

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

**Мартынов Е.В.**, *к.т.н., асс.*, **Мартынова Е.А.** *асп.*, **Елькин В.В.** *асп.*,  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Украина

Одной из важнейших современного строительства является экономия материалов и энергетических ресурсов. Решением данной проблемы является применение ячеистых бетонов, в частности пенобетонов. Экономия при производстве пенобетонов осуществляется за счет использования низкоэнергоемких технологий, местных сырьевых материалов, побочных продуктов других производств, рационального подбора составов, использование различных способов повышения гидратационной способности вяжущих веществ (активация) и т.д.

Для исследования различных свойств пенобетона неавтоклавно твердения был проведен комплекс экспериментальных исследований.

Поскольку устойчивость пористой структуры обеспечивается синхронностью процессов устойчивости пены и кинетикой нарастания пластической прочности растворной составляющей пенобетона, была поставлена задача определения кинетики нарастания вязкости пенобетонной смеси. Для этого был использован шариковый вискозиметр. Внешний вид и схема работы вискозиметра представлены на рис. 1. Принцип расчета вязкости построен на использовании закона Стокса. В качестве частицы Стокса использовались шары-грузы с различной массой и диаметром. При прохождении через исследуемую пенобетонную смесь груз перемещал постоянный магнит. Двигаясь, магнит замыкал контакты 2х герконов, расположенных на фиксированном расстоянии, которые включали и выключали таймер.

Для определения вязкости использовалась следующая формула:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot g \cdot r^2 \cdot \left( \frac{\rho_{ш} - \rho_б}{v} \right)$$

где  $\eta$  – вязкость, Па·с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $r$  – радиус Стокса частицы (погружаемого тела), м;  $\rho_{ш}$  – плотность Стокса частицы (погружаемого тела), кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_б$  – плотность пенобетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость погружения Стокса частицы, м/с:

$$v = \frac{l}{t}$$

где  $l$  – расстояние между датчиками (герконами), м;  $t$  – время погружения Стокса частицы, с.

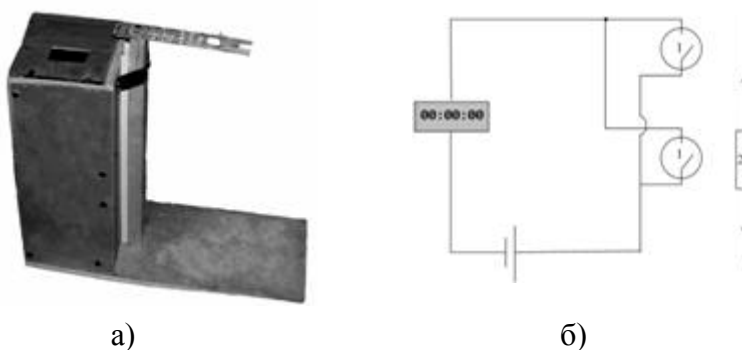


Рис. 1. Шариковый вискозиметр:

а) внешний вид; б) принципиальная схема; 1 – герконы; 2 – постоянный магнит

Для решения поставленной задачи был реализован трехфакторный эксперимент с применением математических методов планирования эксперимента. Эксперимент проводили согласно 15-ти точечному плану Бокса-Бенкена [2].

Выбор переменных факторов, а также уровней их варьирования базировался на основании априорной информации. Из множества рецептурно-технологических факторов, оказывающих влияние на качество пенобетона, были выбраны факторы, оказывающие влияние на структуру пенобетона и повышающие эффективность вяжущего вещества, ускоряющие и повышающие степень гидратации цемента.

В качестве таких факторов были выбраны:  $X_1$  – содержание наполнителя в смеси с цементом ( $20 \pm 20\%$  от массы цемента);  $X_2$  – время активации растворной составляющей ( $30 \pm 30$  сек);  $X_3$  – диаметр расплыва раствора по Суттарду ( $250 \pm 50$  мм).

В качестве материалов применяли: вяжущее – бездобавочный цемент производства ОАО «Балцем» марки М500 (ПЦ I-500-Н Д0), наполнитель – карбонатная суспензия, получаемая из отходов чистки котлов теплоэлектроцентрали (вид наполнителя выбран из-за его достаточной распространенности в регионе), пенообразователь синтетический ПБ-2000, производство ОАО «Ивхимпром».

Пенобетон приготавливали по традиционной двустадийной технологии. В составах, которые требовали, согласно плану эксперимента, активацию растворной составляющей, перед введением пены проводили активацию растворной части в лабораторном механоактиваторе.

