ГИДРАВЛИКА

Р. Е. АКОНЯН, Я. А. АЛМАСЯН, С. Н. МАНУКЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПНЕВМОТРАНСПОРТА
СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ДИАМЕТРА
ТРУБОПРОВОДА

При проектировании пневмотранспортных установок как исходные данные задаются: а) вид транспортируемого материала; б) его количество, подлежащее транспортировке; в) длина транспортирования. Определяя насыпной вес вещества γ_H и принимая начальную скорость аэросмеси, однозначно определяются начальный диаметр трубопровода и удельный расход воздуха n .

Расчет сводится к определению необходимого давления транспортирования p_1 [1]. Предлагаемая в [2] математическая модель пневмотранспорта не позволяет получить явную зависимость расхода воздуха от проектной длины перемещения. Использование же алгоритмов, реализующих неявные схемы решения этой задачи, связано с многократным выполнением итерационных процедур, на каждом шагу которых реализуется модель [2].

Ввиду вышесказанного была поставлена задача нахождения явного выражения для определения расхода воздуха вида.

$$n = f(l, D_2, p_1, \gamma_H). \quad (1)$$

Получение этой зависимости на основе теоретических предпосылок невозможно и постановка экспериментов обусловлена значительными экономическими затратами. Поэтому в качестве априорной информации о функциональной связи (1) были использованы результаты расчетов по математической модели [2], поскольку она адекватно описывает широкий спектр экспериментальных данных.

Расчеты проводились на ЭВМ ЕС 1020.

Непосредственное определение n из математической модели невозможно. Зависимость искалась в виде многочлена, линейного по параметрам, относительно l

$$l = f(n, D_2, p_1, \gamma_H). \quad (2)$$

Была построена специальная матрица планирования эксперимента, отвечающая требованиям нормированных планов полного факторного эксперимента типа 2^4 . Результат каждого расчета рассматривался как

результат некоторого псевдоэксперимента, отвечающего условиям данного плана. Таких расчетов произведено $N = 2^4 = 16$. Обработкой результатов расчета найдено регрессионное уравнение. Однако, полученное выражение неудовлетворительно описывало расчетные данные математической модели, что вынуждало постулировать влияние квадратичных членов на l .

Для выявления зависимости (2) с учетом квадратных членов, возникла необходимость построения плана второго порядка для четырех факторов. Расчеты велись для трех веществ и отдельности (глинозем, цемент, апатит).

Для каждого вещества строились ортогональные центральные композиционные планы второго порядка для трех факторов (табл. 1—графы 2, 3, 4 и табл. 2) [3].

Таблица 1

f \ l	n	D ₁	P ₁	Цемент			Глинозем			Апатит		
				f ^{мат}	f'	l	f ^{мат}	f'	l	f ^{мат}	f'	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+	+	+	3976	2873	4051	4219	4117	4114	3361	3365	3700
2	+	+	+	776	815	847	811	892	874	481	553	535
3	+	+	+	3040	3093	3187	3227	3281	3115	2802	2849	2960
4	+	+	+	593	535	486	620	567	507	367	315	328
5	+	+	+	1075	1133	1108	1131	1203	1121	930	1035	967
6	+	+	+	221	181	199	231	192	205	143	110	126
7	+	+	+	810	743	751	856	792	766	718	688	672
8	+	+	+	169	171	180	175	193	186	108	109	110
9	+	0	0	2094	2353	2381	2430	2495	2101	2135	2197	2139
10	+	0	0	284	227	287	293	233	281	140	139	130
11	0	+	0	1253	1373	1413	1427	1461	1433	1153	1183	1180
12	0	+	0	963	917	981	1017	1013	995	821	815	815
13	0	0	+	2171	2215	2316	2298	2314	2315	1949	1900	1971
14	0	0	+	420	391	447	449	409	452	366	319	313
15	0	0	0	1184	1172	1197	1249	1237	1214	1010	1000	998

Математ. ожидание относит. ошибок (%)	6,2	5,7	6,5	4,5	6,8	5,04
Дисперсионное отношение S_1^2/S_2^2	1,2	1,68	1,18	1,79	1,2	2,03
Табл. знач. крит. Фишера ($\alpha=0,05, f_1=14, f_2=14$)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Таблица 2

	+x	-1	0	-1	-x
n [м ³ /кг]	0,004	0,00371	0,00235	0,00099	0,0007
n ^м [м ³ /кг]	0,001	0,00368	0,00219	0,0007	0,00028
D ₁ [м]	0,1	0,0956	0,075	0,0514	0,05
P ₁ [кг.м ²]	7000	66500	50000	3350	30000

n — для цемента и глинозема, n^м — для апатита.

