

УДК 669.184

РОЗРАХУНОК БАГАТОФАКТОРНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАКЕТУ АНАЛІЗУ ДАНИХ СЕРЕДОВИЩА MS EXCEL

В. М. Рибак, Я. В. Білоконь, О. І. Шевчук

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

Розглянуто етапи розрахунку багатofакторних математичних моделей металургійних процесів за допомогою пакету аналізу даних середовища MS Excel

Рассмотрены этапы расчета многофакторных математических моделей металлургических процессов при помощи пакета анализа данных среды MS Excel

Stages of calculation of multifactor mathematical models of metallurgical processes by means of the data analysis package of the MS Excel are considered

Вступ

Основна задача будь-якого дослідження полягає в тому, щоб на основі експериментальних даних деякого процесу отримати формулу (математичну модель), яка б найкраще описувала цей процес.

Багатofакторна математична модель являє собою залежність одного відгуку (вихідного параметру) від декількох факторів (вхідних параметрів). Наприклад: залежність відносного подовження сплаву від кількості модифікатора, температури модифікування, температури розливання, часу витримки і т.д.

Процес розрахунку будь-якої математичної моделі є доволі трудомісткою роботою, особливо при наявності великої кількості експериментальних даних. Але за допомогою відомого пакету MS Excel і деяким навичкам роботи на комп'ютері процес розрахунку математичних моделей будь-яких металургійних (і не тільки металургійних) процесів може зайняти усього декілька хвилин. Окрім розрахунку математичної моделі MS Excel дозволяє також перевірити її адекватність (відповідність) і провести оптимізацію (розрахувати найкращі значення факторів).

Постановка задачі дослідження

Задача даної роботи полягає в розгляді етапів розрахунку багатofакторних математичних моделей металургійних процесів за допомогою пакету аналізу даних середовища MS Excel на прикладі модифікування ливарного алюмінієвого сплаву АК9ч.

В результаті деякого дослідження були отримані залежності тимчасового опору розриву (ТОР) алюмінієвого сплаву АК9ч від кількості модифікатора (КМ), температури модифікування (ТМ), часу витримки після модифікування (ЧВ) та температури розливання (ТР) (табл.1).

Таблиця 1. Результати досліджень

№ дослідження	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КМ, %	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0
ТМ, °С	780	790	800	810	830	850	800	780	760	750
ЧВ, с	10	30	60	120	120	120	90	50	30	30
ТР, °С	760	750	740	780	760	750	740	800	740	740
ТОР 1, МПа	153	163	185	183	175	168	156	159	157	143
ТОР 2, МПа	162	164	177	180	176	164	163	157	161	142
ТОР 3, МПа	156	174	181	186	180	160	158	155	152	149

Як видно із наведеної таблиці, кількість експериментальних точок дорівнює 10, а кількість паралельних досліджень – 3.

Задача – знайти математичну модель даного металургійного процесу, перевірити її на адекватність та спростити у випадку необхідності і можливості. На основі отриманої математичної моделі знайти оптимальні параметри оброблення, які забезпечували б максимальне значення тимчасового опору розриву даного сплаву.

Методика проведення експериментів

Порядок розрахунку будь-якої багатofакторної математичної моделі складається з наступних етапів:

1) Проведення досліджень деякого багатofакторного процесу з метою отримання декількох експериментальних точок. На якість моделювання впливає загальна кількість таких точок та кількість паралельних досліджень. Чим більшою буде кількість експериментальних точок та кількість паралельних досліджень в кожній точці - тим модель буде кращою. В будь-якому випадку кількість експериментальних точок повинна бути більшою за кількість факторів, а кількість паралельних досліджень в кожній точці – не менше трьох. При проведенні досліджень бажано використовувати планування експерименту згідно з відомих методик. Але це не є

обов'язковим, тому що метод, який розглядається в даній статті є універсальним і може працювати з будь-якими експериментальними даними.

2) Розрахунок математичного очікування. На цьому етапі необхідно розрахувати математичні очікування (середні значення) відгуків паралельних досліджень кожної із точок.

