

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СИМПЛЕКСНОГО ПЛАНУВАННЯ ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ОДЕРЖАННЯ ДРУКАРСЬКИХ ФОРМ ЕМУЛЬСІЙНИМ СПОСОБОМ ТРАВЛЕННЯ

Розглядається можливість застосування математичних методів планування експерименту для визначення оптимальних умов одержання друкарських форм емульсійним способом травлення в порівнянні з класичним, однофакторним методом експерименту.

Як відомо, при емульсійному травленні захист друкарських елементів здійснюють поверхнево-активні речовини (ПАР), які являють собою, наприклад, продукти сульфування касторового масла і органічний вуглеводневий розчинник. Цей процес здійснюється у спеціальній травильній машині, яка забезпечує постійність температури травильного розчину та направлену подачу розчину на пластину роторами або сопловими пристроями.

Задача визначення оптимальних умов одержання друкарських форм виникає при знаходженні нових, найбільш ефективних захисних речовин, а також оптимальних концентрацій і машинних факторів для відомих захисних речовин.

Дослідження можливості застосування нових захисних речовин для емульсійного травлення — це в основному знаходження оптимальних концентрацій складових травильних емульсії та динамічних умов, при яких одержуються кліше потрібної якості і травильні розчини є найбільш ефективними. Тому задача знаходження оптимуму є особливо актуальною.

Звичайно оптимальні параметри процесу емульсійного травлення знаходять традиційним класичним методом, коли досліди розбивають на серії і в кожній серії змінюють по одному параметру. Використовуючи цей метод, приходять до схеми, яка наводиться на рисунку.

Як видно із схеми, кількість дослідів залежить від інтервалу варіювання та числа змінних. Таку ж кількість спроб треба провести для інших досліджуваних співвідношень ПАР-вуглеводень. Крім того, кількість дослідів різко збільшується із введенням нової змінної (температура розчину, ступінь насичення розчину цинком та ін.).

Методи емпіричного пошуку оптимальних умов довгий час залишались неформалізованими.

Зовсім недавно почала розвиватися математична теорія екстремальних експериментів, яка дозволяє вибирати оптимальну «стратегію» досліджування при неповному знанні процесу. Бокс та Уільсон в 1951 р. запропонували метод пошуків, оснований на застосуванні сучасної математичної статистики при плануванні екстремальних експериментів та обробці їх результатів. При такому підході до рішення екстремальних задач експериментатор одержує математичну модель процесу.

Виходячи з апіорних відомостей про процес, експериментатор вибирає деяку оптимальну стратегію. Процес досліджування розбивається

на етапи [1, 2]. Після кожного етапу експериментатор одержує нову інформацію, яка дозволяє міняти стратегію дослідження.

На першому етапі експериментатор ставить собі завдання знаходження напрямку руху до тієї області, де умови проходження процесу оптимальні.

На другому етапі, тобто після досягнення області оптимуму, перед

ним стоїть інше завдання: одержати якнайбільше інформації про поверхню відгуку¹, для того щоб дати математичний опис процесу.

Раніше на першому етапі застосовувався метод крутого сходження, а в останній час з'явилися роботи [3, 4], в яких пропонується використовувати на цьому етапі симплексний² метод планування експериментів.

Враховуючи трудомісткість емпіричних дослідів, доцільно було застосувати замість класичного методу розв'язання задачі математичний, при якому змінюються одночасно всі фактори, що вивчаються (концентрація кислоти, концентрація захисних добавок, кількість обертів роторів та ін.), завдяки чому різко знижується об'єм експериментальної роботи та зменшуються строки її виконання.

В нашій статті використані основні теоретичні положення роботи [5].

