

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

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ГАЗОБЕТОННОЙ СМЕСИ ТРЕБУЕМОЙ ПЛОТНОСТИ НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО ГАЗОБЕТОНА НА МИКРОЗАПОЛНИТЕЛЕ ИЗ ДИСПЕРГИРОВАННОГО ГРАНИТНОГО ОТСЕВА

© РУП «Институт БелНИИС», 2018
Institute BelNIIS RUE, 2018

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследований в виде методики определения состава газобетонной смеси (по требуемой проектной плотности) ячеистого газобетона неавтоклавного твердения на цементном вяжущем и микрозаполнителе из диспергированного гранитного отсева. Приведены сведения о компонентах проектируемой газобетонной смеси, включая вяжущее, микрозаполнитель, газообразующие добавки и ПАВ. Разработанная методика обеспечивает учет таких факторов, как проектируемая плотность газобетона, параметры формы для заливки смеси, соотношение требуемого количества микрозаполнителя и цемента, соотношение расхода воды и суммарного содержания твердых компонентов смеси, активность газообразующих компонентов, коэффициент потерь смеси, массовая доля СаО в цементе. Методика позволяет не только с высокой степенью точности определить расходы всех необходимых для приготовления газобетонной смеси компонентов, но и дает возможность оценить влияние других сопутствующих и немаловажных факторов технологического процесса приготовления газобетона, в частности, массу бетонной смеси и объем бетонной смеси до газообразования. Формула вычисления объема форм с произвольной конфигурацией, приведенная в методике, дает возможность использования не только форм с правильными, но и сложными геометрическими параметрами, что, в свою очередь, позволяет применять данную методику расчетов при изготовлении сложных архитектурных

элементов. Методика определения коэффициента вспучивания позволяет с достаточной для практического использования точностью эмпирическим путем оценить способность бетонной смеси расчетного состава к газообразованию, что позволяет проектировать газобетонные смеси с широким диапазоном водотвердого отношения. В статье приведены данные о результатах апробации разработанной методики, подтверждающие ее эффективность.

Ключевые слова: газобетон неавтоклавного твердения, микрозаполнитель, молотый гранитный отсев, состав, газобетонная смесь, проектная плотность.

Для цитирования: Самуйлов, Ю. Д. Методика определения состава газобетонной смеси требуемой плотности неавтоклавного ячеистого газобетона на микрозаполнителе из диспергированного гранитного отсева / Ю. Д. Самуйлов // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 214–232. <https://doi.org/10.23746/2018-10-14>

Yuri Samuilov, Master in Engineering Science, Postgraduate, Belarusian National Technical University (Minsk, Belarus)

THE METHOD OF DETERMINING THE COMPOSITION OF THE CONCRETE MIXTURE TO THE REQUIRED DENSITY OF NON-AUTOCRAVED AERATED CONCRETE ON MICRO FILLER OF DISPERSED GRANITE DROPOUT

ABSTRACT

The article presents the results of research in the form of methods for determining the composition of aerated concrete mixture (according to the required design density) of aerated concrete of non-autoclaved hardening on cement binder and micro-filler from dispersed granite screenings. The information about the components of the designed aerated concrete mixture, including a binder, micro-filler, gas-forming additives

and surfactants. The developed method takes into account such factors as: the projected density of aerated concrete, the parameters of the mold for pouring the mixture, the ratio of the required amount of micro-filler and cement, the ratio of water consumption and the total content of solid components of the mixture, the activity of gas-forming components, the loss coefficient of the mixture, the mass fraction of CaO in the cement. The technique allows not only with a high degree of accuracy to determine the cost of all necessary components for the preparation of aerated concrete mixture, but also makes it possible to assess the impact of other related and important factors of the technological process of preparation of aerated concrete, in particular, the mass of the concrete mixture and the volume of the concrete mixture before gas formation. The formula for calculating the volume of forms with an arbitrary configuration, given in the technique, makes it possible to use not only forms with correct, but also complex geometric parameters, which, in turn, allows you to apply this method of calculation in the manufacture of complex architectural elements. The method of determining the swelling coefficient allows us to estimate the ability of the concrete mixture of the calculated composition to gas formation with sufficient accuracy for practical use, empirically, which allows us to design aerated concrete mixtures with a wide range of water-solid ratio. The article presents data on the results of testing the developed technique, confirming its effectiveness.