3) Розрахунок довірчих інтервалів. Задавшись деяким значенням рівня значущості (α) необхідно розрахувати довірчі інтервали кожної із точок. Для технічних досліджень рівень значущості приймають в межах від 0,05 до 0,1.

4) Вибір загального вигляду математичної моделі. На цьому етапі необхідно визначити загальний вид функції (математичної моделі). Дана задача значно спрощується, коли у дослідника є експериментальні дані даного процесу, що показують зв'язок вихідного параметра від кожного окремого фактора при постійності інших факторів. В такому випадку достатньо побудувати графіки і встановити вид кривої для кожного фактору. У разі відсутності такої інформації задача дещо ускладнюється і її вирішення залежить від творчого підходу дослідника. У більшості випадків будь-яку складну функцію можна представити у вигляді суми простих. При визначенні загального вигляду математичної моделі слід пам'ятати про те, що загальна кількість коефіцієнтів моделі не повинна перевищувати кількість експериментальних точок. Це означає, що якщо кількість експериментальних точок дорівнює 5, то математична модель не може мати більше 5 коефіцієнтів, включаючи вільний коефіцієнт.

5) Розрахунок за допомогою одного із чисельних методів коефіцієнтів обраної математичної моделі. В більшості випадків для розрахунку коефіцієнтів математичної моделі використовують регресійний аналіз.

6) Перевірка адекватності математичної моделі. На цьому етапі для кожної точки розраховується математичне значення вихідного параметру за допомогою отриманої математичної моделі, яке порівнюється з відповідним експериментальним значенням. Критеріями адекватності математичної моделі є значення коефіцієнтів Стьюдента, Фішера а також проходження розрахованої математичної кривої в межах довірчих інтервалів. У випадку неадекватності отриманої математичної моделі необхідно обрати новий її вигляд і виконати пункти 4...6 ще раз.

7) Спрощення математичної моделі. У випадку отримання адекватної, але складної математичної моделі її необхідно спростити шляхом виключення деяких простих функцій. Виключення функцій (коефіцієнтів) відбувається за допомогою критеріїв Стьюдента. Після виключення деякої функції (коефіцієнта) операції 4...7 необхідно повторити ще раз.

8) Оптимізація математичної моделі. На даному етапі дослідник визначає оптимальні параметри математичної моделі, тобто визначає

значення факторів, при яких досягається максимум (мінімум) вихідного параметра.

Результати досліджень

Розрахунок математичної моделі слід починати з завантаження MS Excel та перевірки встановлення в ньому пакетів „Аналіз даних” і „Пошук рішення”. Пакети „Аналіз даних” і „Пошук рішення” повинні знаходитися в меню „Сервіс”. Якщо даних пакетів в меню „Сервіс” знайдено не буде, то слід запустити підменю „Надбудови” і поставити відповідну галочку на надбудовах „Аналіз даних” і „Пошук рішення”. Після цього можливі два варіанти: або зазначені пакети з’являться в меню „Сервіс”, або MS Excel запропонує їх встановити з CD-диска. В другому випадку необхідно вставити відповідний диск з програмою MS Excel і підтвердити запропоновані дії. Після появи в меню „Сервіс” пакетів „Аналіз даних” і „Пошук рішення” можна починати розрахунок математичної моделі.

На першому етапі на новому аркуші слід створити таблицю з експериментальними даними у вигляді, представленому на рис.1.

I2		fx =CPЗНАЧ(F2:H2)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	№	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y	СВ	ДІ
2	1	0	780	10	760	153	162	156	157	4,5826	4,3519
3	2	0,1	790	30	750	163	164	174	167	6,0828	5,7765
4	3	0,2	800	60	740	185	177	181	181	4	3,7986
5	4	0,3	810	120	780	183	180	186	183	3	2,849
6	5	0,4	830	120	760	175	176	180	177	2,6458	2,5126
7	6	0,5	850	120	750	168	164	160	164	4	3,7986
8	7	0,6	800	90	740	156	163	158	159	3,6056	3,424
9	8	0,7	780	50	800	159	157	155	157	2	1,8993
10	9	0,8	760	30	740	157	161	152	156,7	4,5092	4,2822
11	10	0	750	30	740	143	142	149	144,7	3,7859	3,5953
12											
13						=CPЗНАЧ(F11:H11)					
14							=СТАНДОТКЛОН(F11:H11)				
15								=ДОВЕРИТ(0,1;J11;3)			