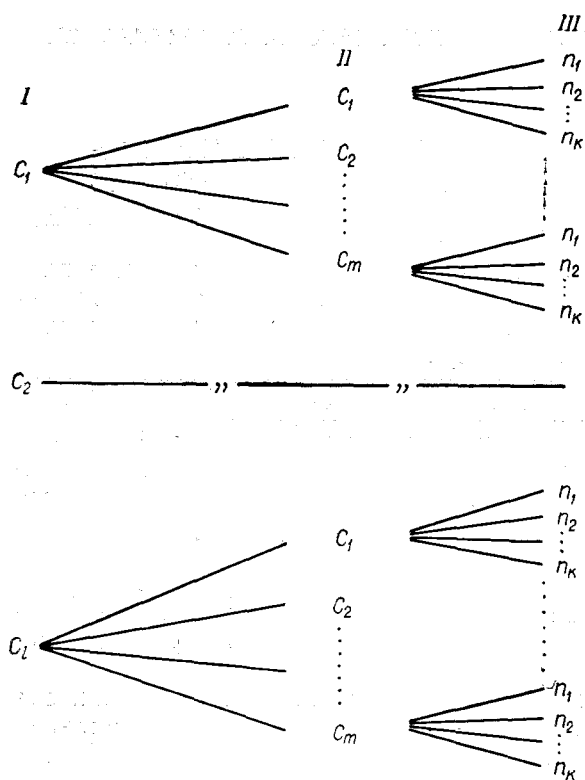


Схема проведення експериментів класичним (однофакторним) методом.

I — концентрація ПАР при певному співвідношенні з вуглеводнем; II — концентрація азотної кислоти; III — обертів роторів.

Симплексний метод планування експериментів має ряд особливостей: всі обчислення досить прості і легко виконуються; в будь-який момент можна ввести в дослідження додатковий фактор; немає потреби в дублюванні дослідів.

Дослідження з застосуванням методу симплексного планування включають такі стадії:

1. Складається план вихідної серії дослідів.
2. Після його реалізації виявляється точка (дослід), в якій одержуються найгірші результати.
3. Ця точка замінюється новою, що являє собою її «дзеркальне відображення» відносно протилежної грані³ симплексу, що спрямоване в сторону підвищення якості процесу.

¹ Геометричний образ, що відповідає функції відгуку.

² Симплекс — це сукупність $k+1$ незалежних точок, що створюють опуклу фігуру в k -мірному просторі.

³ Під гранню симплексу мається на увазі сукупність k точок k -мірного симплексу.

4. Після реалізації досліду в додатковій точці знову проводиться зіставлення результатів, щоб визначити найгіршу точку, яка також замінюється її «дзеркальним відображенням», і т. д.

Такі кроки повторюються доти, поки наступний дослід не дасть гірших результатів, ніж попередній.

Завдання використання методу симплексного планування полягає в знаходженні області оптимуму, тобто області, в якій функція відгуку приймає максимальне значення параметрів, які дають якісні результати дослідів.

Якість друкарських форм, які одержуються емульсійним способом травлення, залежить від великої кількості факторів, серед яких визначальними є властивості травлячих розчинів.

За незалежні змінні прийняті такі фактори:

α — кількість захисної речовини, *мл*;

β — кількість азотної кислоти, *мл*;

τ — співвідношення концентрації захисної речовини і концентрації вуглеводню,

а також машинний фактор:

n — число обертів роторів, *об/хв*.

Параметром оптимізації служила якість модельних форм, яка оцінювалась за а) швидкістю травлення, б) кутом нахилу грані друкуючих елементів, в) чистотою поверхні травлення. Сумарна якість кліше оцінювалась в балах по тест-еталону [6].

Об'єктом дослідження були травильні розчини з захисними речовинами, технологічні дані яких були відомі з емпіричних дослідів, та з новими захисними речовинами на базі сульфованих касторових масел, а також з захисною речовиною, яка застосовується для одержання кліше на магнієвому сплаві.

Можливість застосування методу симплексного планування для вибору оптимальних умов одержання друкарських форм показана на прикладах.

Приклад 1. Дослідження захисного препарату Д-116. Для проведення дослідів з препаратом Д-116 були прийняті постійними такі машинні фактори: а) глибина занурювання лопатей у травильний розчин — 10 *мм*; б) температура травильного розчину — 27°C; в) час травлення — 15 *хв*; г) оберти роторів — 360 *об/хв*.

Досліди проводились в травильній машині з об'ємом травильного розчину 3,5 *л*.

Дуже важливим моментом є вибір інтервалу варіювання, який експериментатор одержує апріорно або інтуїтивно, тобто вибирає граничні значення змінних, обмежуючих область, в якій будуть ставити досліди.