Keywords: non-autoclaved aerated concrete, micro-filler, ground granite screenings, composition, non-autoclaved aerated concrete mixture, design density.

For citation: Samuilov Yu. The method of determining the composition of the concrete mixture to the required density of non-autoclaved aerated concrete on micro filler of dispersed granite dropout. *Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete: Collected Research Papers*. Minsk. Institute BelNIIS. Vol. 10. 2018. Pp. 214–232. <https://doi.org/10.23746/2018-10-14> (in Russian)

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь широко распространена практика применения ячеистого бетона в различных видах строительства.

Основные объемы данного строительного материала (в виде штучных изделий из него) идут на устройство заполнения железобетонных каркасов многоэтажных жилых и производственных зданий, выполняемых по технологиям сборного, монолитного и сборно-монолитного строительства, а также для малоэтажной жилой застройки (строительство многоквартирных и многоквартирных жилых домов до 3 этажей, коттеджей, хозяйственных зданий).

В коттеджном строительстве данный вид строительных материалов особенно популярен, так как имеет целый ряд преимуществ: хорошие звукоизоляционные и термоизоляционные характеристики, малый вес, прочность (достаточную для использования материала в конструкционных целях), скорость и легкость монтажа, простоту обработки (резки, фрезеровки, штрабовки). Эти свойства ячеистого бетона обеспечили ему прочные позиции на рынке строительных материалов.

Как известно, данный строительный материал производится по автоклавной и неавтоклавной технологиям. Современная неавтоклавная технология производства ячеистого бетона имеет ряд преимуществ: позволяет работать в монолитном строительстве, минимизирует номенклатуру используемого при производстве ячеистого бетона оборудования. Этот бетон может твердеть не только в условиях тепловой обработки, но и в обычных атмосферных условиях, что позволяет избежать существенных энергетических затрат на его изготовление.

Однако качество современных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения оставляет желать лучшего. На сегодняшний день они значительно уступают по своим прочностным характеристикам ячеистобетонным изделиям, полученным по автоклавной технологии. Это связано главным образом с несовершенством методов проектирования составов неавтоклавных газобетонных смесей, которые должны обеспечить получение готового газобетона с заданными плотностями и прочностными параметрами. Анализ источников [4–6] показывает, что в приведенных в них методах проектирования ячеистого бетона не учитываются наличие химически связанной воды и степень гидратации вяжущего, отсутствует расчет

количества газообразователя. Источник [5] приводит методику проектирования неавтоклавного пенобетона, которая описывает принципиально иной способ формирования ячеистой структуры бетона по сравнению с методикой, описанной в данной статье. Источник [6] приводит методику проектирования автоклавного газобетона, который не способен твердеть в естественных условиях. Ни один из источников [4–6] не использует в качестве микрозаполнителя для ячеистобетонной смеси молотый гранитный отсев.

Немаловажной проблемой в производстве ячеистого бетона также является поиск качественного и доступного сырья, применимого в качестве микрозаполнителя, на роль которого хорошо подходит молотый или фракционированный гранитный отсев, производимый РУПП «Гранит» и обрабатываемый ОАО «НПК Гранит» (Республика Беларусь, Брестская обл., Лунинецкий район, г. Микашевичи). В связи с этим была предпринята попытка развить существующие методы технологического проектирования в данном промышленном направлении. Часть результатов проведенной работы приведена в этой статье.

Цель исследования, описанного в данной работе, – это разработка методики расчета состава газобетонной смеси (по проектной плотности) для приготовления неавтоклавного ячеистого газобетона на цементном вяжущем и микрозаполнителе из диспергированного гранитного отсева, которая обеспечивает достоверный результат в диапазоне плотностей материала от 300 до 900 кг/м³ ячеистого бетона, данная методика должна обеспечить получение газобетонных смесей, которые могут быть использованы при монолитном бетонировании, а также в производстве сборных изделий с использованием форм и опалубок со сложными геометрическими параметрами.

