

УДК 675.026.2

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЖИРУВАЛЬНО-НАПОВНЮВАЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ШКІРЯНОГО НАПІВФАБРИКАТУ

О.Р. МОКРОУСОВА, А.Г. ДАНИЛКОВИЧ

Київський національний університет технологій та дизайну

*Шляхом математичного планування та багатокритеріальної оптимізації досліджено вплив емульсій природних жирів, що стабілізовані модифікованими дисперсіями бентоніту, на експлуатаційні властивості отриманих шкір. Визначено оптимальний склад жирувально-наповнювальної композиції для емульсійного жирування шкіряного напівфабрикату*

Одним з перспективних напрямків підвищення економічності та екологічності підприємств є сьогодні розширення асортименту технологічних матеріалів для обробки шкіряного напівфабрикату шляхом використання відходів шкіряного виробництва. Наразі отримання яловичого жиру як побічного продукту під час переробки недублених колагенвмісних відходів з сировини великої рогатої худоби (міздрі, кантувальної обрізі тощо) створило передумови розробки композиції для емульсійного жирування шкіряного напівфабрикату. Питання стабілізації та підвищення агрегативної стійкості емульсій жирувальних речовин було вирішене шляхом застосування модифікованих дисперсій бентоніту [1, 2]. Модифікація бентоніту аніонними поверхнево-активними речовинами (АПАР) викликає просторове структуроутворення в мінеральній дисперсії за рахунок взаємодії гідрофільних радикалів АПАР з катіонзарядженими ребрами частинки бентоніту. Така мінеральна дисперсія має властивості твердого емульгатору і в процесі подальшої взаємодії з жирувальними матеріалами обумовлює утворення просторової жирувально-мінеральної структури, чим пояснює суттєве підвищення агрегативної стійкості. Виконання емульсійного жирування шкіряного напівфабрикату отриманою композицією дозволяє сумістити процес жирування та мінерального наповнювання. Але залишається невирішеним питання визначення оптимального складу жирувально-наповнювальної композиції з метою отримання готової шкіри з високими експлуатаційними властивостями.

Серед раціональних способів оптимізації хіміко-технологічних процесів з кількома вхідними змінними є багатокритеріальний метод, який оснований на узагальненій функції бажаності за отриманими поліноміальними моделями [3]. На відміну від існуючих раніше підходів до планування експерименту з використанням системи автоматичного планування і обробки експериментальних даних [4, 5], що не дає аналізу в компромісній ділянці, багатокритеріальна оптимізація дозволяє отримати значення параметрів технологічного процесу, які відповідають компромісним та бажаним значенням вихідних змінних.

### **Об'єкти та методи дослідження**

Об'єктом дослідження є процес емульсійного жирування шкіряного напівфабрикату з метою встановлення оптимального складу жирувально-наповнювальної композиції. Предметом дослідження є встановлення впливу складу емульсій природних жирів, стабілізованих модифікованими дисперсіями бентоніту, на властивості отриманого шкіряного напівфабрикату.

Відомо, що введення в шкіру жирувальних речовин сприяє підвищенню м'якості, пластичності, водостійкості готових виробів. В емульсійному способі жирування це досягається шляхом змащування структурних елементів дерми жирувальними речовинами. Дифузія та рівномірне розподілення

жирувальних речовин в структурі дерми обумовлює зменшення жорсткості готових шкір, підвищення їх виходу за площею та межі міцності при розтягуванні. В зв'язку з цим при плануванні експерименту для дослідження ефективності емульсійного жирування шкіряного напівфабрикату жирувально-наповнювальним складом вхідними змінними були:

$X_1$  – витрата жиру, % від маси струганого напівфабрикату;

$X_2$  – витрата модифікованого бентоніту, % від маси жиру;

$X_3$  – витрата АПАР, % від маси жиру.

Як жирувальні речовини було використано суміш природних жирів та масел, а саме: яловичого жиру, соняшникової олії та риб'ячого жиру у співвідношенні, мас. %: 20, 35, 45 [2].

Ефективність використання жирувально-наповнювального складу оцінювали за вихідними параметрами:

$y_1$  – вихід шкіри за площею, % від площі напівфабрикату;

$y_2$  – загальний вміст жиру в шкірі, %;

$y_3$  – жорсткість, Н/м;

Показник загального вмісту жиру в готовій шкірі визначали як суму показника зв'язаного жиру та речовин, що екстрагуються органічними речовинами [6].

Показники межі міцності при розтягуванні та жорсткість визначали за ГОСТ 938.11–69.