В качестве ядра плана использовался полный факторный план типа 2^3 , к которому добавлены 6 звездных точек (табл. 1, опыты 9—14) и одна — в центре плана (опыт 15). Плечо звездных точек нетрудно определить из условий ортогональности плана: для $n = 3$, $\alpha = 1,215$ [4].

Регрессионная модель искалась в виде

$$l = b_0 + a_1 n + a_2 D_1 + a_3 p_1 + a_4 n D_1 + a_5 n p_1 + a_6 D_1 p_1 + a_7 (n^2 - \bar{\beta}) + a_8 (D_1^2 - \bar{\beta}) + a_9 (p_1^2 - \bar{\beta}), \quad (3)$$

где $\bar{\beta}$ для $n = 3$ определяется из соотношения [4]:

$$\bar{\beta} = \frac{2^3 + 2\alpha^2}{N} = 0,73.$$

При постановке псевдоэкспериментов факторы варьировались в практически очень широких диапазонах (табл. 2): расход воздуха от 0,00038 до 0,004; начальные диаметры от 0,05 до 0,1 мм; давление от 3,0 до 7,0 атм.

Результаты расчетов для всех веществ, отвечающих условиям матрицы планирования, приведены в графах 5, 8, 11 табл. 1. Оценки коэффициентов определялись по выражениям:

$$a_l = \begin{cases} C_1 \sum_{j=1}^N X_{j,l} t_j; & l = 1, 2, 3; & b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_j; \\ C_2 \sum_{j=1}^N X_{j,l+k} X_{j,l-k} t_j; & l = 4, 5, 6, \\ & k = 5, 6, l+k, \\ C_3 \sum_{j=1}^N [(X_{j,l-k})^2 - \bar{\beta}] t_j; & l = 7, 8, 9, \end{cases} \quad (4)$$

где $N = 15$ — количество опытов плана; $C_1 = 0,0913$, $C_2 = 0,125$, $C_3 = 0,2298$ [4] — диагональные элементы дисперсионной матрицы плана.

Если полином (3) представить в виде

$$l = a_0 + a_1 n + a_2 D_1 + a_3 p_1 + a_4 n D_1 + a_5 n p_1 + a_6 D_1 p_1 + a_7 n^2 + a_8 D_1^2 + a_9 p_1^2, \quad (5)$$

то a_0 определится из выражения

$$a_0 = b_0 - \bar{\beta} \sum_{l=1}^9 a_{l+6}.$$

Вычисленные по (4) коэффициенты модели приведены в табл. 3 (графы 3, 4, 5).

При оценке значимости членов регрессионного уравнения (5) сравнивались остаточные дисперсии между расчетными по модели $l^{пак}$ с l^* , вычисленными по (5) S_{l^*} , и с l , вычисленными по (5) после исклю-

чения предполагаемо незначимых факторов S_i^2 . Сравнение проводилось с использованием табличных значений критерия Фишера для уровня значимости 0,05 и дисперсионного отношения S_i^2/S_0^2 . Последнее показало, что для всех трех веществ только предпоследний член в (5) является незначимым и может быть исключен из рассмотрения.

В качестве меры описательной силы полученных регрессионных моделей служили математические ожидания и дисперсии относительных ошибок между l , рассчитанными по (5), и результатами псевдоэксперимента. Приведенные в нижней части табл. 1 оценки этих величин позволяют утверждать, что полученные регрессионные уравнения адекватно описывают результаты псевдоэксперимента, следовательно, их можно использовать при получении обобщенной модели для всех веществ.

Анализируя полученные оценки коэффициентов регрессионной модели (5) (табл. 3), удалось установить закон их изменения от свойств

Таблица 3

X_i	a_i	Вещество			Обобщенные значения коэффициентов	
		цезент	глюкозет	алатит	нормированные	натуральные
1	2	3	4	5	6	7
1	a_0	1172	1217	999	1629	2566
n	a_1	875	831	870	978	-1061286
D_1	a_2	175	184	151	238	-19600
P_1	a_3	751	787	651	1029	-0,0743
nD_1	a_4	120	118	120	133	4747300
nP_1	a_5	519	554	517	531	25,8013
D_1P_1	a_6	100	105	87	136	0,4
n^2	a_7	80	86	95	59	3190000
D_1^2	a_8	-8	-8	-7,1	-	-
P_1^2	a_9	89	94	75	125	$46 \cdot 10^{-8}$
γ_{11}	a_{10}	-	-	-	-0,451	0,733
$n\gamma_{11}$	a_{11}	-	-	-	-0,0784	-54
$D_1\gamma_{11}$	a_{12}	-	-	-	-0,0526	-3,04
$P_1\gamma_{11}$	a_{13}	-	-	-	-0,2712	$-16,14 \cdot 10^{-8}$
$\gamma_{11}n^2$	a_{14}	-	-	-	0,025	-
$\gamma_{11}P_1$	a_{15}	-	-	-	-0,0362	-
$n\gamma_{11}D_1$	a_{16}	-	-	-	0,0096	-
$n\gamma_{11}P_1$	a_{17}	-	-	-	-0,0165	-
$\gamma_{11}D_1P_1$	a_{18}	-	-	-	-0,0352	-