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЯЧЕИСТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Вяжущее. В качестве вяжущего использовался портландцемент «СЕМ 1 42,5N» (производства ОАО «Белорусский цементный

завод») по СТБ ЕН 197-1-2007 (соответствует М500-Д0 по ГОСТ 10178-85, 2-й группы эффективности).

Микрозаполнитель. В качестве инертного микрозаполнителя использовался отсеб фракционированный из материалов дробления горных пород 0-0,63 по ТУ ВУ 200161167.004-2013, производства РУПП «Гранит», Микашевичи, с удельной поверхностью 4 600 см²/г.

Компоненты для реакции газообразования. В качестве газообразователя применялась водная суспензия алюминиевой пудры, изготовленная из алюминиевой пудры ПАП-1, отвечающей требованиям ГОСТ 5494-95.

В качестве вспомогательного компонента для реакции газообразования применялась известь строительная воздушная кальциевая негашеная комовая быстрогасящаяся 2-го сорта (производства ОАО «Белорусский цементный завод») по ГОСТ 9179-77.

Химическая добавка ПАВ. В качестве химической добавки ПАВ использовалась жидкая (Сраствора = 30 %) добавка-пластификатор «Стахемент 2000-М» (добавка-суперпластификатор 1-й группы с повышенным водоредуцирующим эффектом на основе поликарбоксилатных смол, по ТУ ВУ 800013176.004-2011).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СОСТАВА ГАЗОБЕТОННОЙ СМЕСИ С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПЛОТНОСТИ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Все эмпирические коэффициенты, приведенные далее, не являются универсальными и справедливы только для указанных в статье материалов. При выборе других материалов коэффициенты необходимо уточнять лабораторно.

1. Задаемcя соотношением МЗ/Ц, где МЗ – расход микрозаполнителя на приготовление 1 м³ газобетона; Ц – расход цемента на приготовление 1 м³ газобетона. Данное соотношение рекомендуется принимать в диапазоне 0,5...1 (в зависимости от требуемых прочностных характеристик бетона и необходимости экономии вяжущего, исследования показали, что чем выше уровень прочности проектируемого газобетона, тем меньше МЗ/Ц; рис. 1).

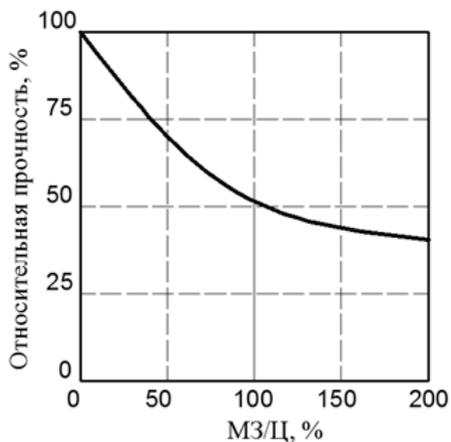


Рисунок 1. График зависимости относительной прочности газобетона от МЗ/Ц

2. Задаемся соотношением V/T , где V – расход воды на приготовление 1 м^3 газобетона; T – суммарный расход твердых компонентов на приготовление 1 м^3 газобетона. Данное соотношение рекомендуется принимать в диапазоне $0,40 \dots 0,65$ (в зависимости от требуемых прочностных характеристик бетона, способа вспучивания (спокойное или вибровспучивание) и необходимого коэффициента вспучивания: исследования показали, что чем выше прочность проектируемого газобетона – тем ниже следует принимать V/T , чем ниже V/T – тем меньше коэффициент вспучивания; рис. 2, 3).