Звідси можна зробити висновок, що чим правильніше будуть визначені одиниці варіювання та основний рівень, тим меншу кількість дослідів буде потрібно провести для досягнення оптимальних параметрів.

Середня точка між граничними значеннями називається основним рівнем або центром планування [7].

$$x_i^0 = \frac{x_i'' + x_i'}{2}, \quad (1)$$

де x_i'' — найбільше значення змінної;

x_i' — найменше значення змінної.

Величина

$$\Delta_i = \frac{x_i'' - x_i'}{2} \quad (2)$$

називається інтервалом варіювання.

Для обчислення натурального значення змінних використовуються формули переходу.

$$X_i = \frac{x_i^1 - x_i^0}{\Delta_i}. \quad (3)$$

Тут x_i^n — натуральне значення змінної;

X_i — відповідне значення кодової змінної, взятої з вихідного плану [5]

$$\begin{bmatrix} K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ -R_1 & K_2 & \dots & K_n \\ 0 & -R_2 & \dots & K_n \\ \vdots & \vdots & & \\ 0 & 0 & \dots & -nR_n \end{bmatrix}, \quad (4)$$

причому

$$R_i = \sqrt{\frac{i}{2(i+1)}}; \quad K_i = \sqrt{\frac{1}{2(i+1)i}},$$

де $i=1,2,\dots,n$, — відповідний номер змінної.

Виходячи з відомостей про процес травлення, які були одержані раніше, були вибрані граничні значення змінних та підраховані одиниці варіювання і основний рівень (табл. 1).

Таблиця 1

Основний рівень та одиниці варіювання

Фактори	Позначення факторів	Основний рівень	Одиниці варіювання
Д-116	α	35	10
Азотна кислота	β	700	120
Д-116 : ДЕБ	τ	2,25	0,75

Практично були взяті такі граничні значення змінних:

$$\begin{array}{lll} \min - 25 \text{ мл}; & \beta \min - 580 \text{ мл}; & \tau \min - 1,5; \\ \max - 45 \text{ мл}; & \max - 820 \text{ мл}; & \max - 3,0. \end{array}$$

Основний рівень та одиниці варіювання обчислювались за допомогою формул (1), (2).

Підставляючи значення одиниць варіювання та основного рівня у (3), для нашого випадку одержуємо такі формули переходу:

$$X_1 = \frac{\alpha - 35}{10}; \quad X_2 = \frac{\beta - 700}{120}; \quad X_3 = \frac{\tau - 2,25}{0,75}. \quad (5)$$

Використовуючи числову матрицю вихідного симплексу (4) та формули (5), одержуємо матрицю вихідного симплексу в натуральних змінних (табл. 2). У цій таблиці наведені результати дослідів у точках симплексу.

Реалізувавши чотири досліді вихідного симплексу 1234 (табл. 2), бачимо, що найгірший результат одержується в точці 2. Згідно з теорією симплексного планування, замінимо дослід № 2 новим дослідом № 5, зробивши дзеркальне відображення цього експерименту. Для цього знайдемо координати центра грані, що утворюються точками 1, 3, 4⁴:

⁴ Точка 2, як найгірша, відкидається.

