

опережая процесс газовыделения, что приводило к неравномерной пористости и появлению трещин.

Физико-механические свойства изучались на составе Ц : 3 = 1 : 2 при В/Т = 0,75.

Расход материалов на замес бетономешалки: цемента — 1500 г, золы — 3000 г, извести — 120 г, алюминиевого порошка — 10 г и воды — 3500 мл. Из растворной смеси отливали плиты размером 500×250×1000 мм и подвергали их пропариванию по режиму 3—8—3. После тепловой обработки плиты высушивали до постоянной массы и из них выпиливали образцы — кубы, балочки — для определения объемной массы, предела прочности при сжатии и изгибе, коэффициента размягчения, водопоглощения, морозостойкости и сорбционного увлажнения.

Полученный газозобетон характеризуется следующими данными: объемная масса — 370—400 кг/м³, предел прочности при сжатии — 0,6—0,7 МПа, предел прочности при изгибе — 0,4 МПа, коэффициент размягчения — 0,7, морозостойкость — до 10 циклов и сорбционное увлажнение — 20%.

Таким образом, результаты исследований показали возможность получения газозобетона неавтоклавного твердения достаточной механической прочности и морозостойкости на основе золы Березовской ГРЭС. Прочностные данные позволяют использовать его в качестве теплоизоляционного материала в сельском строительстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А. Г., Бужевич Г. А. Зобетон. М., Госстройиздат, 1960.
2. Боженев П. И., Сатин М. С. Автоклавный пенобетон на основе отходов промышленности. М.—Л., Госстройиздат, 1960.
3. Васильченко В. Т., Соколов В. В. Конвейерная технология газосиликатных плит.— «Строительные материалы», 1968, № 3.
4. Иванов И. А. Легкие бетоны на основе зол электростанций. М., Госстройиздат, 1972.
5. Колосов Б. А. Промышленное использование зол тепловой электростанции в строительстве.— «Электрические станции», 1973, № 10.

УДК 691.327: 666.973.4

С. В. ВАСИЛЬЧЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ МЕТОДАМИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Структурообразование песчаного бетона происходит в периоды обработки, формования и твердения цементно-песчаной смеси. Поэтому сложно определить единую полную математическую модель процесса формирования структуры материала.

Более рационально будет выделить отдельные основные технологические факторы, относящиеся к определенным фазам процесса: подбору состава цементно-песчаной смеси, обработки смеси, оптимальным условиям твердения бетона. В настоящей работе приведены результаты исследований процесса приготовления цементно-песчаной смеси.

Проведенными исследованиями установлено, что плотность затвердеваемого бетона находится в прямой зависимости от плотности исходной смеси. При этом плотность смеси может быть значительно повышена в процессе ее перемешивания.

Смесители, применяемые на бетонных и растворных узлах сельских строек, из-за низкой интенсивности перемешивания дисперсных частиц системы не обеспечивают высокой плотности смеси.

В этом отношении скоростные смесители имеют явное преимущество перед тихоходными. Для изучения процесса перемешивания в скоростных смесителях определяют их основные технологические параметры и режимы, которые оказывают существенное влияние на формирование плотных структур смеси [3].

Выявление факторов, определяющих повышение плотности смеси, и составление математической модели перемешивания позволяют более направленно регулировать приготовление цементно-песчаных смесей как важнейшего технологического процесса производства.

Для опытного смесителя-активатора, применяемого для обработки цементно-песчаной смеси, можно выделить следующие параметры, влияющие на степень и интенсивность уплотнения смеси:

ν — частота вращения вала смесителя, с^{-1} ;

D — диаметр вала, см;

δ — зазор между валом и корпусом, см;

h — длина вала, см;

T — время активации смеси, с;

P — давление смеси в рабочем зазоре, Н/м^2 ;

d_n — максимальный диаметр частиц, см.

Водоцементное и цементно-песчаное отношения заданы технологическим процессом и оптимизированы ранее. Поэтому в опытах принимались постоянными: $V/C=0,5$; $C:P=1:3$. Постоянными были приняты также значения $T=3$ с; $p=29,43 \cdot 10^4$ Н/м^2 ; $d_n=0,3$ см.

При исследовании использовались методы анализа размерностей [4] и математического планирования эксперимента [5].

В качестве основных независимых единиц при анализе размерностей приняты T , p , d_n , которые являются постоянными при проведении всех опытов.

Таким образом, плотность смеси ρ может быть установлена следующей функциональной зависимостью:

$$\rho = \Phi(T, p, d_n, \nu, D, \delta, h). \quad (1)$$

В соответствии с π -теоремой имеем

$$\pi = \Phi(1, 1, 1, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7)$$

или

$$\frac{\rho}{T^x p^y d_n^z} = \Phi \left(1, 1, 1, \frac{v}{T^{x_1} p^{y_1} d_n^{z_1}}, \frac{D}{T^{x_2} p^{y_2} d_n^{z_2}}, \frac{\delta}{T^{x_3} p^{y_3} d_n^{z_3}}, \frac{h}{T^{x_4} p^{y_4} d_n^{z_4}} \right). \quad (2)$$

Учитывая равенство размерностей для числителя и знаменателя, определим по известной методике [4] показатели степеней (2).

