

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПЕНОБЕТОНА

Мартынов В.И., Орлов Д.А., Мартынов Е.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры).

Приведены результаты натурного эксперимента по подбору производственного состава пенобетона, обеспечивающего требуемые нормативные физико-механические показатели пенобетона при минимальных затратах на сырьевые материалы. Предпринята попытка описать зависимость прочности и плотности пенобетона от фрактальной размерности его структуры.

Одной из важнейших задач в обеспечении требуемого качества искусственных строительных материалов является рациональный и правильный выбор исходных компонентов и их количественный подбор.

За более чем вековую историю бетона разработано множество различных методов и способов проектирования составов. Все эти методы носят расчетно-экспериментальный, либо экспериментально-расчетный характер [1, 2].

В обоих случаях проверка правильности назначения состава по совокупности свойств, характеризующих качество материала, производится по так называемому циклу Деминга (цикл PDCA – аббревиатура от первых букв слов в английском алфавите [3]).

В случае несоответствия планируемых и требуемых показателей с полученными в результате выполнения работ составляется новый план работ, и цикл повторяется снова.

При проектировании составов бетона расчетно-экспериментальными методами цикл Деминга применяется как на стадии лабораторных подборов, так и при апробации их в производственных условиях. При применении экспериментально-расчетных методов проверка соответствия требуемым показателям производится только в производственных условиях, т.к. составы назначаются на основании экспериментальных данных.

Методы расчета составов тяжелого бетона направлены на обеспечение требуемой прочности бетона. Задача усложняется при

проектировании составов легких и ячеистых бетонов, где необходимо обеспечить не только прочностные показатели, но и получить материал требуемой плотности.

Приводимый в литературе метод расчета составов ячеистого бетона предусматривает расчет состава для обеспечения требуемой плотности и никак не учитывает прочностных характеристик материала [4, 5]. Прочность определяется впоследствии изготовлением и испытанием образцов. В случае не обеспечения составом требуемых показателей по прочности необходимо корректировать состав и снова его проверять. Поскольку марочная прочность материалов на основе портландцемента определяется в 28-ми суточном возрасте, процесс подбора составов, обеспечивающих требуемую прочность, может быть достаточно продолжительным и трудоемким. Кроме того, в приводимой методике используется большое количество различных эмпирических коэффициентов, зависящих от характеристик, применяемых материалов и способа твердения бетона.

Охарактеризованный выше метод подбора составов ячеистого бетона приводится в литературе 30-40 летней давности. За это время в технологии ячеистых бетонов произошло множество изменений, в особенности это касается применения различных химических добавок, при помощи которых можно в значительной степени регулировать свойства ячеистого бетона.

В последнее время все более широкое применение получают экспериментально-расчетные методы подбора составов искусственных строительных материалов с использованием математических методов планирования эксперимента с последующим построением математических моделей оптимизируемых параметров и принятия по ним нужных технологических решений [6]. Повышенные материально-временные затраты на стадии проведения экспериментальных работ впоследствии компенсируются большим количеством информации.

Цель эксперимента – определение составов пенобетона неавтоклавного твердения, обеспечивающих требуемые нормативные показатели основных свойств при минимизации материальных затрат.

Объект исследований – теплоизоляционно-конструкционный пенобетон средней плотностью в сухом состоянии 600 кг/м^3 .

При этом решались следующие задачи: определение влияния количества добавки ускорителя твердения, количества наполнителя и водопотребности растворной смеси на основные свойства пенобетона, выявление корреляционной зависимости между активностью растворной составляющей и прочностью пенобетона. Отдельная задача – расчет фрактальной размерности, как количественно

выраженного структурного показателя и построение корреляционных зависимостей между плотностью и фрактальной размерностью и прочностью и фрактальной размерностью.

Эксперимент проводили непосредственно в производственных условиях, что обеспечивает повышенную надежность и достоверность результатов и не требует их дополнительной корректировки.

