теплоизоляционного заполнения железобетонных каркасов сборного и монолитного домостроения, а также в качестве конструкционно-теплоизоляционных строительных материалов при блочной технологии возведения малоэтажных зданий: при строительстве частных домов, коттеджей и так далее [1–7].

Однако технология возведения ограждающих и перегородочных конструкций, а также заполнение железобетонных сборных и монолитных каркасов теплоизоляционными штучными блочными изделиями требует дополнительных расходов трудовых ресурсов и клеевых строительных материалов для проведения кладочных работ. В связи с этим более рационально использование технологии неавтоклавного газобетона для заполнения съёмных и несъёмных опалубок при устройстве стен зданий, позволяющее получать теплоизолированные ограждающие и перегородочные конструкции, минуя трудоёмкие кладочные работы и расходы на приобретение и приготовление клеевых сухих смесей.

Актуальность предлагаемой технологии неавтоклавного газобетона ещё более выражена тем, что в настоящее время активно развивается технология строительной 3D-печати [8] с использованием промышленных принтеров, работающих на базе бетонокомпозитных смесей, при которой формуется полый контур ограждающих и перегородочных конструкций, полости которого необходимо заполнять теплоизолирующим составом. Данная технология нереализуема с использованием штучных блочных изделий, в связи с этим для её реализации рекомендованы неавтоклавные пено- и газобетонные смеси, а также полимерные вспучиваемые составы. Так как теплоизоляционные материалы на основе полимеров являются горючими, они представляются менее эффективными и безопасными при производстве строительных работ и эксплуатации возведенных конструкций.

В связи со сказанным ранее очевидна целесообразность применения неавтоклавной технологии приготовления газобетонных смесей в современном строи-

тельстве, методику и пример расчёта состава которых автор приводит в данной статье.

Дополнительные преимущества использования данной технологии на строительных площадках Республики Беларусь выражены тем, что она позволяет эффективно утилизировать существующие отвалы отходов производства гранитного щебня, накопившиеся на территории предприятия РУПП «Гранит», г. Микашевичи.

Материалы, используемые для приготовления неавтоклавной газобетонной смеси

В качестве вяжущего использовали портландцемент «ЦЕМ 1 42,5 Н» по ГОСТ 31108-2020 или «СЕМ 1 42,5N» по СТБ – ЕН 197-1-2020 (соответствует М500-Д0 по ГОСТ 10178-85, 2-й группы эффективности).

В качестве ультрадисперсного микрозаполнителя использовали сепарированный (Суд. ~ 20000 см²/г) гранитный отсев.

В качестве газообразователя применяли алюминиевую пудру ПАП-1.

В качестве добавки для приготовления водной суспензии ПАП-1 использовали суперпластификатор на основе полиоксиэтиленовых производных полиметакриловой кислоты Реламикс ПК, отвечающей требованиям ТУ 5745-034-58042865-2008, производства АО ГК «Полипласт», Беларусь – Россия.

1. Задаются проектной плотностью газобетона, кг/м³. *В данном случае принимаем 200 кг/м³.*

2. Задаются соотношением (МЗ/Ц), исходя из того, что, чем ниже требуемая плотность бетона, тем выше (МЗ/Ц) и меньше расход цемента, диапазон рекомендуемых значений данного соотношения находится от 0,5 до 1. *Принимаем МЗ/Ц=1.*

3. Определяют расход цемента по формуле (1):

$$\text{Ц} = \frac{\rho_b \cdot V_{\phi}}{(1,15 + (\text{МЗ/Ц}))}, \text{ кг.} \quad (1)$$

