

## ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ НАПОВНЮВАЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ШКІР

\*Данилкович А. Г., Сангінова О. В.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА НАПОЛНИТЕЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОЙ КОЖИ

\*Данилкович А. Г., Сангинова О. В.

## OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF SUPPLEMENT COMPOSITION FOR SUPPLE LEATHER MANUFACTURING

\*Danylkovych A., Sanginova O.

\*Київський національний університет технологій та дизайну  
[ag101@ukr.net](mailto:ag101@ukr.net)

КПІ ім. Ігоря Сікорського  
[olga.sanginova@gmail.com](mailto:olga.sanginova@gmail.com)

*Дослідження впливу складу композиції на технологічні властивості шкіри полягає у використанні математичної моделі для чотирьохінгредієнтної системи, розробленні багатопотокової програми за методом Макліна-Андерсона з врахуванням виду моделі, визначенні експериментальних складів композиції за критерієм D-оптимальності. Оптимальний склад розробленої композиції устанавлюється при максимумі функції бажаності, який відповідає найкращим компромісним значенням споживних показників шкіри – об'ємний вихід матеріалу, його жорсткість та уявна питома маса.*

**Ключові слова:** метод Макліна-Андерсона, синтез плану, наповнювальна композиція, оптимізація складу, шкіра

*Исследование влияния состава композиции на технологические свойства кожи заключается в использовании математической модели для четырехингредиентной системы, разработке многопоточной программы по методу Маклина-Андерсона с учетом вида модели, определении экспериментальных составов композиции по критерию D-оптимальности. Оптимальный состав разработанной композиции устанавливается при максимуме функции желательности, который соответствовал лучшим компромиссным значением потребительских показателей кожи - объемный выход материала, его жесткость и мнимая удельная масса.*

**Ключевые слова:** метод Маклина-Андерсона, синтез плана, наполнительная композиция, оптимизация состава, кожа

*The study of the impact of the composition on the technological properties of the leather is to use a mathematical model for the four incident system, the development of a multi-threaded program by the Mclean-Anderson algorithm, taking into account the type of model, the determination of the experimental composition according to the criterion of d-optimality. The optimal composition of the developed composition is established at the maximum of the*

*Harrington's desirability function, which corresponds to the best compromise value of the leather indices - the volume output of the material, its rigidity and the apparent specific mass.*

**Keywords:** *Mclean-Anderson algorithm, plan of experiment, filling composition, composition optimization, leather*

## 1. Вступ

Сучасні вимоги до ефективних технологій виробництва різних матеріалів, у тому числі шкіряних високої якості, в першу чергу передбачають оптимізацію складу технологічних систем з використанням методів комп'ютерного моделювання. У процесі формування еластичних матеріалів різного призначення процес наповнювання відіграє особливо важливе значення, оскільки склад композиції та її вміст у матеріалі в значній мірі визначають властивості отриманого готового матеріалу.

При математичному моделюванні технологічних композицій «склад-властивості» використовуються такі методи як симплексно-граткові (плани Шефе), симплексно-центроїдні та D-оптимальні плани [1]. Однак, на практиці частіше зустрічаються композиції в яких неможлива зміна компонентів в межах значень 0–1, тому в таких випадках застосовують методи з накладанням обмежень на інгредієнти складу: метод Макліна-Андерсона, синтез D-оптимальних планів, метод псевдокомпонентів [2]. Прямий синтез плану експерименту за теорією В. В. Федорова [3] не завжди дає можливість визначити експериментальну ділянку зміни вмісту інгредієнтів композиції, що свідчить про неоптимальність методу.

Симплексно-гратковий метод у псевдо компонентах, застосований для оптимізації вмісту нанодобавки кремнезем-срібло у складі поліпропіленових волокон з використанням критерію Харингтона [4]. При цьому розроблена математична модель «склад-властивості» модифікованих монониток дала можливість визначити оптимальний склад композиції поліпропілен-бінарна нанодобавка, яка забезпечує високу механічну міцність ниток та їх бактерицидну здатність. Незважаючи на те, що цей метод дозволяє геометрично визначити оптимальну ділянку складу композиції, але при заданих обмеженнях на інгредієнти суміші й втраті множини точок неможливо визначитись з експериментальною ділянкою, яка має бути подібною симплексу.