Методика экспериментальных работ. Экспериментальные работы проводили в производственных условиях на ООО «Владим» на промышленной установке по классической раздельной технологии пенобетона. Объем замеса $0,6 \text{ м}^3$. В качестве вяжущего использовали портландцемент Одесского цементного завода марки 400. Наполнителем служил кварцевый песок с модулем крупности $M_k=0,8$. В качестве пенообразователя применяли концентрированный пенообразователь «ФОРВАРД». Для получения рабочего раствора пенообразователя его размешивали с водой в соотношении 1:10. В качестве добавки ускорителя твердения применяли хлористый кальций, который растворяли в воде затворения. Эксперимент проводили по стандартному трехуровневому плану В-3. В качестве независимых переменных были приняты: X1 - содержание наполнителя – $10 \pm 10\%$; X2 – содержание добавки ускорителя твердения – $1,5 \pm 1,5\%$; X3 – диаметр распыла раствора $300 \pm 40 \text{ мм}$. Расчет составов производили согласно матрицы планирования эксперимента и из расчета получения пенобетона плотностью в сухом состоянии 600 кг/м^3 . Расход воды в каждой строке эксперимента подбирали отдельно для обеспечения необходимой консистенции раствора, которую измеряли при помощи вискозиметра Суттарда. После приготовления растворной смеси отбирали пробы и формовали образцы в форме призм размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$ для определения активности вяжущего. Приготовленную пенобетонную смесь заливали в металлические кассетные формы для получения стеновых блоков размером $300 \times 200 \times 500 \text{ мм}$. Для лабораторных испытаний пенобетонную смесь помещали в пластмассовые формы-цилиндры диаметром 100 мм и высотой 650 мм . После набора прочности образцы разопалубливали и транспортировали в лабораторию, где хранили в камере нормального твердения в течение 28-ми суток. Образцы из пенобетона разрезали по вертикали на 6 образцов цилиндров высотой 100 мм . После их сушки до постоянной массы в трех образцах при помощи цифровой видеокамеры производили фотофиксации структуры пенобетона.

Результаты эксперимента и их анализ. Матрица планирования эксперимента и результаты испытаний приведены в таблице. После их обработки построены математические модели исследуемых свойств.

Анализ математических моделей по графическим зависимостям свойств от исследуемых факторов позволил выявить степень и характер их влияния. Между прочностью пенобетона и активностью вяжущей смеси корреляционной зависимости не выявлено, что является подтверждением, что свойства пенобетона при постоянной плотности определяется его структурными параметрами. По программе созданной в среде «Делфи» были рассчитаны составы, обеспечивающие требуемые прочностные показатели пенобетона при минимальной стоимости сырьевых материалов. Составы переданы заказчику для производственной апробации. Расходы составляющих ($\text{кг}/\text{м}^3$) для получения пенобетона прочностью 1.5 МПа приведены ниже: цемент - 405 кг, песок - 120 кг, вода - 210 л, СаХл - 2,0

Как было подтверждено в предыдущем эксперименте свойства пенобетона, определяются их структурой. Принимая во внимание тот факт, что в пенобетоне газовая фаза не способна оказывать влияние на прочность, выдвинута рабочая гипотеза о том, что свойства пенобетона определяются характером распределения твердой составляющей. Под характером распределения твердой фазы подразумевается: толщина межпоровых перегородок, конфигурация и их общая протяженность. Количественную оценку этих параметров предложено определять при помощи фрактальной размерности [7].

Для определения фрактальной размерности поверхность образца выравнивали вручную шлифовкой на наждачном круге, а пыль с поверхности удаляли кисточкой и сжатым воздухом. Снимки поверхности образцов фиксировали при помощи цифровой видеокамеры. Из каждой строки плана эксперимента отбирали по три образца из верхней, нижней и средней части цилиндров пенобетона и производили по пять снимков. Общее количество фотофиксаций структур пенобетона составило 225 штук. Далее производили компьютерную обработку фотофиксаций структур и по специальной программе, разработанной доц. Герегой А.Н. производили расчет фрактальной и информационной размерностей (таблица 1). После чего были построены корреляционные зависимости между прочностью пенобетона и фрактальной размерностью (рис.1) и плотностью и фрактальной размерностью.

Таблица 1

**МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
И СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ**

№ п/п	ФАКТОРЫ			СВОЙСТВА					
	X1	X2	X3	Плотность кг/м ³	Прочность кг/см ²	Влажность, %	Фрактальная размерность	Информационная размерность	
	H	CaCl	Ø распльва						
1	-	-	-	629	16,1	28	1,6595	6,6176	
2	-	+	-	585	11,1	28	1,6648	6,6438	
3	+	-	-	655	11,5	35	1,6641	6,5937	
4	+	+	-	600	3,5	27	1,6633	6,6761	
5	-	-	+	641	19,1	26	1,6665	6,7977	
6	-	+	+	615	8,5	25	1,6598	6,4808	
7	+	-	+	628	12	27	1,6630	6,5568	
8	+	+	+	547	9,8	39	1,6649	6,8657	
9	-	0	0	542	12,7	34	1,6637	6,6307	
10	+	0	0	494	2,7	45	1,6667	6,7089	
11	0	-	0	606	13,9	34	1,6634	6,4565	
12	0	+	0	611	14,0	31	1,6468	6,5977	
13	0	0	-	604	15,0	29	1,6671	6,8587	
14	0	0	+	575	13,2	36	1,6640	6,6691	
15	0	0	0	588	12,4	40	1,6634	6,4082	