Похибка у разі визначення фізико-механічних властивостей не перевищувала – 5 %, показника хімічного складу – 3 %.

Для досліджень ефективності використання розроблених жирувальних емульсій в технологічному процесі було скомплектовано 20 дослідних груп по 7 зразків в кожній розміром 100×150 мм з напівфабрикату бичини легкої хромового методу дублення товщиною 1,7-1,8 мм після стругання, отриманого за діючої технологією ЗАТ «Чинбар», м. Київ.

Для планування процесу емульсійного жирування шкіряного напівфабрикату та оптимізації складу жирувально-наповнювальної композиції використано центрально-композиційний рототабельний план (ЦКРП), а пошук оптимального проведення процесу здійснено за функцією бажаності запропонованої Харингтоном.

Модельовання процесу «технологія-властивість» в  $k$ -факторному просторі проведено шляхом використання моделі 2 порядку вигляду [7]:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_i x_i^2 \quad (1)$$

Для отримання наведеної моделі (1) використано ЦКРП, що запропоновано Боксом-Хантером. В основу цього плану покладено повний факторний експеримент типу  $2^k$ , який після реалізації добудований до 2 порядку з 6 експериментальними точками у центрі плану і зірковим плечем 1,682 (табл. 1).

Статистична обробка моделі (1) передбачає перевірку значущості та її складових, виключення їх у разі незначущості з наступним перерахунком значень коефіцієнтів, що залишилися, і перевіркою адекватності моделі.

Таблиця 1. План ЦКРП 2-го порядку в кодованій формі

Фактор	Експериментальна точка																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_1$	-	+	-	+	-	+	-	+	$-\alpha$	$+\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_2$	-	-	+	+	-	-	+	+	0	0	$-\alpha$	$+\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_3$	-	-	-	-	+	+	+	+	0	0	0	0	$-\alpha$	$+\alpha$	0	0	0	0	0	0

Відповідно до плану знаком “+” і “-” позначено рівні: верхній +1 і нижній -1.

Для перевірки значущості коефіцієнтів математичної моделі (1) знайдено відношення  $t\{b_j\}$  абсолютного значення коефіцієнту  $b_j$  до його похибки знаходження  $s\{b_j\}$ , і, порівнюючи його з теоретичним критерієм, прийнято рішення про значущість коефіцієнту. В математичній статистиці доведено, що кожне з таких відношень є випадковою величиною, котра має  $t$ -розподіл Стьюдента. Тому для перевірки гіпотези про значущість коефіцієнта  $b_j$  кожне з розрахованих відношень  $t\{b_j\}$  порівняно з теоретичним<sup>1</sup> значенням  $t_{табл}[q, f]$ , і якщо виконується умова:

$$t\{b_j\} = \frac{|b_j|}{s\{b_j\}} > t_{табл}[q\%, f] \quad (2)$$

то коефіцієнт  $b_j$  визнається значущим.

Похибка знаходження коефіцієнту  $s\{b_j\}$  розрахована за формулою:

$$s\{b_j\} = \sqrt{s^2\{b_j\}} = \sqrt{d_{jj} s_{експ}^2}, \quad (3)$$

Де  $s^2\{b_j\}$  – дисперсія<sup>2</sup> знаходження коефіцієнта  $b_j$ ;  $d_{jj}$  – відповідний діагональний елемент дисперсійної матриці  $D$ ;  $s_{експ}^2$  – дисперсія відтворюваності експерименту, яка в позначеннях  $y$  розрахована за формулою:

$$s_{експ}^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (4)$$

Адекватність моделі (1) визначається за формулою:

$$F_p = \frac{s_{ад}^2}{s_{експ}^2} \leq F_{табл}[q\%, f_{ад}, f_{експ}], \quad (5)$$

$$\text{де } s_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-l}; f_{y-\bar{y}} = n-1; f_{ад} = n-l; s_{експ}^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2.$$

Для оптимізації складу, котрий характеризується  $m$  показниками якості, використана функція бажаності  $\Phi$ :

$$\Phi = \sqrt[m]{d_1 d_2 \dots d_m} \quad (6)$$

<sup>1</sup> знаходять за таблицею розподілу Стьюдента

<sup>2</sup> квадрат похибки

де  $d_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) – часткова функція бажаності  $i$ -того показника якості  $y_i$ , яка приймає значення з інтервалу  $[0; 1]$  і визначена за залежністю:

$$d_i = \exp[-\exp(-y'_i)] \quad (7)$$

де  $y'_i$  – безрозмірне значення показника якості  $y_i$ , що визначається, зазвичай, за лінійною залежністю:

$$y'_i = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i \quad (8)$$

Коефіцієнти  $b_0^{(i)}, b_1^{(i)}$  залежностей (8) визначено із системи рівнянь:

$$\begin{cases} y_i^{\text{гірше}} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{гірше}} \\ y_i^{\text{краще}} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{краще}} \end{cases}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

