

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.327 : 666.973

Л.Б. ДЗАБИЕВА, П.И. ЮХНЕВСКИЙ

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Предложена методика аналитического расчета величины удельного объема сухих компонентов ячеистого бетона исходя из величины истинной плотности исходных сырьевых компонентов и их соотношения в сырьевой смеси: отношения массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего, соотношения цемента и извести, если это вяжущее смешанное. Для расчета истинной плотности смеси сухих компонентов использована известная формула смешения, применяемая при подборе состава шихты в производстве портландцемента. Методика позволяет учесть расчетным путем весь диапазон изменений параметров сырьевых материалов и их соотношений, сократить трудоемкость технологического проектирования составов ячеистого бетона.

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, расчет состава, сырьевая смесь, абсолютный объем сухих компонентов.

Расчет состава формовочных масс при технологическом проектировании производства ячеисто-бетонных изделий проводится по методу абсолютных объемов, сущность которого сводится к следующему. Объем готового ячеистого бетона принимается за единицу и рассматривается как объем поризованного твердого тела, состоящего из объема, занимаемого твердой фазой, и объема порового пространства. Последнее формируется двумя путями: одна часть за счет испарения свободной воды, т.е. той части воды затворения, которая не вступает в реакции образования гидросиликатов кальция при автоклавной обработке изделий, вторая – за счет порообразования, происходящего при взаимодействии с компонентами сырьевой смеси специально введенных газообразователей (или за счет объема введенной пены).

Для расчета каждой из названных составляющих объема ячеистого бетона используются следующие зависимости. Доля химически связанной воды учитывается через коэффициент  $K_c$ , который показывает степень увеличения массы сухих материалов за счет гидратационного связывания воды при образовании гидросиликатов кальция. Следовательно, расход сухих материалов для получения ячеистого бетона окажется меньше заданной средней плотности  $\rho_6$  и его можно определить как  $\rho_6/K_c$ . Умножая это значение на величину принятого в производстве водотвердого отношения В/Т,

рассчитывается объем пористости ячеистого бетона, которая формируется за счет испарения свободной воды:

$$V_{\text{п}}^{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{б}}}{K_{\text{с}}} \cdot V / T. \quad (1)$$

Величина  $K_{\text{с}}$  принимается для проектных расчетов равной  $K_{\text{с}} = 1,1^1$  и затем уточняется в ходе лабораторных испытаний. Объем пор, образовавшихся за счет реакции газообразования, вычисляется в каждом конкретном случае по уравнению химической реакции взаимодействия газообразователя с компонентами сырьевой смеси. Например, в случае использования алюминиевой пудры идет реакция



Пористость, образовавшаяся за счет этой реакции, определяется по объему выделенного водорода с учетом температурной поправки Гей-Люссака и коэффициента использования газообразователя, обозначается как  $\Pi_{\text{г}}$ . Таким же образом рассчитывается  $\Pi_{\text{г}}$  и при использовании других газообразователей – пергидроля, ферросилиция и др.

Как видно, в применяемой методике проблем с расчетом поровой составляющей объема ячеистого бетона не возникает. Иное дело с расчетом объема, занимаемого твердой фазой. Здесь базовая расчетная формула

$$\Pi_{\text{г}} + \frac{\rho_{\text{б}}}{K_{\text{с}}} (V / T + W) = 1 \quad (3)$$

предусматривает введение параметра  $W$  – удельного (абсолютного) объема сухих компонентов ( $\text{см}^3/\text{г}$  или  $\text{л}/\text{кг}$ ). В этом случае объем, занимаемый в ячеистом бетоне твердой фазой, рассчитывается как произведение массы сухих сырьевых компонентов, израсходованных на получение единицы объема ячеистого бетона заданной средней плотности, на их удельный объем  $W$ . Физический смысл этого параметра – объем, занимаемый единицей массы сухих компонентов, т.е. это величина, обратная их истинной плотности. Таким образом, для определения  $W$  необходимо найти истинную плотность смеси сухих сырьевых материалов.

Многолетний опыт использования метода абсолютных объемов в курсовом и дипломном проектировании технологии производства ячеистых бетонов показывает, что предлагаемый способ<sup>1</sup> определения  $W$  из пробного замеса по формуле

$$W = \frac{1 + V / T}{\rho_{\text{р}}^{\text{ф}}} - V / T \quad (4)$$

практически нереализуем в процессе проектирования, а определение величины  $W$  при расчете состава ячеистого бетона является проблематичным.