Рис.1 Введення експериментальних даних в таблицю MS Excel

Для наочності, вхідний фактор „кількість модифікатора” позначимо X1, вхідний фактор „температура модифікування” позначимо X2, фактор „час витримки” позначимо X3, а фактор „температура розливання” позначимо X4. Вихідний фактор „тимчасовий опір розриву” позначимо Y1, Y2, Y3 (по кількості паралельних досліджень). Середнє арифметичне

(математичне очікування) позначимо Y . Ще два стовпчика додамо для розрахунку стандартного відхилення (СВ) та довірчого інтервалу (ДІ).

Для розрахунку середнього арифметичного, стандартного відхилення та довірчого інтервалу у відповідні комірки введемо формули і скопіюємо їх для усіх десяти точок (рис. 1).

На наступному етапі необхідно обрати загальний вид математичної моделі і створити таблицю із набору простих функцій, коефіцієнти яких необхідно розрахувати (рис.2). У відповідні комірки необхідно набрати формули розрахунку простих функцій і скопіювати їх для усіх десяти точок.

W2		fx =O2*P2*Q2*R2										
	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1		№	Y	X1	X2	X3	X4	X1X2	X1X3	X1X4	X1X2X3	X1X2X3X4
2		1	157	0	780	10	760	0	0	0	0	0
3		2	167	0,1	790	30	750	79	3	75	2370	1777500
4		3	181	0,2	800	60	740	160	12	148	9600	7104000
5		4	183	0,3	810	120	780	243	36	234	29160	22744800
6		5	177	0,4	830	120	760	332	48	304	39840	30278400
7		6	164	0,5	850	120	750	425	60	375	51000	38250000
8		7	159	0,6	800	90	740	480	54	444	43200	31968000
9		8	157	0,7	780	50	800	546	35	560	27300	21840000
10		9	156,67	0,8	760	30	740	608	24	592	18240	13497600
11		10	144,67	0	750	30	740	0	0	0	0	0
12												
13			=I11					=O11*P11				
14								=O11*Q11				
15									=O11*R11			
16										=O11*P11*Q11		
17											=O11*P11*Q11*R11	
18												

Рис.2 Загальний вигляд математичної моделі

Далі необхідно вибрати в меню команду „Сервіс - Аналіз даних - Регресія”. В графу „Вхідний інтервал Y ” ввести діапазон комірок N2:N11, в графу „Вхідний інтервал X ” ввести діапазон комірок O2:W11. Встановити значення рівня надійності 90 % і натиснути на кнопку „Ок”. В документі Excel з’явиться новий аркуш з розрахованими коефіцієнтами (рис. 3).

Отримані коефіцієнти необхідно скопіювати на аркуш з таблицею, додати в таблицю стовпчик Y_r (розраховані значення математичної моделі) і ввести формулу математичної моделі. Пре введенні формули коефіцієнти необхідно вводити зі знаками доларів. Далі необхідно скопіювати формулу для усіх десяти точок (рис. 4).

16		Кoeffициенты	Стандартная ошибка	t-статистика
17	Y-пересечение	-1175,749241	0	65535
18	Переменная X 1	1095,915344	0	65535
19	Переменная X 2	0,683159207	0	65535
20	Переменная X 3	1,441584272	0	65535
21	Переменная X 4	1,033512128	0	65535
22	Переменная X 5	-7,202186921	0	65535
23	Переменная X 6	-31,13121483	0	65535
24	Переменная X 7	5,951555148	0	65535
25	Переменная X 8	0,162704724	0	65535
26	Переменная X 9	-0,000165699	0	65535