Получим $\pi_1 = vT$, $\pi_2 = \frac{D}{d_n}$, $\pi_3 = \frac{\delta}{d_n}$, $\pi_4 = \frac{h}{d_n}$. Таким образом, функция (2) примет вид:

$$\rho = \Phi \left(vT, \frac{D}{d_n}, \frac{\delta}{d_n}, \frac{h}{d_n} \right). \quad (3)$$

Выявив функцию (3), можно направленно регулировать процесс оптимизации цементно-песчаной смеси за счет выбора наиболее рационального сочетания технологических параметров смесителя.

Определение функции (3) можно осуществить методом математического планирования эксперимента. За последнее время в исследованиях технологии строительных материалов наиболее широко применяются точные планы, близкие к D -оптимальным [1].

Основным критерием указанного плана является минимизация объема эллипсоида рассеяния оценок параметров в заданной области. Область планирования D -оптимального плана — гиперкуб. Варьирование факторов проводится на трех уровнях: +1; 0; -1. Квадратичная модель плана имеет вид:

$$Y = (a, X) = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n + a_{n+1} X_1^2 + \dots + a_{2n} X_n^2 + a_{2n+1} X_1 X_2 + \dots + a_n X_{n-1} X_n.$$

Из известных близких к D -оптимальному принят план типа B_n [1] для размерности $n=4$. Число точек плана равно $2^n = 2^4 = 16$, что соответствует полному факторному эксперименту. Кроме указанных точек, в план B_4 входят звездные точки на гранях гиперкуба с плечом ± 1 . Число таких точек $2n$. Тогда общее число точек плана составит

$$N = 2^n + 2n = 2^4 + 2 \cdot 4 = 16 + 8 = 24.$$

По ряду показателей план B_n существенно превосходит ортогональный и рототабельный планы Бокса.

Заменив в функции (3) значение переменных факторов на X_i , получим

$$\rho = \Phi (X_1, X_2, X_3, X_4). \quad (4)$$

Тогда уравнение регрессии примет вид:

$$\rho = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_1^2 + b_6 X_2^2 + b_7 X_3^2 + b_8 X_4^2 + b_9 X_1 X_2 + b_{10} X_1 X_3 + b_{11} X_1 X_4 + b_{12} X_2 X_3 + b_{13} X_2 X_4 + b_{14} X_3 X_4.$$

Уровни и значения физических и кодированных факторов эксперимента

Уровни факторов	Значения факторов							
	физи- ческий	коди- рован- ный	физи- ческий	коди- рован- ный	физи- ческий	коди- рован- ный	физи- ческий	коди- рован- ный
	X_1	Z_1	X_2	Z_2	X_3	Z_3	X_4	Z_4
Основной	25	0	40	0	0,7	0	150	0
Нижний	20	—	35	—	0,5	—	130	—
Верхний	30	+	45	+	0,9	+	170	+
Звездное плечо	30	+	45	+	0,9	+	170	+
Интервал варьирования	5		5		0,2		20	

Проведем кодирование факторов X_1, X_2, X_3, X_4 в безразмерных величинах по формуле

$$Z = \frac{X_i - X_{i\text{ср}}}{X_{i\text{ср}} - X_{i\text{макс}}}, \quad \text{где } X_{i\text{ср}} = \frac{X_{i\text{макс}} - X_{i\text{мин}}}{2}.$$

С учетом проведенного кодирования факторов функция (4) примет вид:

$$\rho = \Phi(Z_1, Z_2, Z_3, Z_4).$$

Условия планирования эксперимента приведены в табл. 1. Так как T, p и d_n взяты постоянными, то в эксперименте принято:

$$X_1 = v, X_2 = D, X_3 = \delta, X_4 = h.$$

Число повторений каждого опыта определялось из выражения [2]

$$n \geq \frac{t^2(p, k) \cdot S^2}{\varepsilon^2},$$

где t — критерий Стьюдента;

p — доверительная вероятность;

k — число степеней свободы;

S — среднее квадратичное отклонение измерений;

ε — доверительная оценка.

Расчеты показали, что для обеспечения заданной точности и надежности экспериментальных данных $n=4$.

Вычисление параметров модели было произведено методом наименьших квадратов.

В связи с тем что в каждой точке плана проводилось четырехкратное дублирование опыта, закон распределения экспериментальных значений ρ в каждой серии повторных испытаний определялся на основе гипотезы об однородности дисперсий в 24 точках плана с помощью критерия Кохрена. Расчеты показали, что гипотеза о равноточности измерений при уровне значимости $\alpha=0,05$ не отвергается.