Одновременно этот параметр может быть рассчитан аналитически. Удельный объем сухих компонентов можно определить исходя из величины истинной плотности исходных сырьевых компонентов и их соотноше-

<sup>1</sup> СН 277–80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. М.: Стройиздат, 1981. 47 с.

ния в сырьевой смеси: отношения массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего, соотношения цемента и извести, если это вяжущее смешанное.

Каждому виду вяжущего соответствует своя оптимальная доля кремнеземистого компонента, зависящая от содержания в вяжущем гидроксида кальция, способного связывать кремнеземистый компонент в гидросиликаты при автоклавной обработке. Если кремнеземистого компонента вводится больше оптимальной дозировки, его избыток становится инертным наполнителем; имея меньшую величину истинной плотности по сравнению с вяжущим, он приводит к снижению истинной плотности смеси компонентов, а следовательно, к увеличению ее удельного (абсолютного) объема.

При заниженном содержании кремнеземистого компонента недоиспользуются уже возможности вяжущего, избыток его удорожает изделие. Кроме того, за счет повышенной усадки вяжущего, не вступившего в реакцию образования гидросиликатов кальция, снижается трещиностойкость изделий. Количество кремнеземистого компонента, приходящегося на единицу массы вяжущего, обозначается<sup>1</sup> через  $C$ , а исходные значения этого коэффициента принимаются в зависимости от вида вяжущего.

Истинная плотность смеси сухих компонентов зависит от истинной плотности входящих в смесь материалов, в данном случае портландцемента, извести, кремнеземистого компонента, в качестве которого в технологии ячеистых бетонов используется чаще всего кварцевый песок. При этом естественно, чем легче применяемый кремнеземистый компонент, тем больше будет величина его удельного объема.

Чтобы рассчитать истинную плотность смеси сухих компонентов, воспользуемся известной формулой смешения, применяемой при подборе состава шихты в производстве портландцемента [1]. Правомерность такого подхода обусловлена зависимостью истинной плотности и удельного объема сырьевых компонентов от их минералогического и химического составов. Так, истинная плотность кремнеземсодержащих сырьевых компонентов ячеисто-бетонных смесей (песок, шлак, зола) находится в пределах 2–2,65 г/см<sup>3</sup> и всегда значительно меньше истинной плотности вяжущих компонентов 3–3,75 г/см<sup>3</sup> [2].

Рассмотрим случай, когда смесь сухих компонентов состоит из двух составляющих – извести и кремнеземистого компонента:

$$\frac{m_{\text{кр}}}{m_{\text{и}}} = C. \quad (5)$$

Если принять долю извести за единицу, а долю кремнеземистого компонента за  $C$ , то по правилу смешения истинную плотность их смеси можно выразить как

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_{\text{и}} + C \cdot \rho_{\text{к}}}{1 + C}, \quad (6)$$

где  $\rho_{\text{к}}$  и  $\rho_{\text{и}}$  – истинная плотность соответственно кремнеземистого компонента и извести.

Поскольку  $W$  есть величина, обратная  $\rho_{см}$ , то поделив  $1/\rho_{см}$ , получим искомое значение  $W$ . Тогда

$$W_{см} = \frac{1}{\rho_{см}} = \frac{1+C}{\rho_{и} + C \cdot \rho_{к}}. \quad (7)$$

Например, смесь состоит из извести плотностью  $\rho_{и} = 3,0 \text{ г/см}^3$  и кремнеземистого компонента – песка кварцевого  $\rho_{к} = 2,65 \text{ г/см}^3$ , отношение массы песка к массе извести принято  $C = 3$ . Рассчитаем для этого случая величину  $W$  по формуле (7)

$$W = \frac{1+C}{\rho_{и} + C \cdot \rho_{к}} = \frac{1+3}{3 + 3 \cdot 2,65} = 0,36 \text{ см}^3/\text{г}. \quad (8)$$

При смешивании трех компонентов результирующий параметр – истинную плотность смеси можно рассчитать как

$$\rho_{см} = \frac{\rho_1 + x \cdot \rho_2 + y \cdot \rho_3}{1 + x + y}, \quad (9)$$

где  $\rho_1, \rho_2$  и  $\rho_3$  – истинные плотности составляющих смесь компонентов;  $1, x, y$  – их массовые доли.

