

УДК 691.327:666.973.6:69.001.5

## **К МЕТОДИКЕ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТЕНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА**

**Костюк А.И., Постернак И.М., Постернак А.А., Постернак С.А.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

**Начато выполнение экспериментальных исследований физико-механических характеристик конструкционно-теплоизоляционно-го неавтоклавного пенобетона на образцах и моделях стеновых элементов при кратковременном и длительном нагружении с учетом изменения количества и качества наполнителя.**

На сегодняшний день в современном строительстве сложилась ситуация, требующая значительного увеличения производства ячеистого бетона. Еще в 1996 году в Украине были введены новые нормативы по сопротивлению теплопередаче наружных ограждений, которые почти в 2,5 раза превышают термическое сопротивление зданий из традиционных кирпичных и однослойных железобетонных. Естественно, для того, чтобы решить эту задачу, требуется время и новые материалы. В частности ячеистый бетон, являющийся комфортным материалом, который способен не только значительно снизить энергопотребление, но и обладает отличными характеристиками не имеющими альтернативы на сегодняшний день. Этот материал имеет высокие теплозащитные свойства и теплоаккумулирующую способность, он в силах значительно ограничить потери тепла и избежать проникновения слишком высоких температур в помещение, а также способствует регулированию влажности воздуха – впитывает и отдает влагу. Кроме всего прочего, ячеистый бетон является абсолютно экологичным материалом, так как не выделяет токсичных соединений – коэффициент экологичности 2. За использование ячеистого бетона, как конструкционного материала, говорит тот факт, что этот материал легкий, следовательно, уменьшается нагрузка на фундамент, а теплосохраниющие качества позволяют возводить стены меньшей толщины, чем из других материалов [1, 2].

На законодательном уровне принято решение научно-технического совета Госстроя Украины от 15 августа 2003 года № 62 о развитии производства ячеистобетонных изделий и их использование в массовом строительстве Украины на 2003 – 2007 года [3].

Регулирование процессами организации структуры КСМ на различных уровнях неоднородностей связано с изменением качественного и количественного составов минерального вяжущего. Это существенно расширяет возможность получения материалов, изделий и конструкций достаточно широкой номенклатуры. Минеральные наполнители, влияя на физико-механические свойства бетона, определяют его материалоемкость, зависящую от эффективности использования цемента. Чем лучше, полнее используется потенциальные свойства наиболее дорогостоящего и энергоемкого компонента (цемента), тем меньше материалоемкость. Доказана возможность снижения материалоемкости цементных композиций до 21% за счет применения наполнителей, оптимальных по виду и качественному составу [4, 5, 6].

Так как математическое моделирование позволяет учесть не каждый фактор в отдельности, а их совокупность то для получения надежных экспериментальных данных исследования выполняются с использованием аппарата математического планирования эксперимента [7]. В соответствии с [8] факторы, интервалы и уровни варьирования сведены в таблицу 1. Для описания сложных по составу смесевых композиций эффективно использовать экспериментально-статистические модели класса «смесь, технология – свойства», применяемые для решения задач по определению зависимостей между рецептурно-технологическими факторами и свойствами многокомпонентных систем [9].

Таблица 1.

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	- 1	0	+ 1	
Количество наполнителя (Н), % (от массы вяжущего)	$X_1$	5	10	15	5
Дисперсность наполнителя ( $S_v$ ), м <sup>2</sup> /кг	$(W_1; W_2; W_3)$	200	400	600	200

Для получения статистических оценок коэффициентов модели опыты выполняются по специально синтезированному в системе «СОМРЕХ» плану «Смесь (три компонента), технология (один фактор) – свойство» включающему 10 экспериментальных точек (табл. 2). Для сравнения принята

одиннадцатая точка вне факторного пространства. Графическая интерпретация модели представлена в виде диаграммы (рис.1) [7,9,10].

Таблица 2.