Рис.3 Розраховані коефіцієнти математичної моделі

X2		fx = \$N\$13+\$N\$14*O2+\$N\$15*P2+\$N\$16*Q2+\$N\$17*R2+\$N\$18*S2+\$N\$19*T2+\$N\$20*U2+\$N\$21*V2											
L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
	№	Y	X1	X2	X3	X4	X1X2	X1X3	X1X4	X1X2X3	X1X2X3X4	Yp	
1													
2		1	157	0	780	10	760	0	0	0	0	157	
3		2	167	0,1	790	30	750	79	3	75	2370	1777500	167
4		3	181	0,2	800	60	740	160	12	148	9600	7104000	181
5		4	183	0,3	810	120	780	243	36	234	29160	22744800	183
6		5	177	0,4	830	120	760	332	48	304	39840	30278400	177
7		6	164	0,5	850	120	750	425	60	375	51000	38250000	164
8		7	159	0,6	800	90	740	480	54	444	43200	31968000	159
9		8	157	0,7	780	50	800	546	35	560	27300	21840000	157
10		9	156,67	0,8	760	30	740	608	24	592	18240	13497600	156,6667
11		10	144,67	0	750	30	740	0	0	0	0	0	144,6667
12													
13		Y-пересечение	-1175,7										
14		Переменная X 1	1095,9										
15		Переменная X 2	0,6832										
16		Переменная X 3	1,4416										
17		Переменная X 4	1,0335										
18		Переменная X 5	-7,2022										
19		Переменная X 6	-31,131										
20		Переменная X 7	5,9516										
21		Переменная X 8	0,1627										
22		Переменная X 9	-0,0002										

Рис.4 Значення, розраховані математичною моделлю

Як видно із отриманих результатів, розраховані за допомогою математичної моделі значення повністю співпадають з результатами експериментів (табличними значеннями). Це свідчить про адекватність отриманої математичної моделі. Але враховуючи те, що для кожної експериментальної точки існує свій довірчий інтервал, отриману модель можна спростити, прибравши деякі складні функції.

Для перевірки потрапляння розрахованих точок в довірчі інтервали необхідно додати формули для розрахунків мінімальної і максимальної границь, а також результату потрапляння (рис. 5).

AB2		fx =ЕСЛИ(X2>=Z2;ЕСЛИ(X2<=AA2;"ТАК";"НІ");"НІ")									
	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	A
1	X1X2	X1X3	X1X4	X1X2X3	X1X2X3X4	Yp		Ymin	Ymax	Результат	
2	0	0	0	0	0	157		152,6481	161,3519	ТАК	
3	79	3	75	2370	1777500	167		161,2235	172,7765	ТАК	
4	160	12	148	9600	7104000	181		177,2014	184,7986	ТАК	
5	243	36	234	29160	22744800	183		180,151	185,849	ТАК	
6	332	48	304	39840	30278400	177		174,4874	179,5126	ТАК	
7	425	60	375	51000	38250000	164		160,2014	167,7986	ТАК	
8	480	54	444	43200	31968000	159		155,576	162,424	ТАК	
9	546	35	560	27300	21840000	157		155,1007	158,8993	ТАК	
10	608	24	592	18240	13497600	156,6667		152,3844	160,9489	ТАК	
11	0	0	0	0	0	144,6667		141,0713	148,262	ТАК	
12											
13						=I11-K11		=I11+K11			
14						=ЕСЛИ(X11>=Z11;ЕСЛИ(X11<=AA11;"ТАК";"НІ");"НІ")					
15											

Рис.5 Перевірка потрапляння розрахованих значень в довірчі інтервали

Для спрощення математичної моделі необхідно видалити із неї деякі складні функції, ще раз провести регресію, скопіювати отримані коефіцієнти на аркуш і виправити математичну модель (рис. 6).

S2		fx =N\$13+N\$14*O2+N\$15*P2+N\$16*Q2+N\$17*R2									
L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	№	Y	X1	X2	X3	X4	Yp		Ymin	Ymax	Результат
2		1	157	0	780	10	760	160,6596	152,6481	161,3519	ТАК
3		2	167	0,1	790	30	750	162,395	161,2235	172,7765	ТАК
4		3	181	0,2	800	60	740	165,1321	177,2014	184,7986	НІ
5		4	183	0,3	810	120	780	174,5701	180,151	185,849	НІ
6		5	177	0,4	830	120	760	175,0089	174,4874	179,5126	ТАК
7		6	164	0,5	850	120	750	176,1868	160,2014	167,7986	НІ
8		7	159	0,6	800	90	740	164,2384	155,576	162,424	НІ
9		8	157	0,7	780	50	800	160,8002	155,1007	158,8993	НІ
10		9	156,67	0,8	760	30	740	150,4953	152,3844	160,9489	НІ
11		10	144,67	0	750	30	740	156,847	141,0713	148,262	НІ
12											
13	Y-пересечение	-9,2974									
14	Переменная X 1	-9,7469									
15	Переменная X 2	0,1446									
16	Переменная X 3	0,1002									
17	Переменная X 4	0,0739									
18											