транспортируемых веществ. Применяв метод наименьших квадратов, для каждого из всех коэффициентов (5) была найдена зависимость

$$a_i = b_{0i} + b_{1i} \gamma_{1i}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 9, \quad (6)$$

после подстановки которой в (5) получается обобщенная математическая модель, отвечающая условию (2). Коэффициенты этой модели приведены в табл. 3 (графа 6). При исключении незначимых коэффициентов этой модели руководствовались сравнением табличных значений критерия Фишера с расчетным дисперсионным отношением S_2^2/S_1^2 .

Отметим, что оценки коэффициентов, приведенные в графах 3—6 табл. 3, справедливы лишь для нормированных факторов n , D_1 , p_1 (табл. 2). Переход к нормированному масштабу был осуществлен по известному соотношению [4]

$$X_i = \frac{X_{i \max}^* + X_{i \min}^*}{2} - \frac{X_{i \max}^* - X_{i \min}^*}{2} X_i \quad (7)$$

где X_i^* — значение i -ого фактора в натуральном масштабе измерения.

Свершив обратный переход и исключив незначимые коэффициенты, получим окончательное выражение (табл. 3, графа 7) для расчета длины ступенчатого трубопровода в зависимости от n , D_1 , p_1 , γ_n

$$l = 2656 - 1081286 n - 19600 D_1 - 0,0743 p_1 + 4747300 n D_1 + 25,89 n p_1 + 0,4 D_1 p_1 + 3190000 n^2 + 46,10 \cdot 10^{-6} p_1^2 + 0,733 \gamma_n - 58 n \gamma_n - 3,0 \gamma_n D_1 - 16,10 \cdot 10^{-6} \gamma_n \quad (8)$$

Расчитанные значения дисперсии и среднего значения относительных ошибок (табл. 1, графы 7, 10, 13) дают наглядное представление об описательной силе полученной модели (ур. 8).

Необходимый расход воздуха для перемещения сыпучего материала на заданную длину определится согласно зависимости (8).

ЕрIII ամ К. Маркел

Поступило 5.11.1979

ՈՒՆ ԵՎ ԶԵՆՈՒՅԱԼ Ե. Զ. ԱԿՈՎՅԱՆ, Ս. Ն. ՄԿԱՆԻՅԱՆ

ՕՒՐ ԿՆԵՐԱԵՆՇՏ ՔԱՆԱԿԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԿՈՂՈՎՈՒՄԱՆ ԵՎ ՏՐԱՄԱԿԻՆԻ ԱՍՏԻՃԱՆԱԿԱՆ ՓՈՓՈԿՈՒՄՈՎ ՊԵՆՎՈՐՏՐԱՆՍՊՈՐՏԻ ՆԱԿԱԳՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ ի ո ի ո ս մ

Նրկար տարածությունների պենմտեղափոխման համար անհրաժեշտ օդի քանակի մեծադման շափի հաշվումը ֆունկցիայի անբացահայտ տեսքի պատճառով կատված է զԺվարությունների հետ Մաթեմատիկական մոդելի հետ կատարված կեղծ փորձերի հիման վրա զուրս է քնրված պոլինոմի տեսքի հավասարում, որը խիստ կրճատում է հաշվարկային աշխատանքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Гаспарян А. М., Акопян Р. К. Пневмотранспорт мелкодисперсных материалов в плотном слое. «Химическая промышленность», 1965, № 7.
- 2 Гаспарян А. М., Акопян Р. К., Аманян Я. А. Пути увеличения дальности передачи взросмесей при пневмотранспорте в плотном слое. «Известия АН АрмССР (серия Т II)», т. XXVI, № 5, 1973.
- 3 Аязизарова С. Л., Кифаров В. В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М., «Высшая школа», 1978.
- 4 Рузанов Л. Г. Статистические методы оптимизации химических процессов. М.—Л., «Химия», 1972.