

УДК 666.97.031.1+519.7

Наведено алгоритм розв'язання задачі проектування складу бетону із заданими параметрами, в якому використані методи математичного моделювання та планування експерименту

Ключові слова: склад бетону, моделювання

Приведен алгоритм решения задачи проектирования состава бетона с заданными параметрами, в котором использованы методы математического моделирования и планирования эксперимента

Ключевые слова: состав бетона, моделирование

Concrete composing algorithm for a specified set of parameters is considered. The algorithm is based on the mathematical modeling and experiment planning methods

Keywords: composition of concrete, modeling

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОНА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Н. Д. Сизова

Доктор физико-математических наук, профессор*

E-mail: Sizova@ukr.net

И. А. Михеев

Аспирант*

E-mail: Ivan806@rambler.ru

*Кафедра компьютерного моделирования и информационных технологий

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

ул. Сумская, 40, г. Харьков. Украина, 61002

Контактный тел.: (057) 706-20-49

1. Введение

Производство бетона – одна из основных функций промышленной базы строительных организаций. Технология приготовления бетона включает в себя комплекс мероприятий, управление которыми возложено на соответствующие должностные лица. Первым этапом в технологической цепочке является задача проектирования состава бетона, от эффективности решения которой зависит эффективность работы предприятия в целом.

2. Модель сложной кибернетической системы

Бетон, как многокомпонентная смесь, относится к классу сложных систем, характеризующихся значительным числом взаимосвязанных параметров. Задача исследования таких систем заключается в установлении зависимости между входными параметрами

– факторами и выходными параметрами – показателями качества функционирования системы и определении уровней факторов, оптимизирующих выходные параметры системы.

В условиях неполного знания механизма явлений (особенно актуально для бетона) задачи идентификации и оптимизации, т. е. отыскания оптимальных условий протекания процессов или оптимальный выбор состава многокомпонентной системы, решаются с помощью экспериментально-статистических методов. В этом случае модель объекта исследования удобно представить в виде кибернетической системы с $k + n + l$ входами и m выходами (рис. 1).

Каждый из выходных параметров $y = F(x, z, E)$ зависит от состояния контролируемой управляемой части входов, определяемой k -мерным вектором $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, контролируемой неуправляемой части входов, определяемой n -мерным вектором $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, и не контролируемой части, определяемой l -мерным вектором $E = (e_1, e_2, \dots, e_l)$.

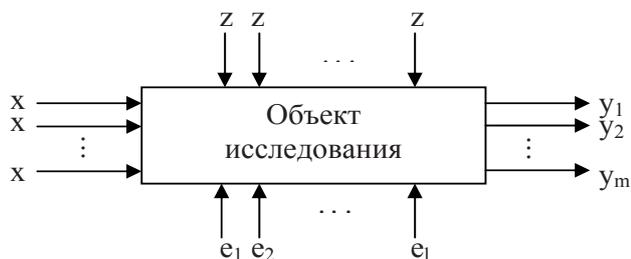


Рис. 1. Модель объекта исследования

3. Планирование эксперимента при проектировании бетона

При экспериментально-статистическом исследовании объекта связь между входными и выходными параметрами системы описывается обычно полиномом. Для оценки коэффициентов полинома, аппроксимирующего действительную зависимость, необходимо располагать статистическим материалом, характеризующим состояние системы в процессе функционирования. Эта информация может быть получена либо путем пассивного наблюдения за системой (пассивный эксперимент), либо путем активного вмешательства в функционирование системы и постановки опытов в определенных точках допустимой области пространства управляемых входных параметров.

Математическое планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий постановки опытов, необходимых и достаточных для решения данной задачи с требуемой точностью, методов математической обработки их результатов и принятия решений [2].

Для задачи проектирования состава бетона необходимо применить планирование эксперимента для сложной системы с q переменными, на все или часть из которых наложены ограничения. Целью исследования является построение зависимостей свойств бетона от состава и технологии, нахождение их оптимальных значений, удовлетворяющих требованиям по нескольким выходным параметрам. Информация о значимости определенного фактора достоверно неизвестна и носит эмпирический характер. С помощью метода априорного ранжирования среди множества входящих факторов (около пятидесяти) было выделено восемь наиболее значимых, по мнению экспертов, для состава бетона и его свойств [1,3]: водосодержание бетонной смеси (X_1), цементно-водное отношение (X_2), максимальная крупность щебня (X_3), модуль крупности песка (X_4), нормальная плотность цемента (X_5), активность цемента (X_6), условная удобоукладываемость (X_7), длительность нормального твердения (X_8).

Алгоритм включает в себя следующее:

- оценку границ областей определения факторов,
- определение локальной подобласти для планирования эксперимента,
- выбор основного уровня i -го фактора $X_i(0)$ и интервала варьирования ΔX_i ,
- переход от натуральных переменных X_i к безразмерным кодированным x_i с использованием следующей формулы:

$$x_i = \frac{X_i - X_i^{(0)}}{\Delta X_i} \tag{1}$$

Результаты подготовки факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Факторы, используемые в модели

