

*It is shown that the use of MS Excel enables reduce time to find the regression coefficients in the calculations of similar matrices, and also simplifies the process of charting the influence of factors on the studied properties of the experiments.*

С. Д. ДИНГИЛЕВСКИЙ, БНТУ  
Научный руководитель Ю. Ю. ГУМИНСКИЙ, БНТУ

УДК 004. (07.07)

## МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ MS EXCEL ДЛЯ РАСЧЕТА УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Метод расчета уравнений регрессии полного факторного эксперимента разработан для исследования технологических свойств жидкостекольных формовочных и стержневых смесей.

Для оптимизации и упорядочения проведения экспериментов была построена матрица планирования полного факторного эксперимента для жидкостекольных формовочных смесей. Уровни факторов и интервалы варьирования приведены в таблице.

Таблица

Фактор	Уровень			Интервал варьирования	Размерность
	-1	0	+1		
$x_1$	180	210	240	30	°С
$x_2$	10	20	30	10	мин
$x_3$	3	6	9	3	мин
$x_4$	3,5	5,0	6,5	1,5	%
$x_5$	0,1	0,3	0,5	0,2	%

Примечание:  $x_0$  – фактор, необходимый для расчетов коэффициентов уравнения;  $x_1$  – температура сушки образца в печи;  $x_2$  – время выдержки образца в печи;  $x_3$  – время перемешивания компонентов в смесителе;  $x_4$  – содержание жидкого стекла в смеси, %;  $x_5$  – содержание наноструктурированного порошка в смеси, %.

В ходе экспериментов испытывали образцы на прочность при растяжении  $Y$ , МПа. Матрица планирования экспериментов  $2^5$  была построена в соответствии с рекомендациями [1]. При построении план-матрицы эксперимента выполняли кодирование переменных факторов. В MS Excel по результатам опытов строилась таблица (рис. 1).

Также была построена таблица (рис. 2), где определялся знак («+» или «-»), проставляемый

перед значениями результатов опыта, для нахождения определенного коэффициента [2].

Если высчитывался коэффициент регрессии  $B_0$ , то значения приобретали только положительный знак. Для  $B_1$  знак поочередно менялся с «+» на «-» и т. д. Для коэффициентов комбинированного влияния факторов, таких, как  $B_{12}, B_{23} \dots B_{12345}$  знаки находились путем перемножения соответствующих ячеек. Так, например, для  $x_{12}$  перемножались первые ячейки столбцов  $x_1$  и  $x_2$  (рис. 2), для  $x_{123}$  – первые ячейки столбцов  $x_1, x_2, x_3$  и т. д. [3].

Например, для  $x_{12}$  формула имеет вид:

$$= B_{39} \cdot C_{39}. \quad (1)$$

Знаки в остальных ячейках столбцов получали протягиванием первых ячеек.

Далее строили еще 29 таблиц (для матрицы  $2^5$ ), аналогичных таблице, показанной на рис. 1. Значения в таблицах получали путем перемножения ячеек столбца с результатами опыта в таблице, показанной на рис. 1, с ячейками соответствующих столбцов в таблице, представленной на рис. 2.

№ Опыта	Прочность
1	0,69
2	0,72
3	0,77
4	0,49
5	0,85
6	0,97
7	0,61
8	0,28
9	0,32
10	0,43
11	0,39
12	0,22
13	0,34
14	0,45
15	0,42
16	0,24
17	1,43
18	1,04
19	0,75
20	0,38
21	1,74
22	1,29
23	0,96
24	0,38
25	0,31
26	0,41
27	0,41
28	0,22
29	0,4
30	0,39
31	0,49
32	0,51
33	0,8
34	0,77
35	0,603125

Рис. 1. Результаты опытов

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
38	№ опыта	X1	X2	X3	X4	X5	X1*X2	X2*X3	X3*X4	X4*X5	X1*X3	X1*X4	X1*X5	X2*X4	X2*X5	X3*X5	X1*X2*X3	X2*X3*X4	X3*X4*X5
39	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
40	2	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+
41	3	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+
42	4	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
43	5	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
44	6	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
45	7	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-
46	8	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
47	9	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
48	10	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
49	11	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-
50	12	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-
51	13	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-
52	14	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-
53	15	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-
54	16	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
55	17	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
56	18	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
57	19	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
58	20	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-
59	21	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-
60	22	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-
61	23	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-
62	24	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-
63	25	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-
64	26	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
65	27	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-
66	28	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-
67	29	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-
68	30	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-
69	31	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-
70	32	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Рис. 2. Знаки для нахождения коэффициентов регрессии