После проверки значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента было получено уравнение

$$\hat{Y} = 2173 + 6Z_1 + 7Z_2 - 5Z_3 + 4Z_4 - 8Z_5 - 2Z_6 - 2Z_9. \quad (5)$$

Пригодность полученного уравнения для аппроксимации поверхности отклика осуществлялась с помощью дисперсионного отложения Фишера. Анализ показал, что полученная модель (5) адекватна.

Уравнение регрессии (5), приведенное к натуральным системам координат, имеет вид:

$$\hat{Y} = 1666,5 + 20,4 X_1 + 9,8 X_2 - 25 X_3 + 0,2 X_4 - \\ - 0,08 X_1 X_2 - 0,32 X_1^2 - 0,08 X_2^2. \quad (6)$$

Используя критерии подобия модели и природы, уравнение регрессии (6) после простейших преобразований, вызванных заменой факторов на соответствующие критерии π_i , будет иметь вид:

$$\rho = 1,667 + 0,679 \cdot 10^{-2} \nu T + 0,294 \cdot 10^{-2} \frac{D}{d_n} - \\ - 0,749 \cdot 10^{-2} \frac{\delta}{d_n} + 0,599 \cdot 10^{-4} \frac{h}{d_n} - 0,355 \cdot 10^{-4} \nu^2 T^2 - \\ - 0,719 \cdot 10^{-5} \frac{D^2}{d_n^2} - 0,797 \cdot 10^{-5} \frac{D \nu T}{d_n}. \quad (7)$$

Отличие математической модели (7) от уравнения регрессии (6) заключается в том, что модель (7) позволяет в более широких интервалах варьировать переменными технологическими факторами с целью получения цементно-песчаной смеси оптимального состава. Задавая значения плотности смеси, можно определять необходимые для этого параметры и режимы работы смесителя.

На графике (рис. 1), построенном по результатам планирования эксперимента, приведены линии равных значений функции отклика в зависимости от изменения факторов $X_1(\nu)$ и $X_3(\delta)$ при условии, что все остальные технологические факторы постоянны.

Из графика (рис. 1) следует, что заданная объемная масса цементно-песчаной смеси может быть обеспечена при различных значениях параметра δ и режима ее обработки ν . Например, значение объемной массы $\rho = 2175 \text{ кг/м}^3$ в точках *A* и *B* обеспечивается соответственно факторами:

$$\nu_A = 0,298 \text{ с}^{-1} (X_1 = 0,88) \text{ и } \delta_A = 0,65 \text{ см} (X_3 = -0,4)$$

$$\nu_B = 27,7 \text{ с}^{-1} (X_1 = 0,57) \text{ и } \delta_B = 0,52 \text{ см} (X_3 = -0,9).$$

Таким образом, на основе приведенного графика уровней объемной массы можно управлять процессом формирования оп-

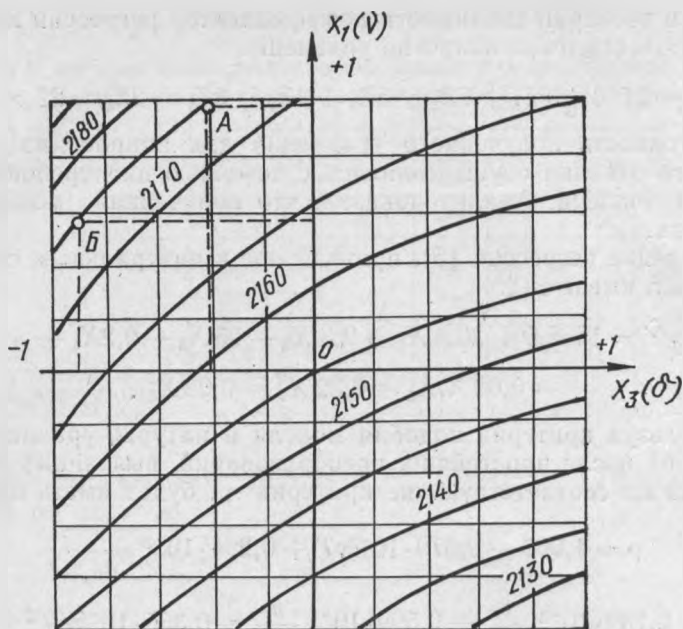


Рис. 1. Уровни объемной массы цементно-песчаной смеси (Ц : П = 1 : 3 ; В : Ц = 0,5).

тимальной структуры цементно-песчаной смеси за счет корректирования процессов перемешивания.

Практическое применение результатов исследований будет осуществлено на заводе железобетонных изделий Кобринской МСО, где по разработанной Брестским инженерно-строительным институтом технологии производится монтаж смесителя-активатора для приготовления цементно-песчаной смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голикова Т. И., Микешина Н. Г., Налимов В. В., Веселая Г. Н. Построение на кубе планов второго порядка, близких к D -оптимальным. «Заводская лаборатория», 33, 1967, № 7.
2. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., «Наука», 1968.
3. Рыбьев И. А. Две важнейшие закономерности в свойствах материалов с конгломератным типом структуры.— «Строительные материалы», 1965, № 1.
4. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. М., «Наука», 1967.
5. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М., «Мир», 1977.