Рис.6 Спрощена математична модель

Три значення, які розрахувала спрощена математична модель потрапили в свої довірчі інтервали, сім – ні. Це свідчить про неадекватність даної математичної моделі, і тому її треба ускладнити повернувши деякі із відкинутих функцій.

Після повернення деяких відкинутих функцій необхідно ще раз провести регресію (рис. 7), скопіювати отримані коефіцієнти на аркуш і виправити математичну модель (рис. 8).

16		Кoeffициенты	Стандартная ошибка	t-статистика
17	Y-пересечение	-156,9295305	99,60277166	-1,575553851
18	Переменная X 1	1026,321046	208,2572934	4,928139749
19	Переменная X 2	0,83940061	0,112663459	7,450513404
20	Переменная X 3	0,246510553	0,070205037	3,511294379
21	Переменная X 4	-0,452731659	0,180034142	-2,514698902
22	Переменная X 5	-2,127572206	0,426425778	-4,989314236
23	Переменная X 6	0,14244335	0,333102179	0,427626595
24	Переменная X 7	0,798449034	0,299380234	2,667006511
25				

Рис.7 Розраховані коефіцієнти математичної моделі

V2															
fx = \$N\$13+\$N\$14*O2+\$N\$15*P2+\$N\$16*Q2+\$N\$17*R2+\$N\$18*S2+\$N\$19*T2+\$N\$20*U2															
L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
1	№	Y	X1	X2	X3	X4	X1X2	X1X3	X1X4	Yp		Ymin	Ymax	Результат	
2	1	157	0	780	10	760	0	0	0	156,192		152,6481	161,3519	ТАК	
3	2	167	0,1	790	30	750	79	3	75	168,9084		161,2235	172,7765	ТАК	
4	3	181	0,2	800	60	740	160	12	148	179,0926		177,2014	184,7986	ТАК	
5	4	183	0,3	810	120	780	243	36	234	182,2968		180,151	185,849	ТАК	
6	5	177	0,4	830	120	760	332	48	304	179,0184		174,4874	179,5126	ТАК	
7	6	164	0,5	850	120	750	425	60	375	163,5008		160,2014	167,7986	ТАК	
8	7	159	0,6	800	90	740	480	54	444	158,5168		155,576	162,424	ТАК	
9	8	157	0,7	780	50	800	546	35	560	156,8304		155,1007	158,8993	ТАК	
10	9	156,67	0,8	760	30	740	608	24	592	156,9822		152,3844	160,9489	ТАК	
11	10	144,67	0	750	30	740	0	0	0	144,9948		141,0713	148,262	ТАК	
12															
13	Y-пересечение	-156,93													
14	Переменная X 1	1026,3													
15	Переменная X 2	0,8394													
16	Переменная X 3	0,2465													
17	Переменная X 4	-0,4527													
18	Переменная X 5	-2,1276													
19	Переменная X 6	0,1424													
20	Переменная X 7	0,7984													
21															

Рис.8 Кінцева математична модель

Всі значення отриманої математичної моделі потрапили в свої довірчі інтервали. Це перший признак адекватності даної моделі. Для математичної перевірки адекватності необхідно викликати меню „Сервіс – Аналіз даних – Двохвибірковий F-тест для дисперсії”. В поле „Інтервал змінної 1” необхідно ввести діапазон комірок N2:N11, в поле „Інтервал змінної 2” - діапазон комірок V2:V11, в поле „Альфа” – значення 0,1 і натиснути „Ок”. З’явиться новий аркуш (рис. 9), на якому необхідно знайти значення F-критерію ($F \approx 1,01$) та F-критичне ($F_{кр} \approx 2,44$).