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
72									
73	Уровни	X1	X2	X3	X4	X5		№	Прочность
74	-1	180	10	3	3,5	0,1		1	0,363
75	0	210	20	6	5	0,3			0,47
76	1	240	30	9	6,5	0,5			0,577
77									
78	-1							2	0,372
79	0								0,603
80	1								0,834
81									
82	-1							3	0,381
83	0								0,736
84	1								1,091

Рис. 3. Результаты расчетов Y

В таблице для коэффициента регрессии  $B_1$  формула (1), имеет следующий вид:

$$= B_2 \cdot B_{39}. \quad (2)$$

Коэффициент регрессии рассчитывали по формуле для определения среднего значения. Например, таблице для  $B_0$  данная формула имеет вид:

$$= \text{CPЗНАЧ}(B_2 : B_{33}). \quad (3)$$

Для нахождения коэффициентов  $B_1, B_2, \dots, B_{12345}$  проводили аналогичные действия.

После определения коэффициентов  $B_0, B_2, \dots, B_{12345}$  строили уравнение регрессии, где коэффициенты  $B_1, B_2, \dots, B_{12345}$  сравнивали с коэффициенти-

ентом  $B_0$ . Коэффициенты, значения которых были меньше  $B_0$  на 2 порядка и более, исключали.

В результате было получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 0,603 + 0,133x_2 + 0,231x_4 + 0,124x_2x_4. \quad (4)$$

По уравнению (4) определяли фактор, который наиболее существенно влияет на прочность образцов при разрыве. Этим фактором оказался  $x_4$  (содержание жидкого стекла, %).

Графики строили на основании данного фактора, вставляя поочередно на место  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  значения уровней. Сначала всем факторам, кроме  $x_4$ , задавали значения только «-1», далее «0» и «1».

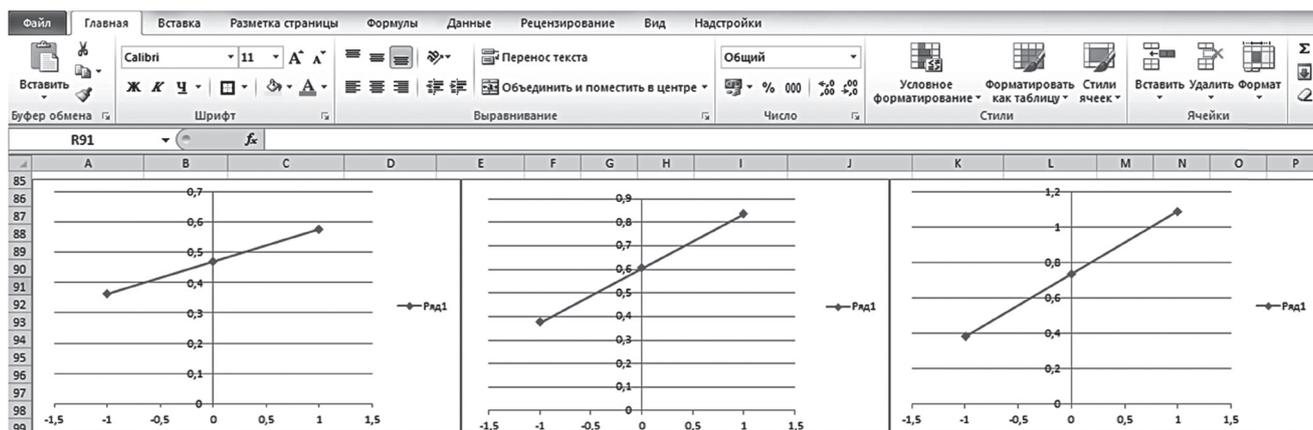


Рис. 4. Графики прочности жидкостекольных смесей

На одном графике меняли значения  $x_4$  от  $-1$  до  $1$ . Уравнение (4) в ячейку I74 (рис. 3) записывалось в виде:

$$= 0,603 + 0,133 \cdot A\$74 + 0,231 \cdot A74 + 0,124 \cdot A\$74 \cdot A74. \quad (5)$$

Результаты расчетов приведены на рис. 3.

На основании результатов вычисления были построены графики для исследуемого свойства жидкостекольной смеси (рис. 4).

При увеличении количества исследуемых свойств для каждого свойства проводятся аналогичные расчеты.

Использование MS Excel дает возможность сокращения времени на нахождение коэффициентов регрессии при проведении расчетов аналогичных матриц, а также упрощает процесс построения графиков влияния факторов эксперимента на исследуемые свойства.

### Литература

1. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Макаров, Ю. В. Грановский. М., 1983.
2. MS Excel 2010. Учебно-методическое пособие для студентов и слушателей системы повышения квалификации и переподготовки». М.
3. Ш и б у т М. С. Технологии работы с текстами и электронными таблицами / Под ред. И. Ф. Богдановой. Минск: Молодежное научное общество, 2000.