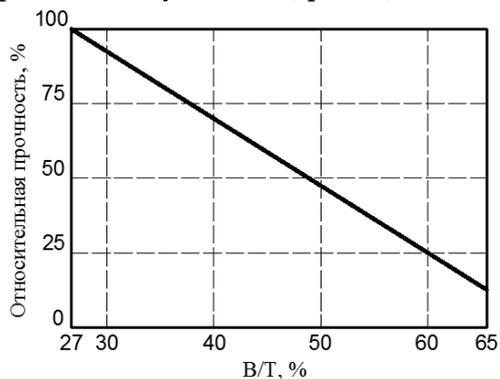
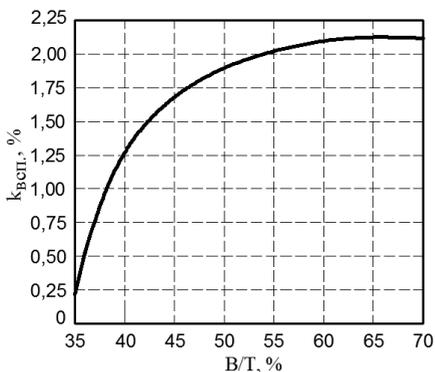
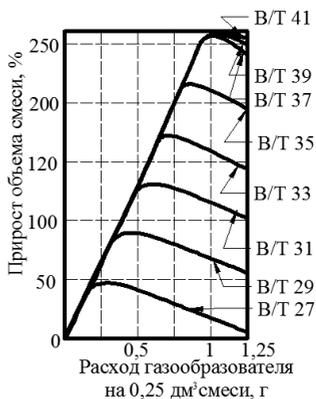


Рисунок 2. График зависимости прочности ячеистого бетона на осевое сжатие от V/T



а



б

Рисунок 3. а – график зависимости коэффициента вспучивания от В/Т (для составов с МЗ/Ц = 1) при спокойном вспучивании; б – графики зависимости прироста объема смеси от расхода газообразователя при различных В/Т (для составов с МЗ/Ц = 1) при вибровспучивании

3. Задаемся плотностью газобетона (ρ_g). Плотность рекомендуется принимать согласно требованиям к проектируемому классу плотности по СТБ 1570 либо по проектной документации.

4. Определяем объем полости формы (V_{ϕ}):

$$V_{\phi} = a \times b \times h, \text{ м}^3, \quad (1)$$

для форм с внутренней полостью в виде прямоугольного параллелепипеда, где a – ширина полости формы, м; b – длина полости формы, м; h – высота полости формы, м; или:

$$V_{\phi} = S \times h, \text{ м}^3, \quad (2)$$

для форм с внутренней полостью постоянного поперечного сечения, где S – площадь поперечного сечения полости формы, м^2 ; h – высота полости формы, м; или:

$$V_{\phi} = \frac{m_{\text{в.ф.}}}{\rho_{\text{в}}}, \text{ м}^3, \quad (3)$$

для форм с внутренней полостью произвольной конфигурации, где $m_{\text{в.ф.}}$ – масса воды, полностью занимающей весь объем полости формы, кг; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды ($1\,000 \text{ кг/м}^3$).

5. Определяем расход цемента на приготовление 1 м³ газобетона (Ц).

5.1. Выводим формулу для расчета расхода цемента на приготовление 1 м³ газобетона (Ц).

5.1.1. Определяем плотность готового газобетона в сухом состоянии (ρ_{δ}):

$$\rho_{\delta} = \frac{m_{\text{б.см.}} - В + Ц \times 0,15}{V_{\phi}}, \text{ кг/м}^3, \quad (4)$$

где 0,15 ($k_{\text{х.в.}}$) – эмпирический коэффициент, который характеризует относительное содержание химически связанной цементом воды, определяется по формуле:

$$k_{\text{х.в.}} = \frac{В - m_{\text{б.см.}} + \rho_{\delta}}{Ц}. \quad (4')$$

5.1.2. Определяем массу 1 м³ газобетонной смеси ($m_{\text{б.см.}}$):

$$m_{\text{б.см.}} = Ц + МЗ + В + Д + Г, \text{ кг}, \quad (5)$$

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

5.1.3. Определяем расход микрозаполнителя на приготовление 1 м³ газобетона (МЗ):

$$МЗ = Ц \times (МЗ / Ц), \text{ кг}. \quad (6)$$

5.1.4. Переписываем соотношение (4) с учетом соотношения (5):

$$\rho_{\delta} = \frac{Ц + МЗ + В + Д + Г - В + Ц \times 0,15}{V_{\phi}}, \text{ кг/м}^3. \quad (7)$$