У роботі [5] застосовано методи штрафних функцій і градієнтний для оптимізації чотирикомпонентної полімерної композиції при формуванні ультратонких нановолокон з високими експлуатаційними властивостями. При цьому автором моделюється лише одна властивість композиції. Слід відзначити, що в більшості відомих робіт з оптимізації складу композиційного матеріалу з використанням математичного моделювання задача вирішується на основі однієї з їх властивостей. Однак, враховуючи складний і навіть суперечливий характер залежностей в системі властивостей від вмісту інгредієнтів слід відзначити, що при оптимізації складу наповнювальної композиції шкіряного напівфабрикату для отримання більш об'єктивних даних необхідно використовувати декілька вихідних чинників.

Таким чином, з наукової та прикладної точки зору суттєвий інтерес може мати встановлення оптимального складу чотирьохінгредієнтної композиції при модифікації методу Макліна-Андерсона для моделювання системи «склад-властивості». При цьому для моделювання композиції необхідно синтезувати оптимальний план експерименту з обмеженнями на інгредієнти.

## 2. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є оптимізація складу наповнювальної композиції для виготовлення еластичних шкір з напівфабрикату хромового дублення шкір свиней. Для реалізації цієї мети поставлені наступні задачі: синтез плану експерименту «склад наповнювальної композиції – властивості шкіряного матеріалу» за методом Макліна-Андерсона; аналіз отримання адекватної математичної моделі експерименту на основі експериментальних даних та встановлення оптимального складу наповнювальної композиції.

## 3. Метод і об'єкт дослідження

У роботі використано модифікований метод Макліна-Андерсона, який враховує вид математичної моделі «склад наповнювальної композиції – властивості шкіряного матеріалу» з врахуванням функції бажаності. Для дослідження процесу наповнювання шкіряного напівфабрикату використали композицію з інгредієнтами  $i$ : 1) кополімер екзополісахариду бактеріального походження ТУ У 88-105-002-2000 – ксантан модифікований акриламідом ТУ 6-01-1049-92 (ЕПАА-М) [6] (Україна); 2) препарат *Trupotan AG* фірми Трумплер (Німеччина) на основі модифікованого рослинного екстракту і пірокатехіну; 3) кополімер *Tergotan PMB* фірми Кларіант (Польща) на основі синтетичних і натуральних реагентів; 4) екстракт квебрахо (Китай). При цьому на основі попередніх досліджень [7] встановлені можливі інтервали витрат інгредієнтів наповнювальної композиції (табл. 1) для процесу наповнювання.

Таблиця 1. Обмеження інгредієнтів наповнювальної композиції

$i$	Межі зміни інгредієнтів композиції, в значеннях			
	натуральних $X_i$		кодованих $x_i$	
	$min$	$max$	$min$	$max$
1	2	6	0.17	0.52
2	1	3	0.09	0.26
3	1	3	0.09	0.26
4	2	5	0.17	0.43

Примітка.  $i$  – порядковий номер інгредієнту композиції; натуральні інгредієнти наведені у % маси напівфабрикату. Оскільки  $\sum_{i=1}^k X_i \neq 1$ , де  $k$  – кількість інгредієнтів, то задача «склад-властивість» зводиться до кодованих факторів  $x_i$  за залежністю<sup>1</sup>:  

$$X_i = 1.337 \cdot 10^{-10} + 11.500 x_i.$$

<sup>1</sup> Для переходу від кодованих до натуральних значень композиції використано перетворення, наведені в таблиці

$X_i^{min}$	$X_i^{1/2}$	$x_i^{1/2}$	$X_i^{max}$	$\Delta X$	$\Delta X, \%$	$x_i^{min}$	$x_i^{max}$
2	4	0.3478	6	2	0.1739	0.1739	0.5217
1	2	0.1739	3	1	0.0870	0.0870	0.2609
1	2	0.1739	3	1	0.0870	0.0870	0.2609
2	3.5	0.3044	5	1.5	0.1304	0.1739	0.4348
6	11.5		17				

Склад наповнювальної композиції визначається математичною моделлю другого порядку:

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k b_{ij} x_i x_j,$$

де  $\hat{y}$  – прогнозне значення вихідної змінної;  $b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти моделі;  $i, j$  – порядкові номера інгредієнтів.

У наведеній моделі використовується умова нормування:  $\sum_{i=1}^k x_i = 1$ .

При цьому з технологічних міркувань у експериментах накладені обмеження на числові значення інгредієнтів  $x_i$ :

$$0 \leq x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max} \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, k).$$

Математична модель загального вигляду для чотирьохінгредієнтної композиції набуває вигляду:

$$\hat{y}_i = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{34} x_3 x_4,$$

де  $\hat{y}_i$  – прогнозне значення споживної властивості шкіряного матеріалу,  $i = 1 \div 3$ ;  $x_1, x_2, x_3, x_4$  – відповідно кодовані значення інгредієнтів ЕПАА-М, *Trupotan AG*, *Tergotan PMB*, екстракту квебрахо.