После подстановки в формулу (1) фактических данных получаем следующее выражение:

$$\text{Ц} = \frac{200 \cdot 1}{(1,15 + 1)} = 93, \text{ кг.}$$

4. Определяют расход микрозаполнителя по формуле (2):

$$\text{МЗ} = \text{Ц} \cdot (\text{МЗ/Ц}), \text{ кг.} \quad (2)$$

После подстановки в формулу (2) фактических данных получаем следующее выражение:

$$\text{МЗ} = 93 \cdot 1 = 93, \text{ кг.}$$

5. Определяют суммарный расход твердых компонентов по формуле (3):

$$\text{Т} = \text{Ц} + \text{МЗ}, \text{ кг.} \quad (3)$$

После подстановки в формулу (3) фактических данных получаем следующее выражение:

$$T = 93 + 93 = 186, \text{ кг.}$$

Методика и пример расчета состава неавтоклавного ячеистого газобетона теплоизоляционного назначения

Таблица 1 – Обозначения, принятые в формулах методики расчета состава газобетонной смеси

№	Наименование показателей	Обозначение
1	2	3
1	Расход цемента на приготовление 1 м ³ газобетона, кг	Ц
2	Плотность готового газобетона в сухом [9] состоянии, кг/м ³	ρ_b
3	Объем полости формы, м ³	V_ϕ
4	Расход микрозаполнителя на приготовление 1 м ³ газобетона, кг	МЗ
5	Суммарный расход твердых компонентов на приготовление 1 м ³ газобетона, кг	T
6	Расход воды на приготовление 1 м ³ газобетона, кг	B
7	Истинная плотность микрозаполнителя (для гранита – 2670 кг/м ³)	$\rho_{\text{мз. ист.}}$
8	Истинная плотность цемента (3100 кг/м ³)	$\rho_{\text{ц. ист.}}$
9	Истинная плотность воды (1000 кг/м ³)	$\rho_{\text{в}}$
10	Объем залитой в форму ячеистобетонной смеси до газообразования, м ³	$V_{\text{б.см.}}$
11	Коэффициент вспучивания (при текучести смеси 40 мм и вибровспучивании – 2,7 доли ед.)	$k_{\text{всп.}}$
12	Расход негашеной извести, кг	И
13	Активность газообразователя (ПАП-1), доли ед.	$A_{\text{г}}$
14	Активность негашеной извести, доли ед.	$A_{\text{и}}$
15	Массовая доля свободного СаО в цементе, доли ед.	$\omega_{\text{СаО}}$
16	Расход добавки-пластификатора на приготовление 1 м ³ газобетона, кг	Д
17	Расход газообразователя на приготовление 1 м ³ газобетона, кг	Г

6. Определяют соотношение (B/T) для (МЗ/Ц) = 1, которое затем корректируют при необходимости, при условии, что оптимальное значение текучести соответствует 40 мм (рисунок 1). В данном случае принимаем (B/T) = 120 % или 1,2 доли ед.

7. Определяют расход воды по формуле (4):

$$B = T \cdot (B/T), \text{ кг.} \quad (4)$$

После подстановки в формулу (4) фактических данных получаем следующее выражение:

$$B = 186 \cdot 1,2 = 223, \text{ кг.}$$

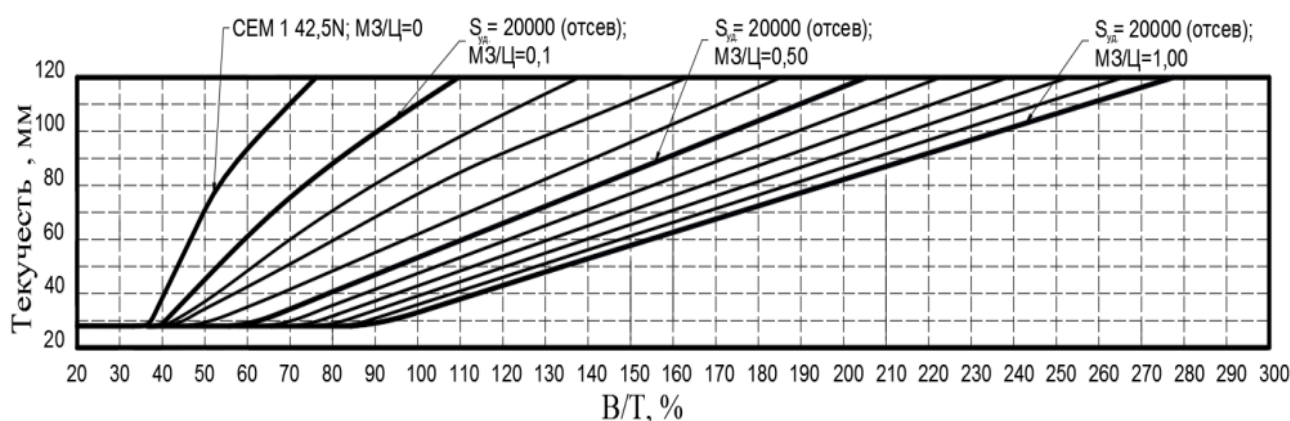


Рисунок 1 – Зависимость текучести от (В/Т) для различных соотношений (МЗ/Ц), при использовании в качестве микрозаполнителя пылевидных фракций гранитной породы с удельной поверхностью $S_{уд} = 20000 \text{ см}^2/\text{г}$.

8. Определяют объем залитой в форму ячеистобетонной смеси до газообразования по формуле (5):

$$V_{б.см.} = \frac{MЗ}{\rho_{MЗ \text{ ист.}}} + \frac{Ц}{\rho_{Ц \text{ ист.}}} + \frac{B}{\rho_B}, \text{ м}^3. \quad (5)$$

После подстановки в формулу (5) фактических данных получаем следующее выражение:

$$V_{б.см.} = \frac{93}{2670} + \frac{93}{3100} + \frac{223}{1000} = 0,29, \text{ м}^3.$$

9. При соблюдении правила, что $V_{б.см.} \geq 0,25 \cdot V_{\phi}$, уровень необходимого вспучивания бетона данного состава обеспечивается. Проверяем данное правило:

$$0,29 > 0,25 \cdot 1.$$

В данном случае правило соблюдается, следовательно, вспучивание газобетонной смеси до необходимого объема возможно.

Если при расчете объем невспученной газобетонной смеси выходит менее 25 % от объема внутренней полости формы, то необходимо увеличить соотношение (МЗ/Ц) и, соответственно, (В/Т), увеличив при этом объем смеси за счет увеличения содержания в ней воды, при сохранении ее оптимальной текучести ~ 40 мм.

10. Далее определяют расходы компонентов на 1 м^3 смеси по следующим зависимостям:

10.1. Расход газообразователя ПАП-1 (пудра алюминиевая) по формуле (6):

$$\Gamma = \frac{1 - \left(\frac{MЗ}{\rho_{MЗ \text{ ист.}}} + \frac{Ц}{\rho_{Ц \text{ ист.}}} + \frac{B}{\rho_B} \right)}{0,25 \cdot k_{всп.}}, \text{ кг.} \quad (6)$$

После подстановки в формулу (6) фактических данных получаем следующее выражение:

$$\Gamma = \frac{1 - \left(\frac{93}{2670} + \frac{93}{3100} + \frac{223}{1000}\right)}{0,25 \cdot 2,7} = 1,06, \text{ кг.}$$

10.2. Количество добавки-пластификатора для приготовления газообразующей суспензии по формуле (7):

$$Д = \Gamma \cdot 0,167, \text{ кг.} \quad (7)$$

После подстановки в формулу (7) фактических данных получаем следующее выражение:

$$Д = 1,06 \cdot 0,167 = 0,18, \text{ кг.}$$

10.3. Расход негашеной извести по формуле (8):

$$И = \frac{\Gamma \cdot A_{\Gamma}}{54 \cdot A_{И}} \cdot 168,3 - \frac{Ц \cdot \omega_{CaO}}{A_{И}}, \text{ кг.} \quad (8)$$

После подстановки в формулу (8) фактических данных получаем следующее выражение:

$$И = \frac{1,06 \cdot 0,95}{54 \cdot 0,8} \cdot 168,3 - \frac{93 \cdot 0,0065}{0,8} = 3,16, \text{ кг.}$$