Известно, что прочность цементных композиций является функцией водоцементного отношения, которое отражает различные реологические характеристики (коэффициент нормальной густоты, диаметр расплыва раствора на встряхивающем столике, вязкость и пр.). В ячеистых бетонах в качестве основной реологической характеристики принята величина диаметра расплыва раствора по вискозиметру Суттарда. В эксперименте определили диаметр расплыва раствора по Суттарду до и после активации, а также диаметр расплыва раствора пенобетона. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

План эксперимента и реологические характеристики

№ п/п	Факторы			$d_{\text{Сут}}$ до активации	$d_{\text{Сут}}$ после активации	$d_{\text{Сут}}$ р-ра ПБ
	$X_1$	$X_2$	$X_3$			
1	-1	-1	-1	21	-	14
2	1	-1	-1	19	-	14
3	-1	1	-1	21	37	17
4	1	1	-1	20	26	14
5	-1	-1	1	31	-	18
6	1	-1	1	31	-	18
7	-1	1	1	30	39	21
8	1	1	1	29	35	20
9	-1	0	0	24	36	17
10	1	0	0	25	30	16
11	0	-1	0	25	-	15
12	0	1	0	26	33	17
13	0	0	-1	20	29	16
14	0	0	1	30	36	20
15	0	0	0	25	34	17

Как видно из представленных результатов, активация растворной составляющей увеличивает в среднем диаметр расплыва раствора на 50% в составах, содержащих чистый цемент и на 20% в составах содержащих 40% наполнителя.

Также из каждого состава отбирали пробу, в которой в течение 100 минут определяли кинетику нарастания динамической вязкости смеси с интервалом 20 минут. Полученный график кинетики представлен на рис. 2.

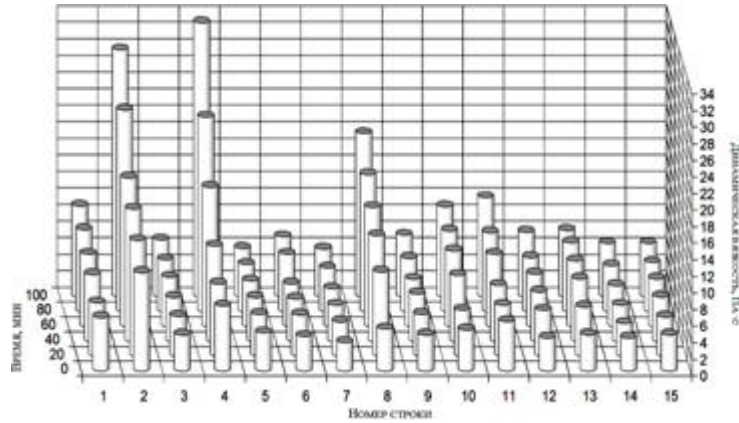
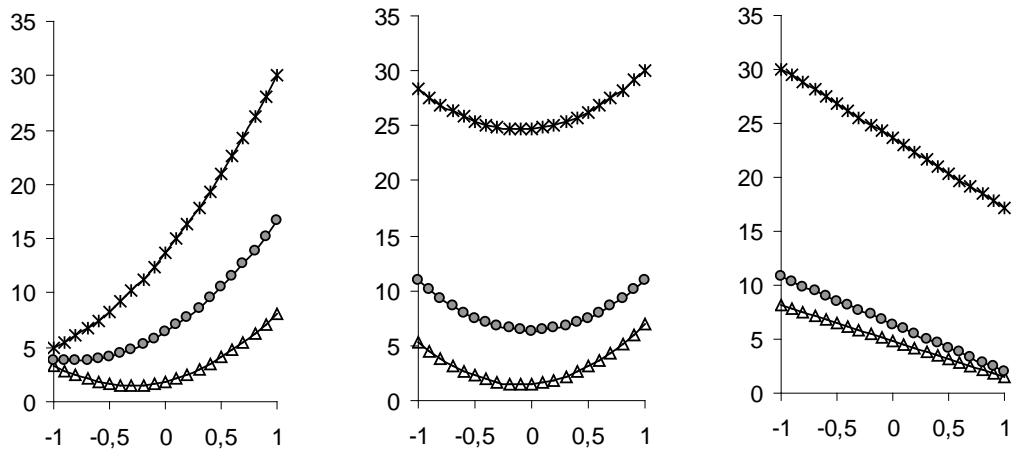


Рис. 2. График кинетики набора вязкости

Проанализировав график кинетики нарастания вязкости (рис. 2) можно сделать следующий вывод: динамическая вязкость ведет быстрый набор в строках, в которых содержание карбонатного наполнителя было максимальным. Данный эффект будет полезен для ячеистых бетонов неавтоклавно твердения, поскольку он ведет к быстрому набору пластической прочности, что, в свою очередь, положительно влияет на начальное формирование структуры пенобетона.



сохраняют одинаковый характер, и указывают на увеличение вязкости по мере введения в раствор пенобетона карбонатного заполнителя. На рис. 3 показано изменение величины вязкости с минимальным (-1) и максимальным (+1) количеством наполнителя. Вязкость возрастает с увеличением времени активации от 0 с до 60 с. Рассматривая влияние 3-го фактора можно сделать вывод, что с увеличением диаметра расплыва раствора вязкость уменьшается

#### Выводы

1. Получен комплекс экспериментально-статистических моделей.
2. Определена кинетика набора динамической вязкости.
3. Оценена степень и характер влияния факторов на исследуемые свойства.

#### SUMMARY

**In article various methods of an estimation of rheological characteristics foam-concrete mixes are considered. The scheme ball viscositymetric is resulted. Three-factorial experiment by results of which research schedules kinetics increase of viscosity and one-factorial dependences of influence of factors on dynamic viscosity have been constructed is described.**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов / Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. М.: Стройиздат. – 1980. – 398 с.
2. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.