	А	В	С
1	Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
2			
3		Переменная 1	Переменная 2
4	Среднее	164,6333333	164,6333333
5	Дисперсия	152,7271605	151,2582367
6	Наблюдения	10	10
7	df	9	9
8	F	1,009711364	
9	P(F<=f) одностороннее	0,494374945	
10	F критическое одностороннее	2,44033771	
11			

Рис.9 Розрахунок F-критерію

У випадку $F < F_{кр}$ дисперсії вважаються однаковими. У випадку $F > F_{кр}$ дисперсії вважаються різними.

Далі необхідно викликати меню „Сервіс – Аналіз даних – Двохвибірковий t-тест з однаковими дисперсіями” (у випадку $F > F_{кр}$ – з різними). В поле „Інтервал змінної 1” необхідно ввести діапазон комірок N2:N11, в поле „Інтервал змінної 2” - діапазон комірок V2:V11, в поле „Альфа” – значення 0,1 і натиснути „Ок”. З’явиться новий аркуш (рис. 10), на якому необхідно знайти значення t-статистики ($t \approx 0$) та t-критичне ($t_{кр} = 1,73$).

	А	В	С
1	Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями		
2			
3		Переменная 1	Переменная 2
4	Среднее	164,6333333	164,6333333
5	Дисперсия	152,7271605	151,2582367
6	Наблюдения	10	10
7	Объединенная дисперсия	151,9926986	
8	Гипотетическая разность средних	0	
9	df	18	
10	t-статистика	-2,57747E-14	
11	P(T<=t) одностороннее	0,5	
12	t критическое одностороннее	1,33039066	
13	P(T<=t) двухстороннее	1	
14	t критическое двухстороннее	1,734063062	
15			

Рис.10 Розрахунок t-статистики

У випадку $t < t_{кр}$ отримана математична модель вважається адекватною, у випадку $t > t_{кр}$ – неадекватною. У випадку неадекватності необхідно повторити розрахунок моделі ввівши інші функції.

В нашому випадку математична модель є адекватною і має кінцевий вигляд:

$$Y = -156,93 + 1026,3 \cdot X_1 + 0,84 \cdot X_2 + 0,25 \cdot X_3 - 0,45 \cdot X_4 - 2,13 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,14 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,8 \cdot X_1 \cdot X_4 \quad (1)$$

- де Y – тимчасовий опір розриву, МПа;
- X1 – кількість модифікатора (0...0,8), %;
- X2 – температура оброблення (750...850), °С;
- X3 – час витримки (10...120), с;
- X4 – температура розливання (740...800), °С.

Для оптимізації отриманої математичної моделі необхідно створити додаткову таблицю, в якій ввести формули для визначення мінімальних і максимальних значень факторів, складних функцій (X1·X2, X1·X3, X1·X4) та саму математичну модель (рис. 11).

V23	= \$N\$13+\$N\$14*O23+\$N\$15*P23+\$N\$16*Q23+\$N\$17*R23+\$N\$18*S23+\$N\$19*T23+\$N\$20*U23										
L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
12											
13	Y-пересечение	-156,93									
14	Переменная X 1	1026,3									
15	Переменная X 2	0,8394									
16	Переменная X 3	0,2465									
17	Переменная X 4	-0,4527									
18	Переменная X 5	-2,1276									
19	Переменная X 6	0,1424									
20	Переменная X 7	0,7984									
21											
22	№	Y	X1	X2	X3	X4	X1X2	X1X3	X1X4	Yp	
23	Оптимальні						0	0	0	-156,93	
24	Мінімум		0	750	10	740					
25	Максимум		0,8	850	120	800					
26											
27	=МИН(O2:O11)										
28		=МАКС(O2:O11)									
29			=МАКС(P2:P11)								
30											

Рис.11 Оптимізація математичної моделі

Далі необхідно викликати меню „Сервіс – Пошук рішення”. В поле „Цільова комірка” ввести координати комірки V23, в поле „Змінюючи комірки” - діапазон комірок O23:R23, додати 8 обмежень факторів (X1>=X1min, X1<=X1max, X2>=X2min, ..., X4<=X4max) обрати опцію „Знайти максимальне значення” і натиснути „Виконати” (рис. 12). В таблиці з’являться оптимальні значення факторів (KM = 0,8 %, TO = 750 °С, ЧВ = 120 с, TP = 800 °С), при яких тимчасовий опір розплаву буде досягати максимального значення – 209 МПа (рис. 13).