Ефективність впливу складу наповнювальної композиції на споживні властивості шкіряного матеріалу оцінювали за наступними показниками:  $y_1$  – об'ємний вихід шкіряного матеріалу, см<sup>3</sup>/100 г колагену дерми;  $y_2$  – жорсткість матеріалу, сН;  $y_3$  – уявна питома маса зразків, кг/м<sup>3</sup>; При цьому об'ємний вихід матеріалу оцінювали за об'ємом напівфабрикату в розрахунку на 100 г колагену, жорсткістю на приладі ПЖУ-12М, а уявну питому масу з використанням гасу [8].

Для оптимізації складу наповнювальної композиції при виготовленні еластичних шкір у роботі використано напівфабрикат хромового дублення (ТУ У 00302391-03-98) після його стругання на товщину  $(1,3-1,4) \cdot 10^{-3}$  м, отриманий за методикою [9]. За методом асиметричної бахромки з напівфабрикату сформовано 14 груп зразків розміром  $(20 \times 120) \cdot 10^{-3}$  м по 6 штук у кожній групі. Зразки напівфабрикату нейтралізували розчином формиату натрію ТУ 21-249-00204168-92 і гідрокарбонату натрію у співвідношенні 1:1 за масою.

Для отримання математичної моделі, яка описувала б споживні властивості шкіряного матеріалу залежно від складу композиції, синтезовано план експерименту

За наведеними нижче експериментальними даними за МНК <http://mnk-online.narod.ru/> знаходимо оптимальну модель – лінійну

$x_i$	0.0870	0.1739	0.2609	0.4348	0.5217
$X_i$	1	2	3	5	6

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ХІМІЇ,  
КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ ДЛЯ СИНТЕЗУ НОВИХ РЕЧОВИН

за критерієм  $D$ -оптимальності з накладеними обмеженнями на інгредієнти композиції. Після реалізації плану експерименту і обробки отриманих даних розраховані коефіцієнти моделі та перевірена її адекватність у контрольних точках. Отримані моделі «склад-властивість» використано для оптимізації складу композиції за функцією бажаності.

#### 4. Отримання математичної моделі складу наповнювальної композиції

З метою отримання коефіцієнтів моделі за визначеними теоретичними точками-кандидатами (табл. 2) згідно алгоритму Макліна-Андерсона на основі максимального віддалення від центра плану і одна від одної<sup>2</sup> [10] та розробленою багатопотоковою програмою синтезуємо план експерименту. Для цього за критерієм  $D$ -оптимальності вибрано з  $N$ -теоретичних точок кращі експериментальні  $n$ -точки плану.

Таблиця 2. Теоретичні точки плану експерименту

Інгредієнт	Теоретична точка плану													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$x_1$	0.22	0.22	0.39	0.30	0.48	0.48	0.17	0.52	0.17	0.52	0.17	0.52	0.22	0.35
$x_2$	0.09	0.26	0.09	0.26	0.09	0.26	0.13	0.22	0.26	0.09	0.26	0.09	0.17	0.09
$x_3$	0.26	0.09	0.09	0.26	0.26	0.09	0.26	0.09	0.13	0.22	0.26	0.09	0.17	0.26
$x_4$	0.43	0.43	0.43	0.17	0.17	0.17	0.43	0.17	0.43	0.17	0.30	0.30	0.43	0.30
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$x_1$	0.30	0.20	0.35	0.20	0.30	0.46	0.24	0.39	0.39	0.48	0.50	0.50	0.17	0.17
$x_2$	0.09	0.11	0.26	0.26	0.17	0.09	0.26	0.26	0.17	0.17	0.09	0.24	0.20	0.20
$x_3$	0.17	0.26	0.09	0.11	0.09	0.09	0.26	0.17	0.26	0.17	0.24	0.09	0.26	0.20
$x_4$	0.43	0.43	0.30	0.43	0.43	0.37	0.24	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.37	0.43
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
$x_1$	0.52	0.52	0.17	0.52	0.43	0.27	0.23	0.27	0.43	0.46	0.17	0.52	0.35	
$x_2$	0.15	0.15	0.26	0.09	0.09	0.17	0.17	0.26	0.18	0.18	0.22	0.13	0.17	
$x_3$	0.09	0.15	0.20	0.15	0.18	0.26	0.17	0.17	0.09	0.18	0.22	0.13	0.17	
$x_4$	0.24	0.17	0.37	0.24	0.30	0.30	0.43	0.30	0.30	0.17	0.39	0.22	0.30	