Если компоненты смеси – портландцемент плотностью  $\rho_{ц} = 3,1 \text{ г/см}^3$ , известь  $\rho_{и} = 3,0 \text{ г/см}^3$  и песок  $\rho_{к} = 2,65 \text{ г/см}^3$ , а доли цемента и извести равны 1, величина  $C = 3$ , то

$$\rho_{см} = \frac{\rho_{ц} + \rho_{и} + 3\rho_{к}}{1+1+3} = \frac{3,1+3,0+3 \cdot 2,65}{5} = 2,81 \text{ г/см}^3, \quad (10)$$

тогда

$$W_{см} = \frac{1}{\rho_{см}} = \frac{1}{2,81} = 0,35 \text{ см}^3/\text{г}. \quad (11)$$

Поскольку истинные плотности портландцемента и извести близки между собой по величине, можно без большой погрешности рассматривать их смесь с кремнеземистым компонентом как двухкомпонентную систему и рассчитывать истинную плотность смеси по формуле (6).

В таблице приведены результаты расчетов по предлагаемому методу удельного объема смеси сухих сырьевых материалов для различных видов вяжущих и кремнеземистых компонентов.

**Значения удельного объема  $W$  для различных видов вяжущих и кремнеземистых компонентов**

Вид кремнеземистого компонента	Вид вяжущего вещества								
	портландцемент			известь			смешанное вяжущее Ц:И = 1:1		
	$C$	$\rho_{см}$	$W$	$C$	$\rho_{см}$	$W$	$C$	$\rho_{см}$	$W$
Песок $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$	1	2,87	0,34	3	2,73	0,37	1,5	2,8	0,36
Зола $\rho = 2,36 \text{ г/см}^3$	1	2,73	0,37	3	2,52	0,4	1,5	2,63	0,38
Легкая зола $\rho = 2 \text{ г/см}^3$	1	2,55	0,39	3	2,25	0,44	1,5	2,42	0,41

Примечание. Единицы измерения:  $\rho_{см}$  –  $\text{г/см}^3$ ,  $W$  –  $\text{см}^3/\text{г}$ .

Таким образом, предлагаемая методика аналитического расчета величины удельного объема сухих компонентов ячеистого бетона позволяет получить расчетным путем значения удельного объема сырьевых смесей и сократить трудоемкость технологического проектирования производства ячеисто-бетонных изделий.

**Выводы.** 1. Предложена методика аналитического расчета величины удельного объема сухих компонентов ячеисто-бетонной смеси.

2. Предлагаемая методика позволяет учесть расчетным путем весь диапазон изменений параметров сырьевых материалов и их соотношений, а ее внедрение в практику подбора составов ячеистого бетона существенно сократит трудоемкость технологического проектирования производства ячеисто-бетонных изделий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артамонова М.В., Рабухин А.И., Савельев В.Г. Практикум по общей технологии силикатов: учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1996. 280 с.
2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. М.: ИнфраИнженерия, 2011. 544 с.

**Дзэбьева Людмила Батырбековна**, канд. техн. наук, доц.

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

**Юхневский Павел Иванович**, д-р техн. наук, доц.;

E-mail: sawa1950@mail.ru

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

Получено 07.06.16

**Dzabieva Lyudmila Batyrbekovna**, PhD, Ass. Professor

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

**Yukhnevskiy Pavel Ivanovich**, DSc, Ass. Professor; E-mail: sawa1950@mail.ru

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

## IMPROVEMENT OF METHODS OF TECHNOLOGICAL DESIGN CELLULAR CONCRETE

The technique of analytical calculation of the value of the specific volume of the dry components of cellular concrete on the basis of the value of the true density of the source of raw materials and their ratio in the raw material mixture: ratio of the mass of silica component to the mass of the binder, the ratio of cement and lime, if it is mixed binder. To calculate the true density of the mixture of dry ingredients used known mixing formula used in the selection of the composition of the charge in the production of Portland cement. The method allows to take into account the full range calculated by changes of parameters of raw materials and their relationships, reduce the complexity of the design process of cellular concrete formulations.

**Key words:** cellular concrete, the composition calculation, raw meal, the absolute volume of dry ingredients.

REFERENCES

1. Artamonova M.V., Rabukhin A.I., Savel'ev V.G. Praktikum po obshchey tekhnologii silikatov: uchebnoe posobie dlya vuzov [Workshop on general technology of silicates: textbook for high schools]. Moscow, Stroyizdat, 1996. 280 p. (in Russian)
  2. Dvorkin L.I., Dworkin O.L. Stroitel'nye mineral'nye vyazhushchie materialy [Construction mineral binding materials]. Moscow, InfraInzheneriya, 2011. 544 p. (in Russian)
-