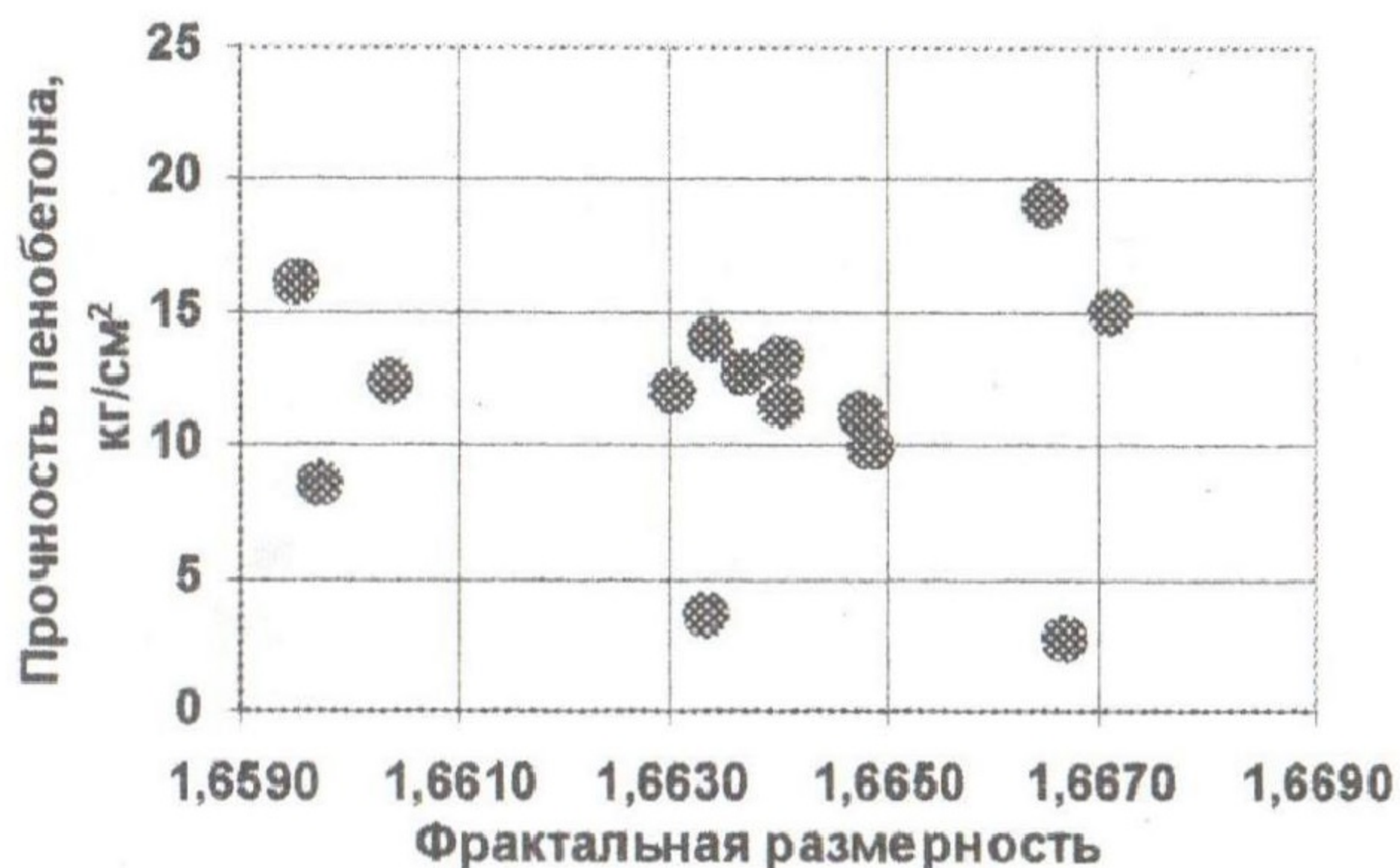


Рис.1. Зависимость прочности пенобетона от фрактальной размерности.

Как видно из рисунка корреляционной зависимости между прочностью и фрактальной размерностью не выявлено. Не наблюдается также корреляционной зависимости между плотностью и фрактальной размерностью.

Поскольку фрактальную размерность определяли для образцов примерно одинаковой плотности, а фрактальная размерность отражает степень заполнения площади твердой фазой, был поставлен дополнительный эксперимент, где переменным фактором была плотность пенобетона. Для этого изготавливали образцы пенобетона плотностью 400, 600 и 800 кг/м³. Графики, отражающие зависимость фрактальной размерности от плотности пенобетона приведены на рисунке 2.