План эксперимента

№ опыта	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$X_1$
1	1	0	0	+1
2	0	1	0	+1
3	0	0	1	+1
4	0	1/2	1/2	+1
5	1/2	0	1/2	+1
6	1	0	0	0
7	1	0	0	-1
8	0	1	0	-1
9	0	0	1	-1
10	1/2	1/2	0	-1

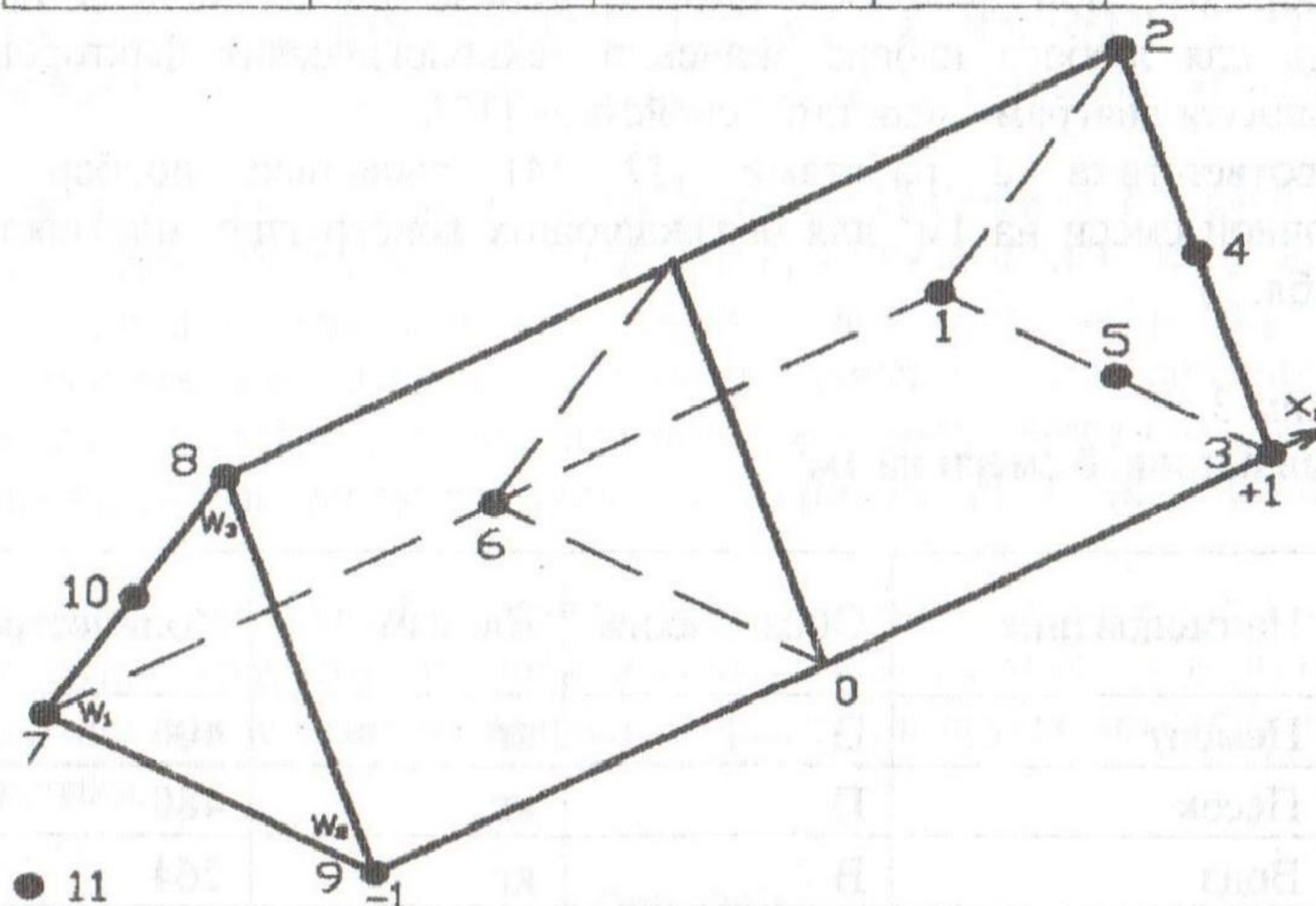


Рис. 1. Размещение точек плана в факторном пространстве со смешевыми переменными "непрерывное перемещение трехкомпонентной диаграммы по оси независимого фактора".