З метою визначення експериментальних точок плану перебираються усі можливі комбінації з  $N$  по  $n$  точок в кількості

$$\tilde{n}_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

і розраховується комбінація, в якій визначник

$$\det|D| \rightarrow \min ,$$

<sup>2</sup> Без врахування виду моделі.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ХІМІЇ,  
КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ ДЛЯ СИНТЕЗУ НОВИХ РЕЧОВИН

де  $D = (F^T F)^{-1}$  – дисперсійна матриця поточного плану<sup>3</sup>;  $F$  – матриця плану експерименту  $X$ , узагальнена<sup>4</sup> видом моделі  $\bar{f}^0(\bar{x})$  розміру  $n \times l$ ;  $l$  – кількість коефіцієнтів моделі;  $T$  – операція транспонування матриці.

Для отримання коефіцієнтів моделі чотирьохінгредієнтної композиції синтезований оптимальний план експерименту (табл. 3) в обмеженій ділянці симплексу (табл. 1) з урахуванням умови нормування.

Таблиця 3. План експерименту

Інгредієнт	Експериментальна точка									
	1	2	3	8	10	11	22	23	28	41
$x_1$	0.22	0.22	0.39	0.52	0.52	0.17	0.39	0.39	0.17	0.35
$x_2$	0.09	0.26	0.09	0.22	0.09	0.26	0.26	0.17	0.20	0.17
$x_3$	0.26	0.09	0.09	0.09	0.22	0.26	0.17	0.26	0.20	0.17
$x_4$	0.43	0.43	0.43	0.17	0.17	0.30	0.17	0.17	0.43	0.30

Отже, із теоретичних точок (41), отриманих за методом Макліна-Андерсона і критерієм  $D$ -оптимальності, відбирається десять експериментальних для подальших досліджень. Отримані експериментальні результати впливу складу наповнювальної композиції за планом табл. 3 на споживні властивості шкіряного матеріалу наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Фізико-хімічні властивості наповненого шкіряного матеріалу

Технологічний показник	Експериментальна точка									
	1	2	3	8	10	11	22	23	28	41
$y_1$	260	222	184	162	175	168	170	178	227	158
$y_2$	22	24	29	37	32	30	32	34	24	33
$y_3$	0.580	0.594	0.615	0.629	0.634	0.626	0.630	0.632	0.587	0.639

Коефіцієнти чотирьохкомпонентної математичної моделі визначаються за методом найменших квадратів у матричній формі.

Адекватність моделі була перевірена за критерієм Стюдента у кожній контрольній точці, яка цікавить дослідника. Для перевірки адекватності математичної моделі реалізовано по два паралельних досліди у трьох довільно вибраних контрольних точках (табл. 5).

Таблиця 5. Фізико-хімічні властивості наповненого шкіряного матеріалу  
у контрольних точках складу композиції

Контрольна точка	Склад композиції				Технологічний показник					
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$y_1$		$y_2$		$y_3$	
1	0.3478	0.087	0.2174	0.3478	190	195	30	28	0.623	0.629
2	0.2609	0.087	0.2609	0.3913	230	237	25	22	0.598	0.595
3	0.4348	0.1739	0.087	0.3043	147	153	33	35	0.643	0.638

<sup>3</sup> Визначник  $\det|I| \rightarrow \max$  інформаційної матриці  $I = F^T F$ .

<sup>4</sup> Побудована відповідно до виду моделі  $\bar{f}^T(\bar{x})$ .

На основі експериментальних і контрольних даних табл. 4 і 5 з використанням ЕОМ, отримано нелінійну математичну модель залежностей технологічних споживних властивостей шкіряного матеріалу від складу наповнювальної композиції:

$$\begin{cases} \hat{y}_1 = 200.407240 6x_1 + 817.284174 6x_2 + 794.772566 x_3 + 1156.82205 7x_4 - 281.524259 4x_1x_2 - \\ - 222.174347 3x_1x_3 - 2008.64225 8x_1x_4 - 2586.62470 1x_2x_3 - 2367.36064 2x_2x_4 - 1842.67972 8x_3x_4; \\ \hat{y}_2 = 33.3385872 6x_1 - 182.044606 5x_2 + 102.524372 9x_3 - 69.8563424 7x_4 + 287.941336 3x_1x_2 + \\ + 182.396578 x_1x_3 + 184.141552 7x_1x_4 + 252.758817 5x_2x_3 + 440.014970 1x_2x_4 - 5.85764551 4x_3x_4; \\ \hat{y}_3 = 0.52493784 6x_1 + 0.38075039 6x_2 + 0.41298832 4x_3 - 0.07593876 8x_4 + 0.13494785 2x_1x_2 + \\ + 0.25270132 3x_1x_3 + 1.51856763 6x_1x_4 + 0.73723139 7x_2x_3 + 1.43505929 1x_2x_4 + 1.11690889 x_3x_4. \end{cases}$$

