

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ПЕНОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ
ОАО ТАМБОВСКИЙ ЗАВОД ЖБИ**

При оценке конкурентоспособности стеновых материалов в современных условиях учитывается, что в течение последних лет произошло резкое увеличение стоимости энергоносителей, удорожание транспортных расходов, появилась ориентация на строительство односемейных и малоэтажных домов, а так же в 1995 г. Минстроем РФ внесены изменения в СНиП II-3-79** «Строительная теплотехника» которые на период с 01.01.2000 г. требуют 40 %-го снижения удельного энергопотребления, в соответствии с которыми общее термическое сопротивление ограждающих конструкций для Центрально-Черноземного региона должны составлять порядка $3,2 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. В данных условиях одним из приемлемых материалов является пенобетон.

ПЕНОБЕТОН – ЛЕГКИЙ ЯЧЕЙСТЫЙ БЕТОН, ПОЛУЧАЕМЫЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТВЕРДЕНИЯ РАСТВОРА, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ЦЕМЕНТА, КРЕМНЕЗЕМИСТОГО КОМПОНЕНТА И ВОДЫ, А ТАКЖЕ ПЕНЫ. ПЕНА ОБЕСПЕЧИВАЕТ НЕОБХОДИМОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОЗДУХА В БЕТОНЕ И ЕГО РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВО ВСЕЙ МАССЕ В ВИДЕ ЗАМКНУТЫХ ЯЧЕЕК. ПЕНУ ПОЛУЧАЮТ ИЗ ПЕНОКОНЦЕНТРАТА. ПЕНОБЕТОН ПРИГОТОВЛЯЮТ, СМЕШИВАЯ РАЗДЕЛЬНО ПРИГОТОВЛЕННЫЕ РАСТВОРНУЮ СМЕСЬ И ПЕНУ, ОБРАЗУЮЩУЮ ВОЗДУШНЫЕ ЯЧЕЙКИ. РАСТВОРНУЮ СМЕСЬ ПОЛУЧАЮТ ИЗ ВЯЖУЩЕГО (ЦЕМЕНТА ИЛИ ВОЗДУШНОЙ ИЗВЕСТИ), КРЕМНЕЗЕМИСТОГО КОМПОНЕНТА И ВОДЫ, КАК И В ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОБЕТОНА. ПЕНУ ПРИГОТОВЛЯЮТ В ЛОПАСТНЫХ ПЕНОВЗБИВАТЕЛЯХ ИЛИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСАХ ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА [1, 2, 3].

ЗА ПЕРИОД С 2001 ПО 2003 ГГ. БЫЛА ОПТИМИЗИРОВАНА ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ ОАО ТАМБОВСКИЙ ЗАВОД ЖБИ,

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В.П. Ярцева и канд. хим. наук, доц. О.А. Корчагиной.

ПРИМЕНЯЮЩЕГО УСТАНОВКУ, РАЗРАБОТАННУЮ ОАО «ВНИИСТРОМ ИМ. П.П. БУДНИКОВА». В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ ИССЛЕДОВАЛОСЬ ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПЕСКА НА ДЕФОРМАТИВНЫЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА. ОПТИМИЗИРОВАНО СОДЕРЖАНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК, ПАРАМЕТРЫ ОБРАБОТКИ СУХОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПЕСКОВ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ, РАСХОДЫ КОМПОНЕНТОВ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОБЕТОНА РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТИ. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ ВЫВЕДЕНЫ ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ОПРЕДЕЛЯТЬ ПРОЧНОСТНЫЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕНОБЕТОНА.

В установке, разработанной ОАО «ВНИИстром им. П.П. Будникова» реализован принцип повышения прочности пенобетона за счет совместной механохимической активации песка и цемента путем их совместного помола в стержневой мельнице – смесителе СК 20-А. Для песка из карьера Красненского г. Тамбова, с модулем крупности 1,45 длительность механохимической активации колебалась в пределах 5 – 6 минут. При дальнейшем увеличении длительности помола заметного увеличения удельной поверхности частиц и, как следствие, повышения прочности не наблюдалось. Так за 6 мин совместного помола удельная поверхность частиц сухой смеси возрасла с 250 до 1600 см² / г и соответствующий рост прочности составлял 0,6 МПа (с 1,4 до 2 МПа), что соответствовало марке М 15 по прочности.

В процессе проведения экспериментов так же установлен оптимальный расход пластифицирующих добавок. Так, для суперпластификатора С-3, расход составил 0,3...0,4 % от массы цемента. Введение данных добавок позволяет повысить кратность пенобетонной смеси на 8...12 %, что означает соответственное снижение плотности пенобетона.

Наряду с выше сказанным, была определена зависимость плотности и прочности пенобетона от состава и расхода твердой составляющей. Так рост прочности пенобетона одинаковой плотности при введении песка до 40 – 50 % от массы цемента составляет порядка 30 %, а зависимость плотности и пенобетона от расхода твердой составляющей выглядит прямолинейно-пропорциональной.

Оптимизируя расход пенообразователя «Морпен» учитывали множество показателей эффективности. Вследствие изношенности и несовершенности пенобетоносмесительной установки результаты опытов образовали обширную приемлемую зону, сужение которой, осуществляли путем учета современных условий рынка тамбовской области и номенклатуры выпускаемой продукции. Применительно к имеющимся условиям установили, что при производстве пенобетона плотностью 650...1000 кг / м³ при соответственной стоимости 700 – 800 р. за 1 м³, достижение максимальной эффективности возможно при концентрации пенообразователя в водном растворе в пределах от 1,7 до 2,5 %.