Совместное воздействие на физико-механические характеристики образцов и конструкций из НПБ смешевых факторов (качества наполнителя,  $S_y$ )  $w_i$  и взаимонезависимого фактора (количества наполнителя,  $H$ )  $x_1$  можно оценить, анализируя непрерывное перемещение диаграммы «состав – свойство» вдоль оси  $x_1$ . При этом формируется трехгранная призма, в которой изоповерхности свойства  $Y(w_1, w_2, w_3, x_1) = \text{const}$  образованы соответствующими

изолиниями  $Y(w_1, w_2, w_3) = \text{const}$ . Приведенный полином второй степени для системы МТQ при  $q=3$  и  $p=1$  учитывая, что  $0 \leq w_i \leq 1$ ,  $w_1 + w_2 + w_3 = 1$  имеет вид:

$$\hat{Y} = A_1 w_1 + A_2 w_2 + A_3 w_3 + A_{12} w_1 w_2 + A_{13} w_1 w_3 + A_{23} w_2 w_3 + D_{11} w_1 x_1 + D_{21} w_2 x_1 + D_{31} w_3 x_1 + b_{11} x_1^2 \quad (1)$$

Коэффициенты  $A_i$ ,  $A_{ij}$  в данной модели соответствуют коэффициентам приведенного полинома Шеффе описывающего систему «смесь – свойство» при  $x_i = 0$ . Коэффициенты  $A_i$  определяют в центре области технологических факторов величину свойства системы, когда в смеси присутствует только  $i$ -ый компонент;  $A_{ij}$  – характеризуют нелинейность изменения свойства при смешивании компонентов. Коэффициенты  $D_{ij}$  и  $b_{ij}$  характеризуют изменение коэффициентов  $A_i$  при изменении  $x_i$ :

$$A_i \{x\} = A_i + \sum_{j=1}^p D_{ij} x_j + \sum_{j=1}^p b_{ij} x_j^2 \quad (2)$$

Таким образом, при фиксированном  $x_i = \text{const}$  данная модель позволяет построить для любого набора значений технологических факторов набор изменяющихся диаграмм «состав – свойство» [10].

В соответствии с работами [11...14] выполнен подбор состава пенобетонной смеси на  $1 \text{ м}^3$  для ограждающих конструкций плотностью  $800 \text{ кг/м}^3$  (табл. 3).

Таблица 3.  
Состав бетонной смеси на  $1 \text{ м}^3$

№ п/п	Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Количество
1	Цемент	Ц	кг	400
2	Песок	П	кг	480
3	Вода	В	кг	264
4	Пенообразователь	ПО	кг	1,07

В эксперименте применяются следующие материалы: вяжущее – портландцемент М500 (бездобовочный) Одесского цементного завода; заполнитель – кременчугский речной песок; наполнитель – кварцевый песок размолотый до удельной поверхности 200, 400, 600  $\text{м}^2/\text{кг}$ ; пенообразователь ПБ – 2000 изготовленный ОАО «Ивхимпром» г. Иваново (Россия).