Таблиця 2

Результати експериментів в точках симплексу для речовини Д-116

№ досліджу	Рівні факторів			Умовне позначення симплексу	Оцінка досліджу	Ступінь насичення розчину цинком, г/л	Результати дослідів			
	α , мл	β , мл	τ ПАР:УБ				Швидк. травл., мкм/хв	Кут нахилу граней друк. елемент., град	Оцінка в балах	Примітка
1	40	734,68	2,403		найгірш. з 1345	б/н	62,60	—	0	Стравлені точки $\phi 150$, профіль грибовидний
						7—10	60,6	27	0	Профіль грибовидний. Стравлені точки $\phi 150$ мкм
2	30	734,68	2,403		найгірш. з 1234	б/н	62,0	—	0	Профіль грибовидний. Зберігаються тільки крупні елементи
						7—10	61,1	34	0	Профіль грибовидний. Стравлені точки $\phi 150$ мкм. Поверхня бугриста
3	35	665,32	2,403		найгірш. з 3456	б/н	50,0	47	0	Зберігаються всі штрихи, але тонкий штрих і т. $\phi 150$ мкм підтравлені
						7—10	45,0	31	22,0	Профіль трапец., підтравлені кінці штрихів по ширині
4	35	700,00	2,097	1234		б/н	49,3	51	0	Профіль трапец. Стравлені точки $\phi 150$ мкм окремі штрихи підтравлені
						7—10	44,3	20	27,5	Профіль трапец. Стравлені точки $\phi 150$ мкм
						б/н	50,0	32	35,0	Якість в границях норми
5	43,2	665,32	2,199	1345	оптим. парам.	7—10	51,0	29	35,0	„„
6	35,4	619,08	2,063	3456		б/н	57,1	10	0	Стравлені окремо розташовані точки
						7—10	49,4	16	32	Якість в границях норми
7	35,6	657,60	1,835	4567		б/н	45,0	—	0	Профіль грибовидний. Стравлені тонкі штрихи і точки
						7—10	44,6	—	0	Друкуючі елем. підтравлені

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{40 + 35 + 35}{3} = 36,6;$$

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{734,68 + 665,32 + 700}{3} = 700;$$

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2,403 + 2,403 + 2,097}{3} = 2,301.$$

Тоді координати п'ятого досліді будуть мати вигляд:

$$\alpha_5 = 2 \cdot 36,6 - 30 = 43,2;$$

$$\beta_5 = 2 \cdot 700 - 734,68 = 665,32;$$

$$\tau_5 = 2 \cdot 2,301 - 2,403 = 2,199.$$

Провівши дослід № 5 в знайдених координатах, отримуємо кліше, якість яких порівнюємо з кліше, отриманими в досліді № 1, 3, 4. Кліше експерименту № 5 за своєю якістю відповідає поставленим технологічним вимогам.

З метою перевірки припущення оптимальності знайдених умов травлення в досліді № 5 були визначені координати точок 6 та 7. Експеримент № 6 також дає кліше задовільної якості, але, як видно із порівняння дослідів № 5 та № 6, має гірші показники.

Якість кліше наступного досліді (№ 7) не відповідає технологічним вимогам. Отже, склад травильного розчину досліді № 5 знаходиться в оптимальній зоні.

Таким чином, для знаходження оптимальних параметрів в цьому випадку необхідно було провести сім⁵ експериментів.

Приклад 2. Дослідження експериментально-промислової партії захисної речовини МКС-І-68, одержаної на Іванівському хімічному заводі. В цьому прикладі знову за незалежну змінну приймаємо концентрацію компонентів травильного розчину і додаємо нову змінну — число обертів роторів (n). Температуру травильного розчину і час травлення вважаємо сталими (табл. 3).

Таблиця 3

Основний рівень та одиниці варіювання

Фактори	Позначення факторів	Основний рівень	Одиниці варіювання
МКС-І-68	α	82,50	28,9
Азотна кислота	β	1500	257,0
МКС-І-68 : УВ	τ	2,80	1,25
Число обертів роторів	n	325	50,0

Досліди проводились в двороторній травильній машині з робочим об'ємом травильного розчину 7,5 л.

Аналізуючи результати дослідів (табл. 4), бачимо, що в ненасиченому цинком розчині досліді № 4 одержуємо кліше, які задовольняють поставленим вимогам. Подібні результати травлення маємо в ненасичених розчинах дослідів № 5 та № 6. Але, порівнюючи якість кліше в розчинах при насиченні цинком 40—47 г/л з результатами 4-го досліді при тому ж насиченні, виявляємо, що параметри 4-го експерименту є оптимальними.

⁵ Травлення проводили в ненасичених цинком розчинах і при насиченні 7—10 г/л.

