

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Дзабиева Л.Б.

**Введение.** В настоящее время в РБ проводится работа по созданию технических кодексов установившейся практики (ТКП) и правил изготовления для различных видов продукции строительной индустрии. Это требует анализа и пересмотра существующих нормативно-технологических документов, включая теоретическое обоснование принятых или предлагаемых методик определения технологических параметров производства.

В статье анализируется связь между технологическими особенностями производства автоклавных ячеистобетонных изделий заданных характеристик и физико-химическими процессами гидросиликатного твердения.

1. **Определение общего расхода сырьевых материалов.** Основной задачей технологического проектирования производства ячеистобетонных изделий является подбор его состава, т.е. определение расхода составляющих ячеистобетонной смеси, при котором будет достигнута заданная средняя плотность и связанная с ней прочность ячеистого бетона. Условием успешности такого проектирования является установление расхода сухих компонентов  $P_{\text{сух}}$  на  $1 \text{ м}^3$  ячеистого бетона заданной средней плотности  $\rho_6$ ,  $\text{кг/м}^3$ , и наиболее выгодного для прочностных показателей ячеистого бетона соотношения массы кремнеземистого компонента  $P_{\text{кр}}$  и массы вяжущего  $P_{\text{вяж}}$ :  $C = P_{\text{кр}} / P_{\text{вяж}}$ .

Решение этих технологических задач базируется на теории гидросиликатного твердения автоклавных изделий, согласно которой затвердевание известково-кремнеземистых смесей обуславливается образованием гидросиликатов кальция (ГСК).

Последние формируются при взаимодействии гидроксида кальция с кремнеземом при наличии воды в жидкой фазе, которая сохраняется таковой при температуре автоклавной обработки благодаря использованию в качестве теплоносителя насыщенного водяного пара повышенного давления. Взаимодействие происходит с поверхности кремнеземистого компонента и поэтому идет тем полнее, чем тоньше размолот кремнеземистый компонент. При этом масса вступающих во взаимодействие  $\text{CaO}$  вяжущего и  $\text{SiO}_2$  кремнеземистого компонента увеличивается за счет присоединения химически связанной воды.

Из этого следует, что расход сухих сырьевых материалов на  $1 \text{ м}^3$  ячеистого бетона суммарно должен быть меньше, чем величина  $\rho_6$ , во столько раз, во сколько молярная масса гидросиликатной составляющей превышает молярную массу силиката кальция безводной фазы.

Количественно коэффициент  $K_c$  увеличения массы сухих при гидратационном связывании воды можно рассчитать из соотношения молярных масс гидросиликатов кальция и соответствующих безводных фаз в формулах ГСК различной основности. Так, для ГСК типа CSH ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) величина  $K_c$  оказывается равной 1,15; для  $\text{C}_2\text{SH}_2$  – 1,21; для  $\text{C}_2\text{SH}$  – 1,1; для тоберморита  $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$  – 1,15.

Таким образом, минимальный коэффициент увеличения массы сухих компонентов за счет гидратационного связывания воды составляет  $K_c = 1,1$ , что и закладывается в расчете состава ячеистого бетона по инструкции [1], а формула

для расчета общего расхода сухих материалов  $P_{\text{сух}} = \rho_0 V / K_c$  для объема  $V = 1 \text{ м}^3$  приобретает вид  $P_{\text{сух}} = \rho_0 / 1,1$ .

При одних и тех же сырьевых материалах в зависимости от параметров и длительности процесса запаривания меняется соотношение в цементирующих новообразованиях низко- и высокоосновных ГСК.

Это сопровождается варьированием коэффициента  $K_c$  в рассчитанных выше пределах с учетом доли каждого типа ГСК, что требует экспериментальной проверки величины  $K_c$  для конкретных производственных условий.

Поскольку априорно принимаемая в технологических расчетах величина  $K_c = 1,1$  является минимальной среди всех типов ГСК, экспериментальное уточнение ее в большую сторону является резервом экономии расхода сырьевых материалов в производстве изделий заданной средней плотности.

**2. Определение состава сырьевой смеси.** Общий расход сухих материалов складывается из массы кремнеземистого компонента и массы вяжущего, соотношение между которыми  $S$  определяющим образом влияет на прочность ячеистого бетона, достигаемую в результате гидросиликатного автоклавного твердения, и также может быть рассчитано из приведенных выше формул ГСК, исходя из величин молярных масс  $\text{SiO}_2$  (60) и  $\text{CaO}$  (56). Наибольшее влияние на прочность ячеистых бетонов оказывают низкоосновные ГСК типа CSH, для которых это отношение составляет 1,07.

Исходные значения  $S$ , приведенные в [1], позволяют гарантированно обеспечить массу кремнеземистого компонента в сырьевой смеси, достаточную для формирования необходимого количества ГСК при автоклавной обработке всех видов вяжущих, используемых в производстве ячеистых бетонов с учетом того обстоятельства, что реакции образования ГСК идут с поверхности частиц кремнеземистого компонента, поэтому требуется значительно больший его расход по сравнению с расчетным.