Упрощаем выражение (7) при помощи математических преобразований, величинами Д и Г пренебрегаем ввиду их незначительности:

$$\rho_{\delta} = \frac{Ц \times 1,15 + МЗ}{V_{\phi}}, \text{ кг/м}^3. \quad (8.1)$$

С учетом соотношения (6) выражение (8.1) примет вид:

$$\rho_{\delta} = \frac{\text{Ц} \times (1,15 + (\text{МЗ} / \text{Ц}))}{V_{\phi}}, \text{ кг/м}^3. \quad (8.2)$$

Из соотношения (8.2) выводим формулу для определения расхода цемента на приготовление 1 м³ газобетона (Ц):

$$\text{Ц} = \frac{\rho_{\delta} \times V_{\phi}}{(1,15 + (\text{МЗ} / \text{Ц}))}, \text{ кг.} \quad (9)$$

5.2. Определяем расход цемента на приготовление 1 м³ газобетона (Ц) по формуле (9).

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

7. Определяем суммарный расход твердых компонентов на приготовление 1 м³ газобетона (Т):

$$\text{T} = \text{Ц} + \text{МЗ}, \text{ кг.} \quad (10)$$

8. Определяем расход воды на приготовление 1 м³ газобетона (В):

$$\text{В} = \text{T} \times (\text{В} / \text{T}), \text{ кг.} \quad (11)$$

В том числе:

8.1. Количество воды, необходимой для приготовления газообразующей суспензии:

$$\text{В}_c = 15 \times \Gamma, \text{ кг,} \quad (12)$$

где 15 – эмпирический коэффициент, установленный экспериментально (для приготовления алюминиевой суспензии использовалось 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).

8.2. Вода затворения ячеистобетонной смеси:

$$\text{В}_з = \text{В} - \text{В}_c, \text{ кг.} \quad (13)$$

9. Определяем расход добавки-пластификатора, используемой в качестве ПАВ для приготовления газообразующей суспензии (Д):

$$Д = \Gamma \times 0,167, \text{ кг}, \quad (14)$$

где 0,167 – эмпирический коэффициент, установленный экспериментально (для приготовления алюминиевой суспензии использовалось 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).

10. Определяем расход газообразователя ПАП (пудры алюминиевой) на приготовление 1 м³ ячеистого бетона (Г):

$$\Gamma = \frac{V_{\text{ф}} - V_{\text{б.см.}}}{0,25 \times k_{\text{всп.}}}, \text{ кг}, \quad (15)$$

где $V_{\text{б.см.}}$ – объем залитой в форму ячеистобетонной смеси до газообразования, м³; $k_{\text{всп.}}$ – коэффициент вспучивания.

10.1. Расчет объема залитой в форму ячеистобетонной смеси до газообразования ($V_{\text{б.см.}}$):

$$V_{\text{б.см.}} = \frac{МЗ}{\rho_{\text{мз.ист.}}} + \frac{Ц}{\rho_{\text{ц.ист.}}} + \frac{В}{\rho_{\text{в}}}, \text{ м}^3, \quad (16)$$

где $\rho_{\text{мз.ист.}}$ – истинная плотность микрозаполнителя (для гранита – 2 670 кг/м³); $\rho_{\text{ц.ист.}}$ – истинная плотность цемента (3 100 кг/м³).

10.2. Определение коэффициента вспучивания ($k_{\text{всп.}}$): $k_{\text{всп.}}$ – эмпирический коэффициент, который показывает прирост объема пробы ячеистобетонной смеси объемом 0,25 дм³, после реакции в ней 1 г газообразователя. $k_{\text{всп.}}$ определяется согласно соответствующей методике, приведенной ниже.

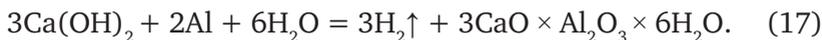
11. Учет особенностей газообразования в цементных ячеистых газобетонах.

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 некоторые разновидности цементов 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 цементов с низким содержанием свободной СаО, необходимо вводить в состав бетона дополнительное количество негашеной извести.

