

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Дзабиева Л.Б., канд. техн. наук, доцент, Юхневский П.И., д-р техн. наук,  
доцент (БНТУ)

**Аннотация.** Предложена методика аналитического расчета величины удельного объема сухих компонентов ячеистого бетона.

При технологическом проектировании составов ячеистобетонных изделий расчет состава формовочных масс производится 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: за счет испарения свободной воды, т.е. той части воды затворения, которая не вступает в реакции образования гидросиликатов кальция при автоклавной обработке изделий, а также 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 его заданной средней плотности  $\rho_b$  и можно определить как  $\rho_b/K_c$ . Умножая это значение на величину принятого на производстве водотвердого отношения  $V/T$ , рассчитывается объем пористости ячеистого бетона, которая формируется за счет испарения свободной воды

$$V_{\text{п}}^{\text{в}} = \frac{\rho_b}{K_c} \cdot V/T \quad (1)$$

Величина  $K_c$  принимается для проектных расчетов равной  $K_c=1,1$  [1, 2]. 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 ко-

эфициента использования газообразователя, обозначается как  $\Pi_r$  [1, 2]. Таким же образом рассчитывается  $\Pi_r$  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

$$\Pi_r + \frac{\rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{с}}} (B/T + W) = 1 \quad (3)$$

предусматривает введение параметра  $W$  – удельный (абсолютный) объем 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 в [1, 2] способ определения  $W$  из пробного замеса по формуле

$$W = \frac{1+B/T}{\rho_{\text{с}}} - B/T \quad (4)$$

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

Одновременно этот параметр может быть рассчитан аналитически исходя из следующих соображений. Удельный объем сухих компонентов может быть рассчитан 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.

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 плотности смеси компонентов, а, следовательно, к увеличению ее удельного 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. Ко-

личество кремнеземистого компонента, приходящегося на единицу массы вяжущего, обозначается в [1, 2] через  $C$ , а исходные значения этого коэффициента принимаются в зависимости от вида вяжущего [1, 2].

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 можно воспользоваться известной формулой смешения, применяемой при подборе состава шихты в производстве портландцемента [3]. Рассмотрим случай, когда смесь сухих компонентов состоит из двух составляющих – извести и кремнеземистого компонента, соотношение которых принято обозначать

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

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

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

где  $\rho_{к}$  и  $\rho_{и}$  – 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  $\rho_{и}=3,0$  г/см<sup>3</sup> и кремнеземистого компонента – песка кварцевого  $\rho_{к}=2,65$  г/см<sup>3</sup>, отношение массы песка к массе извести принято  $C=3$ . Рассчитаем для этого случая величину  $W$  по формуле (7)

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

При смешивании трех компонентов результирующий параметр – истинная плотность смеси определится 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, а  $1$ ,  $x$ ,  $y$  – их массовые доли.

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

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

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

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).

Ниже для примера приведены результаты расчетов по предлагаемому методу удельного объема смеси сухих сырьевых материалов для различных видов вяжущих и кремнеземистых компонентов (таблица).

Таблица – Значения удельного объема  $W$  для различных видов вяжущих

Вид кремнеземистого компонента	Вид вяжущего вещества								
	Портландцемент			Известь			Смешанное вяжущее Ц:И=1:1		
	C	$\rho_{\text{см}}$	W	C	$\rho_{\text{см}}$	W	C	$\rho_{\text{см}}$	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:  $\rho_{\text{см}} - \text{г/см}^3$ ,  $W - \text{см}^3/\text{г}$ .

**Таким образом,** предлагаемая методика аналитического расчета величины удельного объема сухих компонентов ячеистого бетона позволяет получить расчетным путем весь диапазон изменений параметров сырьевых материалов и их соотношений и сократить трудоемкость технологического проектирования производства ячеистобетонных изделий.

**Литература.** 1. ТКП 45-5.03-137-2009 Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления. – Минск, 2010. – 38с. 2. СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. – М.: Стройиздат, 1981.- 47 с. 3. Артамонова, М.В. Практикум по общей технологии силикатов. Учебное пособие для вузов./М.В. Артамонова, А.И. Рабухин, В.Г. Савельев. –М.: Стройиздат, 1996. – 280 с.