Таблиця 4

Результати дослідів для речовини МКС-І-68

№ досліді	Рівні факторів				Умовне позначення симплексу	Оцінка досліді	Ступінь насичення розчину цинком, г/л	Результати дослідів			
	α , мл	β , мл	τ ПАР:УВ	n , об/хв				Швидкість травлення, мкм/хв	Кут нахилу друк. елем., град	Оцінка в балах	Примітка
1	95,43	1584,26	3,0448	382,9		найгірший із 12456	б/н	51,33	—	0	Стравлені штрихи 0,1—0,5 мм, профіль грибовидний
							40—47	37,33	35	22	Якість задовільна
2	68,57	1584,26	3,0448	382,9			б/н	56,00	—	0	Стравлені штрихи 0,1—0,25 мм, профіль грибовидний
							40—47	36,00	36	20	Якість задовільна
3	82,50	1351,40	3,0448	382,9		найгірший із 12345	б/н	56,00	—	0	Стравлені штрихи 0,1—0,25 мм, сильне підтрав. осн. штрихів
							40—47	29,33	37	0	Растрові точки підтравлені
4	82,50	1490,00	2,0556	346,6		оптимальні параметри	б/н	48,00	38	39	Якість в границях норми
							40—47	34,00	35	28,5	Якість в границях норми
5	82,50	1490,00	2,8000	343,6	12345		б/н	52,00	27	35,0	Профіль зернистий
							40—47	41,33	39	6,0	Розсип в основі штрихів
6	82,50	1523,00	2,4278	343,6	12456		б/н	52,66	22	31,0	Профіль зернистий
							40—47	—	32	25,0	Якість задовільна
7	82,50	1459,36	2,2194	355,9	24567		б/н	42,33	12	0	Стравлений штрих 0,25, профіль грибовидний
							40—47	27,66	—	0	Стравлений тонкий (0,1) штрих

Таким чином, для визначення оптимальних умов травлення із захисною речовиною МКС-І-68 необхідно було провести сім дослідів.

Застосовуючи класичну схему визначення оптимальних умов для одержання друкарських форм з врахуванням максимального використання травильного розчину, необхідно скласти шість ванн і провести в них 72 досліди. Крім того, такі досліди проводяться тільки при одному наперед заданому насиченні травильного розчину.

Для проведення такої кількості дослідів необхідно було б затратити шість робочих днів (без врахування можливих похибок). Із схеми також видно, що при дослідженні кожної концентрації ПАР, з проведенням експериментів при чотирьох значеннях обертів роторів та трьох концентраціях кислоти, кількість дослідів збільшується на 12, а при дослідженні впливу ще одного співвідношення ПАР : УВ кількість експериментів зростає до 144.

Застосовуючи метод симплексного планування, оптимальні умови одержання краще можна знайти з меншою затратою робочого часу. Так, для знаходження оптимуму необхідно було провести 6—7 дослідів із досліджуваними речовинами, на що затрачувалось щонайбільше два робочі дні. Крім того, цей метод дозволяє визначити якість краще в ненасиченому розчині, а також при будь-якому бажаному насиченні травильного розчину.

Враховуючи переваги цього методу і те, що він дозволяє досягати області оптимуму з самокоректуванням досліджень, можна ствердити, що він є значно ефективнішим в порівнянні з однофакторним методом.

На підставі наведених прикладів можна зробити висновок, що симплексний метод планування можна застосовувати для знаходження оптимальних параметрів одержання друкарських форм емульсійним способом травлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. В. В. Налимов. Успехи химии. 29, № 11, 1362, 1960.
2. В. В. Налимов. Статистические методы описания химических и металлургических процессов. Металлургиздат, М., 1963.
3. W. Spendley, G. R. Hext, F. R. Himsworth. Technometrics, 4, 441, 1962.
4. F. R. Himsworth. Trans. Inst. Chem. Eng., 40, N 6, 345, 1962.
5. В. Г. Горский, В. З. Бродский. Заводская лаборатория, 31, № 7, 831, 1965.
6. П. Л. Пашуля, А. П. Грабаровська. «Поліграфія», № 5, 1969.
7. Л. П. Рузинов. Регрессионный анализ и статистическое планирование экспериментов. М., 1966.

P. PASHULA, L. SHELUDKO, A. GRABAROVSKAJA

ON THE APPLICATION OF SIMPLEX DESIGN METHOD FOR THE DETERMINING OF OPTIMUM CONDITIONS OF POWDERLESS ETCHED PRINTING FORMS MANUFACTURE

Summary

The possibility of the application of simplex design method for the determining the optimum conditions of powderless etched printing forms manufacture is shown. The comparison with the classic one-factor method is made.

The application of simplex design method in the concrete cases is shown.