Реакция газообразования в ячеистобетонной смеси происходит следующим образом:



Определим молярные массы: $M_{2\text{Al}} = 2 \times 27 = 54$ (г/моль); $M_{3\text{CaO}} = 3 \times (40,1 + 16) = 168,3$ (г/моль). Следовательно, соотношение Al и СаО для протекания реакции газообразования будет выглядеть следующим образом:

$$m_{\text{CaO}} = \frac{m_{\text{Al}}}{54} \times 168,3, \text{ кг}, \quad (18)$$

где – масса чистой извести; – масса чистого алюминия.

С учетом того что известь и газообразователь не обладают абсолютной чистотой вещества, для определения расхода компонентов перепишем выражение (18) так:

$$И = \frac{\Gamma \times A_{\Gamma}}{54 \times A_{\Pi}} \times 168,3, \text{ кг}, \quad (19)$$

где – активность газообразователя (ПАП); – расход негашеной извести на приготовление 1 м³ ячеистого бетона; – активность негашеной извести.

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

$$И' = И - \frac{\Pi \times \omega_{\text{CaO}}}{A_{\Pi}}, \text{ кг}, \quad (20)$$

где – массовая доля СаО в цементе.

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



Определим молярные массы: $M_{\text{CaO}} = 40,1 + 16 = 56,1$ (г/моль); $= 2 \times 1 + 16 = 18$ (г/моль). Следовательно, соотношение CaO и H_2O для протекания реакции гидратации будет выглядеть следующим образом:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{CaO}}}{56,1} \times 18, \text{ кг}, \quad (22)$$

где – масса воды.

Исходя из выражения (22), можем записать формулу для определения массы воды, необходимой для гидратации извести ($V_{\text{г.и.}}$):

$$V_{\text{г.и.}} = \frac{W' \times A_{\text{и}}}{56,1} \times 18, \text{ кг}. \quad (23)$$

При корректировке состава ячеистобетонной смеси, с учетом дополнительно вводимой извести, уменьшаем расход микрозаполнителя на массу извести, добавляем к воде затворения воду, необходимую для гидратации дополнительно вводимой извести (см. формулу 22).

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВСПУЧИВАНИЯ

Коэффициент вспучивания определяется при помощи стандартной формы для формования образцов кубов $100 \times 100 \times 100$ мм. Сущность метода заключается в моделировании процесса вспучивания газобетонной смеси на пробе малого объема ($0,25 \text{ дм}^3$), отобранной из замеса. На одну пробу смеси приходится 1 г газообразователя.

Коэффициент вспучивания (k) отражает прирост объема ячеистобетонной смеси к первоначальному, после вспучивания, при использовании 1 г газообразователя на $0,25 \text{ дм}^3$ смеси. Данный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{всп.}} = \frac{V_{\text{б.см.всп.}}}{V_{\text{б.см.}}} - 1. \quad (24)$$

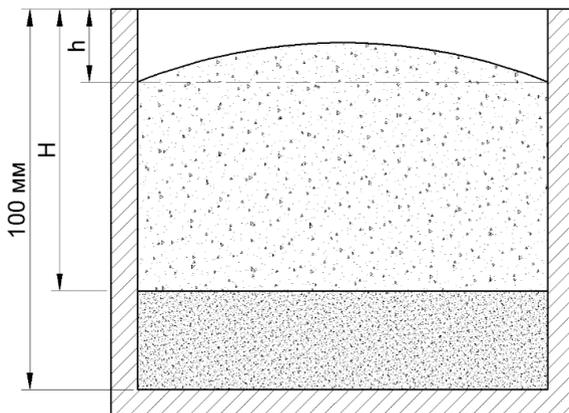


Рисунок 4. Определение коэффициента вспучивания

Подставляя экспериментальные данные в (24), получаем следующее выражение:

$$k_{\text{всп.}} = \frac{100 \times 100 \times (100 - h)}{100 \times 100 \times (100 - H)} - 1. \quad (25)$$

Учитывая тот факт, что высота заливки смеси в данной методике равна 25 мм ($H = 75$ мм), выражение (25) примет вид:

$$k_{\text{всп.}} = \frac{100 - h}{25} - 1. \quad (26)$$

Методика универсальна и позволяет оценить вспучиваемость газобетонной смеси даже тогда, когда подвижность смеси не позволяет полностью реализовать расчетную вспучивающую способность газообразователя.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА СОСТАВА ГАЗОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Образцы неавтоклавного газобетона изготавливают 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 48 часов, до набора распалубочной прочности;

- срезка горбушки и распалубка образцов газобетона;
- тепловлажностная обработка (ТВО) образцов газобетона;
- сушка образцов газобетона до постоянной массы.