Фактор		Уровни варьирования			Интервал варьирования	Расчет фактора
натуральный	кодированный	-1	0	+1		
Водосодержание бетонной смеси, кг/м ³	x_1	150	180	210	30	$x_1 = \frac{B - 180}{30}$
Цементно-водное отношение	x_2	1,3	2,1	2,9	0,8	$x_2 = \frac{Ц / 5 - 2,1}{0,8}$
Максимальная крупность щебня	x_3	10	40	70	30	$x_3 = \frac{D_{ш} - 40}{30}$
Модуль крупности песка	x_4	1,8	2,4	3,4	1	$x_4 = \frac{M_k - 2,4}{1,0}$
Нормальная плотность портланд-цемента, %	x_5	24,6	27,2	29,8	2,6	$x_5 = \frac{НГ - 27,2}{2,6}$
Активность цемента, МПа	x_6	32,5	41,2	49,9	8,7	$x_6 = \frac{R_{ц} - 41,2}{8,7}$
Условная удобоукладываемость	x_7	0	1	2	1	$x_7 = \frac{Y - 1}{1}$
Длительность нормального твердения, сут.	x_8	lg28	lg71	lg180	0,4	$x_8 = \frac{\lg \tau_{нт} - 1,85}{0,4}$

Т.к. удобоукладываемость бетонной смеси в зависимости от своего значения определяется двумя количественными факторами: осадкой конуса и жесткостью, то для кодирования этого фактора использовалась условная шкала, приведенная в табл. 2.

Таблица 2

Описание фактора «удобоукладываемость»

условный показатель	0	0,6	1	1,4	1,8	2
	осадка конуса, см					
жесткость, с	40 с	2 см	5 см	8 см	11см	13 см

4. Результаты исследования

Для решения задачи проектирования состава бетона использовались полиномиальные модели водопотребности (y_1), оптимальной доли песка в смеси заполнителей (y_2), прочности бетона на сжатие (y_3). Был построен план полного факторного эксперимента для каждого из показателей. В табл. 3 приведен план полного факторного эксперимента для прочности бетона.

Таблица 3

План полного факторного эксперимента для прочности бетона

№ эксперимента	Факторы					№ эксперимента	Факторы				
	x_2	x_5	x_6	x_8	x_9		x_2	x_5	x_6	x_8	x_9
1	-1	-1	-1	-1	-1	17	1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	-1	1	18	1	-1	-1	-1	1
3	-1	-1	-1	1	-1	19	1	-1	-1	1	-1
4	-1	-1	-1	1	1	20	1	-1	-1	1	1
5	-1	-1	1	-1	-1	21	1	-1	1	-1	-1
6	-1	-1	1	-1	1	22	1	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1	-1	23	1	-1	1	1	-1
8	-1	-1	1	1	1	24	1	-1	1	1	1
9	-1	1	-1	-1	-1	25	1	1	-1	-1	-1
10	-1	1	-1	-1	1	26	1	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1	-1	27	1	1	-1	1	-1
12	-1	1	-1	1	1	28	1	1	-1	1	1
13	-1	1	1	-1	-1	29	1	1	1	-1	-1
14	-1	1	1	-1	1	30	1	1	1	-1	1
15	-1	1	1	1	-1	31	1	1	1	1	-1
16	-1	1	1	1	1	32	1	1	1	1	1

После получения и обработки результатов эксперимента полиномиальные модели приняли вид:

$$Y_1 = 182,6594 + 1,0118x_2 - 16,7609x_3 - 8x_4 + 10,4419x_5 + 33,0192x_7 + 0,1891x_2x_3 + 0,0419x_2x_5 - 0,3323x_2x_7 - 0,0181x_3x_5 + 0,0397x_3x_7 + 0,0318x_5x_7 \quad (2)$$

$$Y_2 = 31,566 - 1,827x_1 - 4,176x_2 - 0,75x_3 + 0,98x_4 - 0,6960x_1x_2 \quad (3)$$

$$Y_3 = 50,39432 + 25,1972x_2 - 1,8961x_5 + 10,6415x_6 + 1,9999x_7 + 5,7802x_8 - 0,9480x_2x_5 + 5,3208x_2x_6 + 0,9999x_2x_7 + 2,8901x_2x_8 - 0,4004x_5x_6 - 0,41x_5x_8 + 0,4223x_6x_7 + 1,2206x_6x_8 + 3,224x_7x_8 \quad (4)$$

Дополненные критериями оптимизации, зависимости (2-4) могут использоваться для поиска оптимальных составов бетона. В зависимости от количества критериев оптимизации задача проектирования состава бетона рассматривается как одно- или многокритериальная. Практика допускает применение разнообразных простых и комплексных, технических, экономических и технико-экономических критериев оптимизации (удельный расход ресурса, отношение удельного расхода ресурса к показателю свойства бетона, удельный стоимостной показатель и др.). Критерии оптимальности в задачах оптимизации структуры бетона могут стремиться к некоторому абсолютному или условному экстремуму, а в многокритериальных задачах находятся в компромиссной области [1].

5. Выводы

Состав бетона рассмотрен как сложная многокомпонентная система, для которой реализуется кибернетическая концепция «черного» ящика. Полученные уравнения регрессии рассматриваются как поведенческие модели исследуемого объекта и позволяют получать оптимальные составы бетонов с заданными параметрами.

6. Литература

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона с заданными свойствами. Ровно: РГТУ, 1999. – 202 с.
2. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М.: «Наука», 1976. – 390 с.
3. Ушеров-Маршак О.В., Сінякін А.Г., Жданюк Н.І. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін для студентів спеціальності 7.0921.04 “Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів”. – Харків: ХДТУБА, 2008. – 36 с.