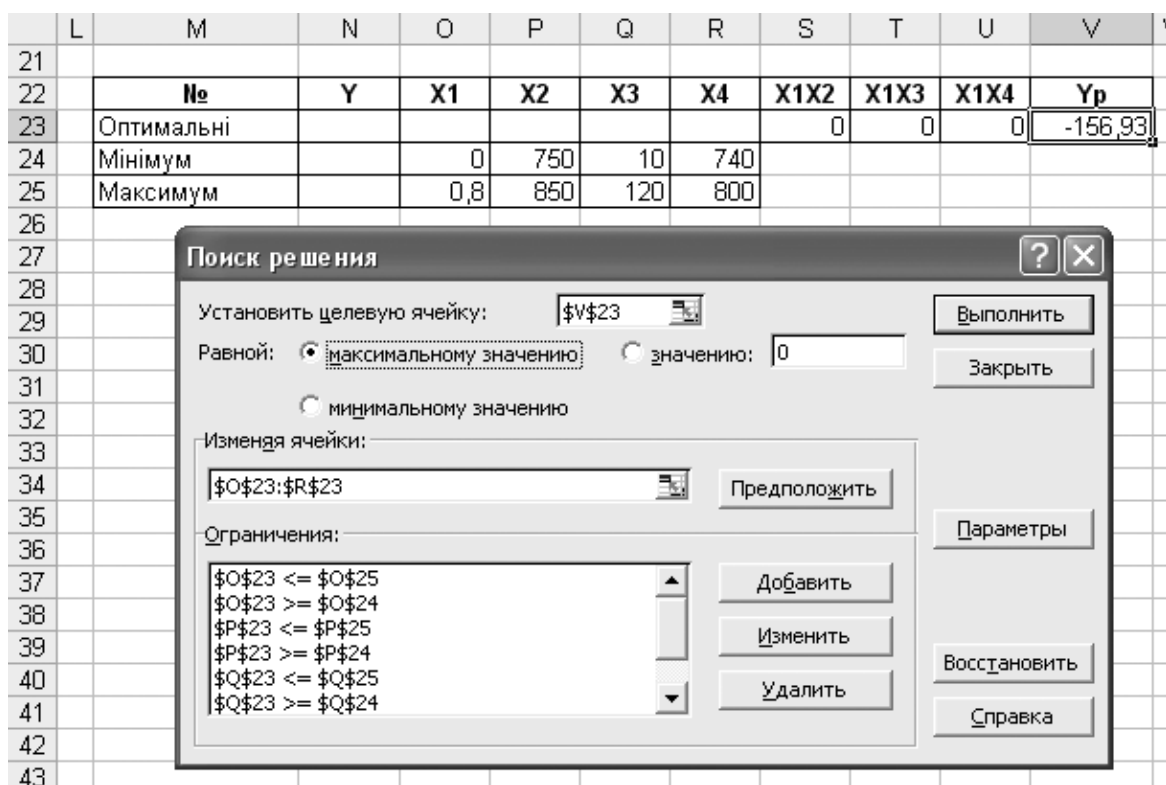


Рис.12 Меню „Пошук рішення”

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
21											
22		№	Y	X1	X2	X3	X4	X1X2	X1X3	X1X4	Yp
23		Оптимальні		0,8	750	120	800	600	96	640	209,2123
24		Мінімум		0	750	10	740				
25		Максимум		0,8	850	120	800				

Рис.13 Оптимальні параметри

Висновки

На прикладі модифікування ливарного алюмінієвого сплаву АК9ч були розглянуті етапи розрахунку багатофакторної математичної моделі за допомогою пакету аналізу MS Excel. При деяких навичках роботи на комп'ютері процес розрахунку, перевірки адекватності та оптимізації математичних моделей перетворюється на цікавий і швидкий процес.

Литература

1. Блаттнер П. Использование Microsoft Office Excel 2003. Специальное издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 594 с., ил.