Процесс приготовления газобетонной смеси включает в себя следующие операции:

- дозирование и гомогенизация компонентов для приготовления алюминиевой суспензии в отдельной емкости (вода + ПАВ + газообразователь);
- дозирование и перемешивание воды, цемента, растертой комовой извести и алюминиевой суспензии в основной емкости для перемешивания газобетонной смеси;
- добавка в основную емкость для перемешивания микрозаполнителя из диспергированного гранитного отсева и окончательное перемешивание всех компонентов газобетонной смеси.

Процесс вспучивания интенсифицируют с помощью воздействия на форму вибрированием на виброплощадке.

Формы с газобетонными образцами в течение 48-часовой выдержки укрывают полиэтиленовой пленкой во избежание потери образцами влаги.

Срезку горбушки осуществляют с помощью возвратно-поступательного движения металлической проволоки по аналогии с производственными приемами.

Тепловую обработку образцов газобетона производят в течение 48 часов (два цикла) по следующему режиму (рис. 5) в сушильном шкафу (допускается производить в тепловой камере).

Во избежание потерь влаги перед началом тепловой обработки извлеченные из форм образцы газобетона смачивают и укрывают полиэтиленовой пленкой.

Сушку образцов газобетона производят до постоянной массы.

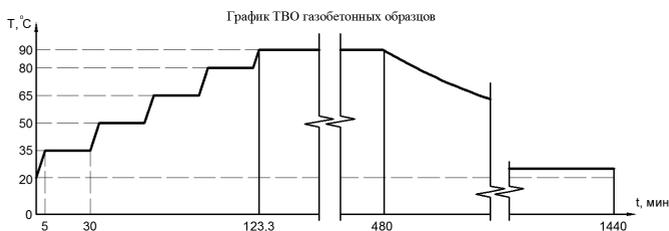


Рисунок 5. График тепловлажностной обработки

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА СОСТАВОВ ГАЗОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В качестве примера приведены результаты расчета составов газобетонных смесей и фактически полученные плотности бетона, которые были запроектированы для получения газобетона со средней плотностью сухого материала: 400, 600 и 800 кг/м³. Составы контрольных смесей приведены в таблице 1, фактические показатели газобетона – в таблице 2.

Таблица 1

Составы контрольных газобетонных смесей (на 1 м³ газобетона)

Расчетная плотность, кг/м ³	Показатель	Единица измерения	Значение показателя
1	2	3	4
400	Соотношение (МЗ/Ц)	–	1
	Соотношение (В/Т)	–	0,6
	Активность извести	–	0,8
	Активность газообразователя	–	0,95
	Коэффициент потерь	–	1,07
	Коэффициент вспучивания	–	2,60
	Массовая доля СаО в вяжущем	Доли единицы	0,0081
	Расход цемента	кг	199
	Расход микрозаполнителя	кг	197
	Расход воды	кг	238
	Расход газообразователя	кг	1,1
	Расход добавки ПАВ	кг	0,2
Расход извести	кг	1,9	
600	Соотношение (МЗ/Ц)	–	1
	Соотношение (В/Т)	–	0,6
	Активность извести	–	0,8
	Активность газообразователя	–	0,95
	Коэффициент потерь	–	1,07
600	Коэффициент вспучивания	–	2,60
	Массовая доля СаО в вяжущем	Доли единицы	0,0081
	Расход цемента	кг	299
	Расход микрозаполнителя	кг	299
	Расход воды	кг	358
	Расход газообразователя	кг	0,8
	Расход добавки ПАВ	кг	0,1
Расход извести	кг	0	