При увеличении подвижности пенобетонной смеси путем увеличения цементно-водного отношения наблюдалось существенное снижение прочности. Увеличение подвижности крайне необходимо для равномерного распределения смеси при ее заливке в стальные формы, особенно учитывая непрерывность работы пенобетоносмесителя. Так с увеличением расхода воды на 30 % происходило снижение прочности на 7 %, в то время как введение суперпластифицирующих добавок сверх их оптимального расхода не приводило к снижению прочности. По результатам проведенных экспериментов, направленных на изучение влияния суперпластификатора на прочностные свойства пенобетона выявлено, что повышение содержания суперпластификатора С-3 с 0,2 до 0,45 от массы цемента приводит к росту прочности пенобетонных образцов до 35 %. Дальнейшее увеличение расхода добавки не приносит ощутимого результата.

По результатам обработки данных испытаний получена экспоненциальная зависимость прочности пенобетона от его плотности, позволяющая определять требуемую плотность для заданной марки изделия или, наоборот, прогнозировать прочность изделий еще на стадии изготовления пенобетонной смеси.

$$R_{сж} = 0,11402907 e^{0,0029051\rho},$$

где ρ – плотность пенобетона.

В связи с тем, что пенобетон имеет невысокую структурную прочность, а его долговечность недостаточно изучена, важной характеристикой является трещиностойкость. Для ее оценки применяется коэффициент интенсивности напряжений.

В ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ИЛИ ТЕОРИИ ТРЕЩИН ЛЕЖИТ ПРИНЦИП «ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ ТРЕЩИН». ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ СЧИТАЕТСЯ ДОСТИГНУТЫМ, ЕСЛИ ТРЕЩИНА ПОЛУЧИЛА ВОЗМОЖНОСТЬ РАСПРОСТРАНЯТЬСЯ, УВЕЛИЧИВАЯ СВОЮ ПОВЕРХНОСТЬ В ОБЪЕМЕ МАТЕРИАЛА ПОД

ДЕЙСТВИЕМ ДАННОЙ СИСТЕМЫ СИЛ [4]. МАТЕМАТИЧЕСКИ ЭТО ВЫРАЖАЕТСЯ СЛЕДУЮЩЕЙ ФОРМУЛОЙ:

$$\sigma = (k / (2 \pi x))^{0,5},$$

где x – расстояние от вершины трещины. При этом условии трещина начинает расти, если коэффициент достигает некоторого критического значения, называемого вязкостью разрушения или коэффициентом интенсивности напряжений (K_c).

КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ (K_c) ОПРЕДЕЛЯЛСЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ ПЕНОБЕТОННЫХ БАЛОЧЕК С ЗАРАНЕЕ СФОРМИРОВАННЫМ НАДРЕЗОМ, ИМИТИРУЮЩИМ ТРЕЩИНУ, СОСТАВЛЯЮЩЕМ 0,33 ОТ ВЫСОТЫ ОБРАЗЦА.

ВЕЛИЧИНА ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ОПРЕДЕЛЯЛАСЬ ПО ФОРМУЛЕ:

$$K_c = (3 P L l^{0,5} / (B d^2)) [1,99 - 2,47 (l / d) + 12,97 (l / d)^2 - 23,17 (l / d)^3 + 28,8 (l / d)^4],$$

где P – разрушающая нагрузка, МН; L – расстояние между опорами при изгибе, м; B – ширина образца, м; d – высота образца, м; l – глубина надреза.

Для изучения влияния плотности пенобетона на величину вязкости разрушения экспериментально определялась вязкость разрушения пенобетонных балочек $4 \times 4 \times 16$ см, с надрезом, глубиной $l = 1$ см, расстояние между опорами $L = 10$ см. После компьютерной обработки экспериментов методами математической статистики получено уравнение:

$$K_c = -0,43 + 0,00015 \rho,$$

где ρ – плотность пенобетона кг/м^3 .

Таким образом, проведенные исследования показывают, что при увеличении плотности пенобетона увеличивается и вязкость разрушения, т.е. происходит увеличение сопротивления разрушению.

В РЕЗУЛЬТАТЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ТАКЖЕ ПОЛУЧЕНО УРАВНЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ (K_c) ОТ ПОРИСТОСТИ ПЕНОБЕТОНА (Π , %) В ИНТЕРВАЛЕ ПОРИСТОСТИ ОТ 60 ДО 75 %:

$$K_c = 1,01 - 0,0246 \Pi + 0,00016 \Pi^2.$$

Проведенные исследования показывают, что при увеличении пористости пенобетона уменьшается коэффициент интенсивности напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Меркин А.П. Ячеистые бетоны: научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строительные материалы. 1995. № 2. С. 11.
- 2 А.П. Меркин Научные и практические основы улучшения структуры и свойств поризованных бетонов. Дис. ... д-ра техн. наук. М., 1971. 239 с.
- 3 СНиП II-3-79**. Строительная теплотехника / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 1998. 29 с.
- 4 Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. Повышение долговечности бетона и железобетонных конструкций в суровых климатических условиях. М.: Стройиздат, 1984. 88 с.

Кафедра «Конструкции зданий и сооружений»