де  $y_i^{\text{гірше}}, y_i^{\text{краще}}$  – відповідно найгірше і найкраще значення критерію якості  $y_i$ , відповідно зменшити або збільшити яке далі не є можливим за причиною технологічного характеру і яке встановлюється експериментатором;  $y_i^{\text{гірше}}, y_i^{\text{краще}}$  – найгірше і найкраще значення безрозмірного критерію якості, що визначається на підставі (7) за формулами:

$$y_i^{\text{гірше}} = -\ln(-\ln d_{\text{гірше}}), \quad y_i^{\text{краще}} = -\ln(-\ln d_{\text{краще}}) \quad (10)$$

де  $d_{\text{гірше}}$  і  $d_{\text{краще}}$  – відповідно гірше і краще значення часткових функцій бажаності (7), які, зазвичай, приймають на практиці відповідно 0.2 і 0.8.

Максимум функції бажаності  $\Phi$ , побудованої за (6), відповідає оптимальному складу  $\bar{x}^{\text{opt}}$ , який має найкращі компромісні значення показників якості  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ).

Попередні дослідження впливу складових жирувально-наповнювальної композиції на вихідні змінні дають можливість встановити область постановки експерименту. При цьому центр плану знаходився в точці з координатами  $X_1, X_2, X_3$ , відповідно, 9, 20, 25 та інтервалами варіювання – 3, 9, 5.

Ці плани дають можливість отримувати інформацію під час вивчення процесу у вигляді регресійних рівнянь, які використовуються для пошуку оптимуму. При цьому найбільш вдалим способом вирішення задачі оптимізації процесів з великою кількістю відгуків є використання запропонованого Харингтоном узагальненого критерію оптимізації отриманого на основі часткових функцій бажаності, яку і застосовували для багатокритеріальної оптимізації при розробці процесу емульсійного жирування.

#### **Постановка завдання**

Мета роботи полягала в оптимізації процесу емульсійного жирування шкір з встановленням витрат окремих інгредієнтів жирувально-наповнювальної композиції.

#### **Результати та їх обговорення**

Результати поставленого експерименту за планом таблиці 1 з врахуванням центра плану та інтервалів варіювання наведено в таблиці 2.

Результати комп'ютерних розрахунків, похибки експерименту, значущість коефіцієнтів отриманих регресійних рівнянь та адекватність їх експериментальним даним наведено в табл. 3, 4 та 5.

Оскільки розрахункові значення критерію Фішера є меншими за їх табличні значення (за рівня значущості 0,05) отримані моделі адекватно описують досліджений процес емульсійного жирування шкіряного напівфабрикату.

Таблиця 2. Результати експерименту та отриманні вихідні змінні

Вихідні змінні	Експериментальна точка																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$y_1$	100,1	104,7	106,5	106,8	103,0	106,1	105,0	106,0	102,0	105,7	101,9	104,3	105,0	106,1	105,9	105,8	105,1	105,1	105,6	105,4
$y_2$	2,9	6,3	4,6	8,7	3,9	7,3	4,7	8,6	2,6	8,9	3,8	6,6	6,3	6,6	6,1	6,4	6,2	6,5	6,3	6,2
$y_3$	17,0	18,5	19,0	21,0	17,5	18,5	20,0	21,5	16,5	20,0	17,0	19,0	17,0	18,0	19,5	20,0	19,0	19,0	20,0	19,0

Таблиця 3. Коефіцієнти і розрахункові значення критерію

$b_{ij}$	Модель – $y_1$		Модель – $y_2$		Модель – $y_3$	
	$B_{ij}$	$t_p$	$B_{ij}$	$t_p$	$B_{ij}$	$t_p$
$b_0$	105,46	735,82	6,28	104,61	19,455	262,96
$b_1$	1,1146	12,008	1,8595	46,685	-1,4465	25,014
$b_2$	1,0571	11,388	0,79879	20,055	-1,536	26,563
$b_3$	0,28191	3,0371	0,18339	4,6042	-0,42902	7,4191
$b_{12}$	-0,8	6,5964	0,15	2,8823	–	–
$b_{13}$	–	–	-0,025	0,48038	0,25	3,3089
$b_{23}$	-0,825	6,8026	-0,25	4,8038	0,25	3,3089
$b_{11}$	-0,43224	4,7836	-0,16655	4,2953	1,0067	17,972
$b_{22}$	-0,69741	7,7181	-0,361	9,3103	0,88292	15,763
$b_{33}$	0,16879	1,868	0,080938	2,0874	–	–