Если при подготовке формовочной смеси назначается повышенная дисперсность кремнеземистого компонента, то количество образовавшихся ГСК при запаривании ячеистобетонного сырца будет расти и, как следствие, увеличится прочность ячеистого бетона (но понизится сопротивляемость сырца усадочным деформациям).

При назначении исходных величин  $S$  для цементных и известково-цементных вяжущих учитывается, что необходимое для формирования ГСК количество гидроксида кальция, выделяющееся при гидратации алита составляет только 32% от его массы, а, следовательно, еще почти в 2 раза меньшую величину от общей массы клинкера в соответствии с долей алита в его минералогическом составе, поэтому интервал исходных значений  $S$  значительно сужен.

В условиях конкретного производства, для сырьевых материалов известного вещественного и минералогического состава опытным путем выбирается из исходных значений  $S$  соотношение, при котором достигается заданная прочность ячеистого бетона при наиболее выгодном значении отношения  $S = P_{\text{кр}}/P_{\text{в.ж.}}$ .

Что касается технологического проектирования водосодержания ячеистобетонных смесей, то здесь также имеются некоторые особенности.

Например, в технологическом проектировании производства бетонов плотной структуры В/Ц назначается с учетом требуемой формуемости бетонной смеси, и если она достигается, то чем меньше при этом была величина начального В/Ц, тем больше будут показатели средней плотности и прочности получаемого бетона, т.е. зависимость однозначная.

В случае ячеистобетонной смеси величина текучести и связанного с ней водо-твердого отношения (В/Т) принимаются исходя из требуемых реологических показателей формовочной смеси в момент вспучивания, когда малая вязкость смеси способствует ее поризации, и в момент фиксирования полученного пористого строения, когда стабилизации полученной структуры способствует рост вязкости формовочной массы и ее пластической прочности [1, 2, 3].

Часть воды затворения уходит на формирование ГСК, вода, оставшаяся свободной, после испарения участвует в формировании общей пористости ячеистого бетона. Поскольку в этом процессе активно участвует также специально вводимый в состав формовочной массы порообразователь (газо- или пено-), то оказывается, что порообразующие функции обеих составляющих связаны обратной зависимостью. Если заданная текучесть смеси достигается при большем расходе воды, уменьшается вклад порообразователя в достижение заданной средней плотности ячеистого бетона и наоборот, если технологу удается получить нужную текучесть при меньшем расходе воды, как это имеет место, например, при комплексной вибро- или ударной технологии или при введении в состав формовочной массы высокоэффективных пластификаторов, в структурной пористости материала должна быть увеличена составляющая, образованная за счет реакции газообразования или за счет объема введенной пены.

Если принять объем готового ячеистого бетона за единицу, то согласно разработанному НИИЖБ методу абсолютных объемов, он будет состоять из следующих составляющих: объема твердой фазы, объема пор, формирующихся за счет реакции газовыделения порообразователя (или объема введенной пены) и объема пор, формирующихся за счет испарения воды затворения, не вступившей в реакцию образования ГСК и оставшейся свободной, что иллюстрируется следующей зависимостью

$$\rho_0 \cdot (W+V/T)/K_c + P_r = 1,$$

где  $P_r$  – пористость, создаваемая газообразователем;

$W$  – удельный (абсолютный) объем смеси сухих сырьевых материалов, л/кг, определяемый по [1] экспериментальным путем.

На кафедре «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ предложена методика расчета величины  $W$  аналитическим путем [4], исходя из значенной истинной плотности применяемых сырьевых материалов – кремнеземистого компонента и вяжущего и их соотношения  $C$ , что позволяет оперативно пересчитывать на ЭВМ составы ячеистого бетона при изменении названных технологических параметров.

**Заключение.** В работе приведены рекомендации по применению изложенных в документах [1, 2] положений технологического проектирования производства автоклавных ячеистобетонных изделий, вытекающие из теории гидросиликатного твердения. В итоге предложена методика аналитического расчета удельного объема составляющих сырьевой смеси, который ранее определялся только экспериментальным путем.

#### Список цитированных источников

- 1 Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80. – М : Стройиздат, 1981 – 47 с
- 2 Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий по производству изделий из ячеистого и плотного бетонов автоклавного твердения. ОНТП-9-81. – Таллин, 1985 – 98 с.
- 3 Ахметов, А.Р. Технология и свойства ячеистого бетона. – Алма-Ата: Республиканский издательский кабинет, 1992 – 212 с.
- 4 Дзэбисва, Л.Б. Совершенствование методики расчета состава ячеистого бетона / Л.Б. Дзэбисва, А.Э. Змачинский / Совершенствование методики расчета состава ячеистого бетона // Белорусский строительный рынок – 2008. – № 5. – С. 27–28