Расчетная плотность, кг/м ³	Показатель	Единица измерения	Значение показателя
800	Соотношение (МЗ/Ц)	–	1
	Соотношение (В/Т)	–	0,6
	Активность извести	–	0,8
	Активность газообразователя	–	0,95
	Коэффициент потерь	–	1,07
	Коэффициент вспучивания	–	2,60
	Массовая доля СаО в вяжущем	Доли единицы	0,0081
	Расход цемента	кг	398
	Расход микрозаполнителя	кг	398
	Расход воды	кг	478
	Расход газообразователя	кг	0,5
	Расход добавки ПАВ	кг	0,1
	Расход извести	кг	0

Таблица 2

Сравнительный анализ расчетных и фактических плотностей контрольных газобетонных смесей

Расчетная плотность, кг/м ³	Фактическая плотность в сухом состоянии, кг/м ³						Отклонение показателя, %
	Частные значения					Среднее	
400	407	408	411	410	408	409	2,3
600	610	614	608	614	610	611	1,8
800	815	815	819	814	811	815	1,9
Примечание: определение плотности по ГОСТ 12730.1-78							

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика расчета состава газобетонной смеси (по проектной плотности) для приготовления неавтоклавного ячеистого газобетона на цементном вяжущем и микрозаполнителе из диспергированного гранитного отсева, которая обеспечивает достоверный результат в диапазоне плотностей материала от 300 до 900 кг/м³ ячеистого бетона.
2. Предложенная методика позволяет получать газобетонные смеси, которые могут быть использованы при монолитном

бетонировании, а также в производстве сборных изделий с использованием форм и опалубок со сложными геометрическими параметрами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетоны ячеистые. Технические условия : СТБ 1570-2005. – Введ. 2006-07-01. – Мн.: Минстройархитектуры, 2005. – 15 с.
2. Бетоны. Метод определения влажности : ГОСТ 12730.2-78. – Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартиформ, 2007. – 4 с.
3. Бетоны. Методы определения плотности : ГОСТ 12730.1-78. – Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартиформ, 2007. – 5 с.
4. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона : СН 277-80. – Введ. 1980-02-07. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 47 с.
5. Кудяков, А. И. Проектирование неавтоклавного пенобетона / А. И. Кудяков, Д. А. Киселев // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С. 8–9.
6. Сажнев, Н. П. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика / И. П. Сажнев, В. Н. Гончарик, Г. С. Гарнашевич, Л. В. Соколовский. – Минск: Стринко, 1999. – 284 с.
7. ОАО «Белорусский цементный завод» // Официальный сайт [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.belcement.by>. – Дата доступа: 18.09.2018.

Статья поступила: 13.11.2018

REFERENCES

1. STB 1570-2005. *Betony yacheistye. Tehnicheskie usloviya* [Aerated concrete. Technical conditions]. Introduced: 2006-07-01. Minsk: Minstroyarhitektury, 2005. 15 p. (rus)
2. GOST 12730.2-78. *Betony. Metod opredeleniya vlazhnosti* [The concretes. The method of determining the moisture]. Introduced: 2006-07-01. Moscow: Standartinform, 2007. 4 p. (rus)

3. GOST 12730.1-78. *Betony. Metod opredeleniya plotnosti* [The concretes. Methods for determining the density]. Introduced: 1980-01-01. Moscow: Standartinform, 2007. 5 p. (rus)
4. SN 277-80. *Instruktsyya po izgotovleniyu izdeliy iz yacheistogo betona* [Instructions for the manufacture of cellular concrete products]. Introduced: 1980-02-07. Moscow: GUP CPU, 2001. 47 p. (rus)
5. Kudyakov A. I., Kiselev, D. A. *Proektirovanie neavtoklavno-go penobetona* [Design of non-autoclaved foam concrete] // *Stroitelnye materialy*. 2006. № 8. Pp. 8–9. (rus)
6. Sazhnev N. P., Goncharik V. N., Garnashevich G. S., Sokolovskiy L. V. *Proizvodstvo yacheistobetonnyh izdeliy: teoriya i praktika* [Production of cellular concrete products: theory and practice]. Minsk: Strinko, 1999. 284 p.(rus)
7. JSC “Belarusian cement plant”. Official site [Electronic resource]. 2018. Mode of access: <http://www.belcement.by>. Date of access: 18.09.2018.

Received: 13.11.2018