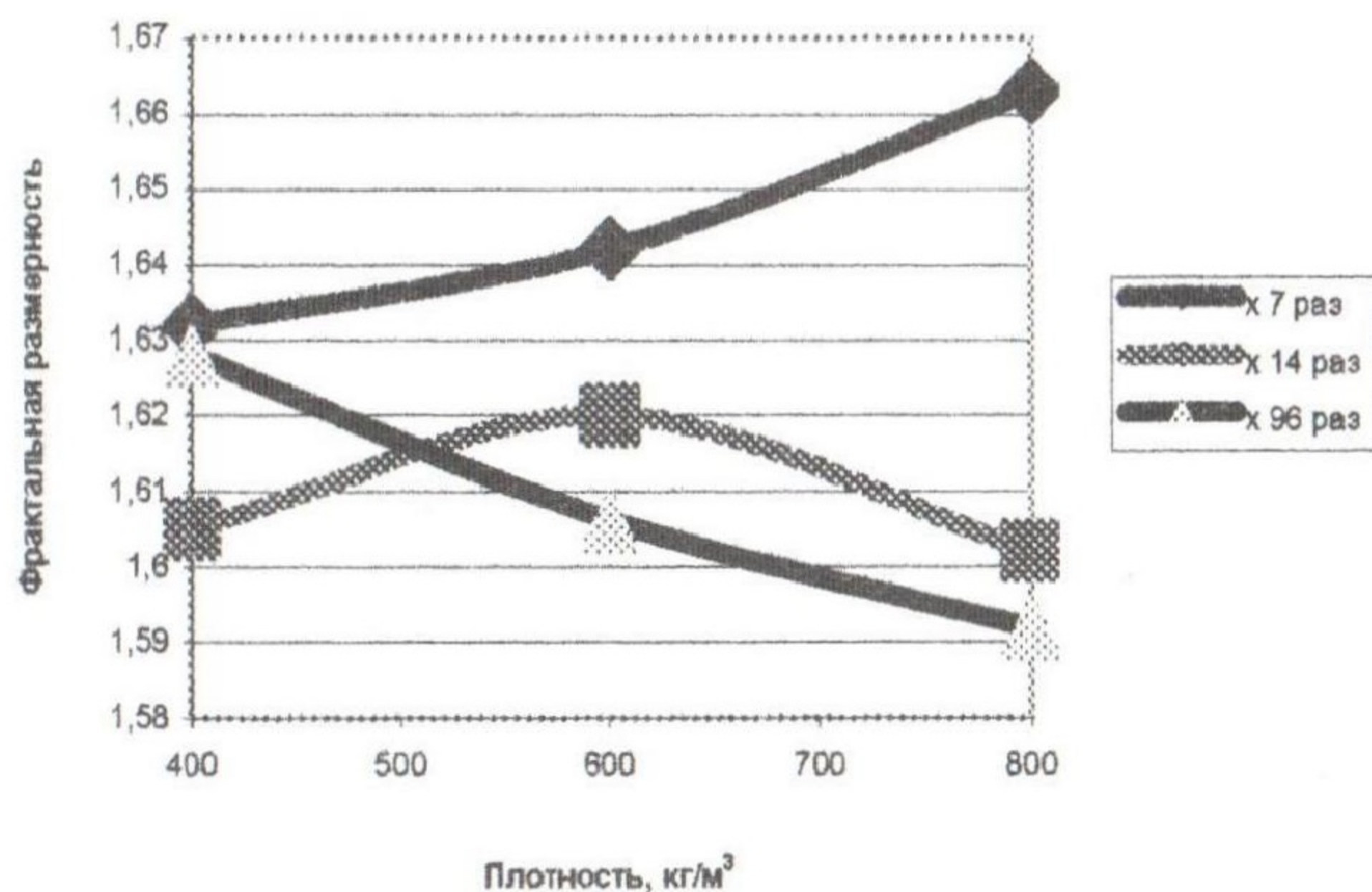


Рис.2 Зависимость фрактальной размерности от плотности пенобетона.

Как видно из графика прослеживается четкая корреляционная зависимость фрактальной размерности от плотности пенобетона, причем на характер зависимости оказывает влияние масштабный фактор. Аналогичные зависимости наблюдаются также и для информационной размерности.

Таким образом, в результате эксперимента определены составы пенобетона, обеспечивающие требуемые физико-механические свойства пенобетона, а также взаимосвязь показателей структуры пенобетона, оцениваемых фрактальной и информационной размерностями с его прочностью и плотностью.

Литература

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа. – 1987. – 414 с.
2. Руководство по подбору составов тяжелого бетона // НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Госстройиздат. – 1987. – 101 с.
3. Деминг В.Е. Выход из кризиса. – Тверь. – Альба. – 1994.
4. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80 – Стройиздат, 1981 г., 43 с.
5. Китайцев В.А. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат. – 1970. – 384 с.
6. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
7. Мартынов В.И. Методика изучения и определения структурных параметров твердой составляющей ячеистых бетонов. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса., 2005 с. 238-243.