10.4. Расход дополнительной воды для гашения извести по формуле (9):

$$В_{г.и.} = \frac{И \cdot A_{И}}{56,1} \cdot 18. \quad (9)$$

После подстановки в формулу (9) фактических данных получаем следующее выражение:

$$В_{г.и.} = \frac{3,16 \cdot 0,8}{56,1} \cdot 18 = 0,81, \text{ кг.}$$

Таблица 2 – Сводная таблица расходов компонентов газобетонной смеси на приготовление 1 м³ газобетона плотностью 200 кг/м³

№	Наименование показателей	Обозначение
1	Расход цемента, кг	93
2	Расход микрозаполнителя, кг	93
3	Суммарный расход воды, кг (л)	224
4	Расход негашеной извести, кг	3,16
5	Расход добавки-пластификатора, кг	0,18
6	Расход газообразователя, кг	1,06

Апробация данного состава в лабораторных условиях позволила получить газобетон с фактической плотностью в сухом состоянии = 205 кг/м³ [10] (что соответствует плотности теплоизоляционного ячеистого бетона марки D200 [11]), что подтверждает эффективность приведенного метода расчета состава газобетонной смеси.

Выводы

1. Приведена методика расчёта состава смеси для приготовления неавтоклавного ячеистого газобетона на ультрадисперсном гранитном микрозаполнителя, которая актуальна для технологии неавтоклавного газобетона, рекомендованной для использования в монолитном строительстве и технологии строительной 3D-печати.

2. Представлен пример расчёта состава смеси для изготовления газобетона теплоизоляционного назначения.

3. Представлен результат апробации предлагаемой методики расчёта состава смеси для приготовления неавтоклавного ячеистого газобетона в лабораторных условиях, который подтверждает её эффективность.

Список использованных источников

1. ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» [сайт]. – 2021. – URL: <http://https://www.keramzit.by> (дата обращения: 21.04.2021).

2. Мордич, М. М. Технология и свойства керамзитопенобетона для монолитного и сборного строительства: диссертация ... канд. техн. наук: 05.23.05 / М. М. Мордич ; БНТУ. – Минск, 2020.

3. Батяновский, Э. И. Производство ячеистобетонных изделий автоклавного твердения : практическое пособие / Э. И. Батяновский, Н. М. Голубев, Н. Н. Сажнев. – Минск : Стринко, 2009. – 127 с.

4. Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика / Н. П. Сажнев, Н. Н. Сажнев, Н. Н. Сажнева, Н. М. Голубев – Минск : Стринко, 2010. – 460 с.

5. Опекунов, В. В. Пористые бетоны : моногр. / В. В. Опекунов. – Гродно : ГрГУ, 2011. – 193 с.

6. Галкин, С. Л. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика / С. Л. Галкин, Н. П. Сажнев, Л. В. Соколовский. – Минск : Стринко, 2006. – 448 с.

7. Мордич, М. М. Технология и физико-механические свойства керамзитопенобетона для монолитного и сборного строительства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Мордич Михаил Михайлович. – Минск, 2019. – 24 с.

8. Строительная 3D-печать: оборудование, способы формования, сферы применения, особенности бетонокомпозитов / Д. В. Змушко, Е. С. Кохнович, О. Н. Скарина, Н. И. Мажанова // Актуальные проблемы технологии бетона и строительных материалов : материалы 73-й студенческой научно-технической конференции 12-18 мая 2017 г. / БНТУ, СФ; ред. Э. И. Батяновский, М. Г. Бортицкая. – Минск : БНТУ, 2017. – С. 21–29.

9. Материалы строительные. Диезькометрический метод измерения влажности : ГОСТ 21718-84. – Введ. 1985-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1984. – 8 с.

10. Бетоны. Методы определения плотности : ГОСТ 12730.1-2020. – Введ. 2021-09-01. – М. : Стандартиформ, 2021. – 8 с.

11. Бетоны ячеистые. Технические условия : СТБ 1570-2005. – Введ. 1990-01-01. – Минск : Минстройархитектуры, 2005. – 24 с.