Таблиця 4. Визначення адекватності моделі експериментальним даним

Моделі	$y_1$	$y_2$	$y_3$
Похибка експерименту – $s^2_{експ}$	0,11767	0,021667	0,045667
Критерій Стьюдента табличний – $t_T(5, 5\%)$	2,57	2,57	2,57
Дисперсія адекватності – $s^2_{ад}$	0,559	0,027	0,1739
Критерій Фішера розрахунковий – $F_p$	4,7579	1,2751	3,8087
Критерій Фішера табличний – $F_T(f_{ад}, f_0, 5\%)$	4,9503(6;5)	5,0503(5;5)	4,87599(7;5)

Після реалізації такого факторного експерименту отримано математичні моделі для кожної вихідної змінної, які адекватно описують процес емульсійного жирування хромового напівфабрикату і мають такий вигляд:

$$\hat{y}_1 = +105,46 + 1,1146x_1 + 1,057x_2 + 0,28191x_3 - 0,8x_1x_2 - 0,825x_2x_3 - 0,43224x_1^2 - 0,69741x_2^2 + 0,16879x_3^2$$

$$\hat{y}_2 = +6,28 + 1,8595x_1 + 0,79879x_2 + 0,18339x_3 - 0,15x_1x_2 - 0,025x_1x_3 - 0,25x_2x_3 - 0,16655x_1^2 - 0,361x_2^2 + 0,080938x_3^2$$

$$\hat{y}_3 = +19,455 - 1,4465x_1 - 1,536x_2 - 0,42902x_3 + 0,25x_1x_3 + 0,25x_2x_3 + 1,0067x_1^2 + 0,88292x_2^2$$

де  $\hat{y}_i$  – прогнозовані значення вихідної змінної за  $j$ -ю моделлю.

Отримані моделі використано для пошуку оптимального режиму процесу жирування-наповнювання шкіряного напівфабрикату. Оптимальний режим отримано з методом сканування з кроком 0,01 в межах  $-1,68 \dots +1,68$ .

Значення функції бажаності в оптимальній точці дорівнює 0,83252, кількість обчислень значень функції – 39304 разів.

Таблиця 5. Відповідність моделей експериментальним даним

№	$y_1$	$\hat{y}_1$	$y_2$	$\hat{y}_2$	$y_3$	$\hat{y}_3$
1	100,1	100,42	2,9	2,8666	24,8	25,256
2	104,7	104,25	6,3	6,3357	22,1	21,863
3	106,5	105,79	4,6	4,6642	21,5	21,684
4	106,8	106,42	8,7	8,7333	18,2	18,291
5	103	102,64	3,9	3,7834	23	23,398
6	106,1	106,46	7,3	7,1525	21,4	21,005
7	105	104,7	4,7	4,581	20,8	20,826
8	106	105,33	8,6	8,5501	18,4	18,433
9	102	102,36	2,6	2,6815	25,3	24,735
10	105,7	106,11	8,9	8,9362	19,5	19,869
11	101,9	101,71	3,8	3,9155	24,6	24,535
12	104,3	105,27	6,6	6,6023	19,5	19,369
13	105,0	105,46	6,3	6,2005	20,5	20,176
14	106,1	106,41	6,6	6,8173	18,8	18,733
15	105,9	105,46	6,1	6,28	19,1	19,455
16	105,8	105,46	6,4	6,28	19,7	19,455
17	105,1	105,46	6,2	6,28	19,4	19,455
18	105,1	105,46	6,5	6,28	19,3	19,455
19	105,6	105,46	6,3	6,28	19,4	19,455
20	105,4	105,46	6,2	6,28	19,6	19,455

Стабілізуючи один фактор на оптимальному рівні, а вихідні змінні в діапазоні їх технологічних значень від мінімуму до максимуму можна отримати компромісну ділянку, будуючи ізолінії функції бажаності – оптимальну ділянку ведення процесу.