Для приготовления пенобетонной смеси используется установка УППП с пеногенератором героторного типа. В смеситель которой загружаются сухие компоненты, согласно расчетного состава (Ц:П=1:1,2) и перемешиваются до

получения однородной массы, затем добавляется вода для приготовления цементно-песчаного раствора ( $V/T=0,3$ ). Одновременно с этим в пеногенераторе готовится раствор технической пены, для этого в концентрированный раствор пенообразователя ПБ – 2000 добавляется вода в соотношении 1:25. Далее техническая пена из пеногенератора поступает в смеситель, где происходит перемешивание цементно-песчаного раствора и технической пены в готовую, однородную пенобетонную смесь, которая, затем через насосный агрегат подается к месту формования образцов и элементов. Из приготовленной пенобетонной смеси для каждой точки плана изготавливаются: образцы – кубы с размерами 15x15x15 см (6 шт) и 10x10x10 см (6 шт); образцы – призмы с размерами 15x15x60 см (6 шт) и 10x10x40 см (8 шт); модели стеновых элементов с размерами 60x80x14 см (4 шт) с процентом армирования 0,15 ( $\varnothing 4$  Вр1) и 0,34 ( $\varnothing 6$  А240С). Объем всего эксперимента составит  $5\text{ м}^3$  приготовленной пенобетонной смеси. Твердение образцов и элементов происходит в естественных условиях.

Размеры моделей стеновых элементов по отношению к натуре выполняем с соблюдением постоянства для всех участков модели масштабов геометрического и силового подобий. Переход от оригинала к модели и обратно осуществляем с помощью коэффициента пропорциональности ( $k=3$ ) [15].

Испытания образцов – призм с размерами 15x15x60см будут выполняться в возрасте равном 28, 90 и 180 суток при кратковременном нагружении, а образцов – призм с размерами 10x10x40см – при длительном нагружении. Модели стеновых элементов с различным процентом армирования будут испытаны при кратковременном нагружении на центральное (со случайным эксцентриситетом) и внецентренное (с приложением эксцентриситета) сжатие.

В результате испытаний образцов кубов и призм и моделей стеновых элементов будут получены теплофизические, прочностные, деформативные характеристики при изменении возраста образцов, и другие конструкционные характеристики.

### Литература

1. Газета «Строительство & реконструкция» №№ 5,6,10 за 2003г.
2. Костюк А.И., Постернак С.А., Постернак И.М. Обзор развития, состояния и применения конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного пенобетона в конструкциях и изделиях// Вісник ОДАБА. Вип. 10, – Одесса, 2003. – с. 109 – 116.
3. Інформаційний бюлетень Держбуду № 8 за 2003. – с. 23 – 25.
4. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А. В. Сиренко. - К.: Будивэльник, 1991. – 144 с.

5. Дорофеев В.С., Выровой В.Н., Соломатов В.И. Пути снижения материалоемкости строительных материалов и конструкций: Учебное пособие. – К.: УМК ВО, 1989. – 79 с.
6. Современные методы оптимизации композиционных материалов / Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. и др.; Под ред. Вознесенского В.А. - К.: Будивельник, 1983. – 144с.
7. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ: Учебник / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков.: Под ред. Вознесенского В.А. - К.: Выща школа, 1989. – 328с.
8. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона / НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1982. С. 102.
9. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / Вознесенский В.А., Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. - К.: Будівельник, 1989. – 240с.
10. Методические указания по моделированию систем «смеси, технология – свойства» с использованием ЭВМ в курсовом и дипломном проектировании по кафедре ПАТСМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, В.В. Абакумов, А.Б. Абдыкалыков. – Одесса: ОИСИ, 1985. – 65с.
11. Баранов А.Т. Пенобетон и пеносиликат. – Москва.: Промстройиздат. 1956. – 82с.
12. Комохов П.Г. Подбор состава легких и ячеистых бетонов. Учебное пособие. – Ленинград. 1968. – 31с.
13. Опекунов В.В. Конструкційно-теплоізоляційні будівельні матеріали на основі активованих сировинних компонентів. – Київ: Видавничий дім “Академперіодика”, 2001. – 216с.
14. Гулеватий С.І., Яновський Б.І. Неопор – новий ніздрюватий бетон // Будівництво України. 1997. № 6. С. 16 – 18.
15. Пригорювский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. Справочник. – Москва «Машиностроение», 1983 – 244с.