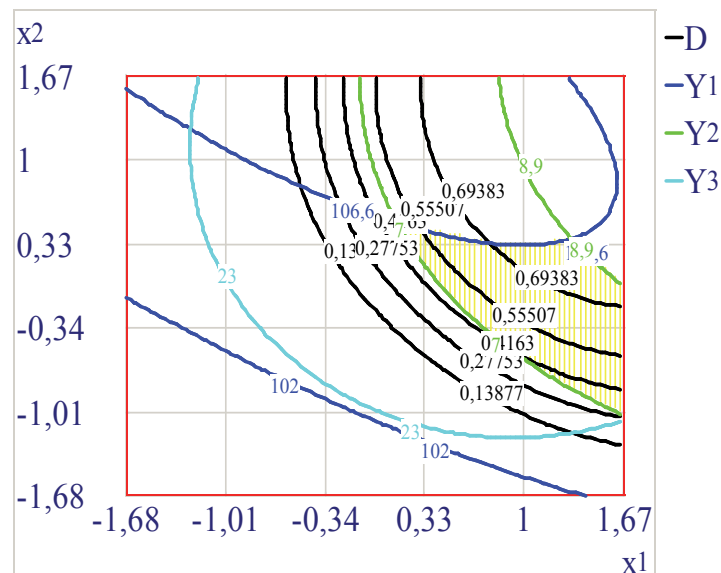


Рис. 1. Оптимальна витрата матеріалів для жирування-наповнювання шкіряного напівфабрикату

Так, якщо фактор  $x_3$  стабілізований на рівні  $-1,68$ , що є оптимальним, то ділянка наведена на рис.1 передбачає витрату матеріалів в оптимальному режимі. При цьому вектор керування технологічним процесом знаходиться в точці з координатами:  $x_1 = 1,32$ ,  $x_2 = 1,22$ , що в натуральних величинах становить  $X_1 \approx 7,8\%$  від маси напівфабрикату,  $X_2 \approx 23,5\%$  та  $X_3 \approx 16,5\%$  від маси жиру.

**Висновки**

В результаті проведених досліджень отримано оптимальний склад жирувально-наповнювальної композиції для шкіряного напівфабрикату. Використання методу багатокритеріальної оптимізації дозволило визначити раціональні параметри процесу жирування-наповнювання напівфабрикату композицією, що містить яловичий жир, соняшникову олію та риб'ячий жир у масових співвідношеннях 1:1,75:2,25, модифікований бентоніт і аніонну поверхнево активну речовину в кількостях, відповідно, 7,8 % від маси напівфабрикату, 23,5 % та 16,5 % від маси жирувальних речовин. При цьому вихід за площею має значення 106,8 %, загальний вміст жиру в шкірі – 9,6 %, жорсткість шкіри - 18,4 Н/м.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Мокроусова О.Р., Смаховскі К. Високодисперсні мінерали як емульгатори природних жирів та олій в емульсійному жируванні шкір // Вісник Хмельницького університету. – 2008. – № 6. – с. 172-176.
2. Мокроусова О.Р., Олійник М.М. Склад для обробки шкіряного напівфабрикату // Патент на КМ 23194. Україна. № u200613912; Заявл. 27.12.2007; Опубл. 10.05.2007, Бюл. №6.
3. Ліщук В.І., Войцеховська Т.Г., Данилкович А.Г. Використання багатокритеріальної оптимізації для визначення оптимальної ділянки процесу зоління /Легка промисловість. – 2007. – № 1. – с. 37–39.
4. Статюха Г.А., Брус А.В., Земляк Е.М. Система автоматического планирования и обработки экспериментов на СМ ЭВМ. – В кн.: САПР и АСУ ТП в химической промышленности. – Черкаassy. – 1987. – 98 с.
5. Лищук В.И., Данилкович А.Г., Журавский В.А. Влияние основных параметров отмочно-зольных процессов на качество голя // Изв. ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1990. – № 4. – с. 36–39.
6. Данилкович А.Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра. 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Фенікс. – 2006. – 340 с.
7. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа. – 1985. – 327 с.

Надійшла 08.06.2010

УДК 675. 6.026

**МОЖЛИВОСТІ КОЛОРУВАННЯ НАТУРАЛЬНОГО ХУТРА  
ДЛЯ ІННОВАЦІЙ ДИЗАЙНУ ГОТОВОГО ВИРОБУ**

О.П. КОЗАРЬ, О.М. ДУПИН

Мукачівський державний університет

*В статті представлені дослідження по відновленню споживчих властивостей та подовження терміну експлуатації готових хутрових виробів шляхом трафаретного фарбування в умовах підприємств побутового обслуговування та хімчисток*

На сьогоднішній день вироби зі шкіри, оздоблені натуральним хутром, користуються великим попитом серед споживачів, оскільки крім прекрасних декоруючих властивостей, хутро є ознакою смаку і вишуканості його власника.