Аналіз адекватності математичної моделі «склад наповнювальної композиції – властивості шкіряного матеріалу» у контрольних точках показав, що отримана математична модель адекватно описує споживні властивості шкіряного матеріалу відповідного складу наповнювальної композиції.

### 5. Оптимізація складу наповнювальної композиції

Для оптимізації складу чотирьохкомпонентної композиції  $\bar{x} = \|x_1, x_2, x_3, x_4\|$ , яка характеризується  $g$  вихідними споживними показниками отриманої математичної моделі, використана функція бажаності вигляду:

$$D_f = \sqrt[g]{d_1 d_2 \dots d_g},$$

де  $d_i$  ( $i = 1, 2, \dots, g$ ) – часткова функція бажаності властивості шкіряного матеріалу  $y_i$ , яка приймає значення в інтервалі  $[0; 1]$  і визначається за залежністю:

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

де  $y'_i$  – безрозмірне значення властивості матеріалу  $y_i$ , що визначається за лінійною залежністю:  $y'_i = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i$ .

Коефіцієнти  $b_0^{(i)}, b_1^{(i)}$  з наведеного вище рівняння визначаються з наступної системи рівнянь:

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

де  $y_i^{\text{гірше}}, y_i^{\text{краще}}$  – відповідно гірше і краще значення критерію  $y_i$ , який встановлюється дослідником за споживними властивостями матеріалу і не може бути зменшеним чи збільшеним;  $y_i^{\text{гірше}}, y_i^{\text{краще}}$  – гірше і краще значення безрозмірного критерію якості, що визначаються за формулами:

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

де  $d_{гірше}$  і  $d_{краще}$  – гірше і краще значення часткових функцій бажаності; відповідно приймаються значення 0,2 і 0,8.

Максимум функції бажаності  $D_f$  відповідає оптимальному складу  $\bar{x}^{opt}$ , що має найкращі компромісні значення споживних показників  $y_i$ .

Отже, на основі функції бажаності визначається оптимальний склад наповнювальної композиції, який характеризується трьома найкращими споживними властивостями. При цьому за найкращі значення вважаються найвищий об'ємний вихід матеріалу і мінімальні значення уявної питомої маси і жорсткості.

Отримані математичні моделі споживних властивостей використані для багатокритеріального пошуку оптимального складу наповнювальної композиції за допомогою узагальненої функції бажаності, що складена за відповідними математичними моделями в  $x$ -координатах при обмеженнях на вихідні змінні, які відповідають найгіршому і найкращому значенням: об'ємний вихід шкіряного матеріалу – 200 і 260 см<sup>3</sup>/100 г колагену дерми, жорсткість шкіри – 30 і 22 сН, уявна питома маса шкіри – 0.630 і 0.580 кг/м<sup>3</sup>. За методом сканування з кроком 0.01 отриманий оптимальний склад композиції, мас. частин: кополімер ЕПАА-М – 0.222, препарат *Trupotan AG* – 0.087, кополімер *Tergotan PMB* – 0.257, екстракт квебрахо – 0.434, або у відсотках маси напівфабрикату, відповідно: 2.55, 1.00, 2.96, 4.99. При цьому споживні властивості шкіряного матеріалу набувають відповідно значень: 257.4 см<sup>3</sup>/100 г колагену, 22.1 сН, 0.581 кг/м<sup>3</sup> за функції бажаності  $D_f = 0,7896$  за кількості розрахунків її значень – 7734 разів.

Таким чином, за комплексом споживних характеристик встановлений оптимальний склад наповнювальної композиції на основі отриманої математичної моделі та узагальненої функції бажаності. Розроблений склад композиції забезпечує ефективне проведення процесу наповнення при виготовленні еластичного шкіряного матеріалу хромового дублення зі шкур свиней з комплексом високих експлуатаційних властивостей.

## Висновки

1. Оптимізований склад наповнювальної композиції для виготовлення еластичних шкір з напівфабрикату хромового дублення шкур свиней. З цією метод реалізований план експерименту щодо складу наповнювальної композиції за удосконаленим методом Макліна-Андерсона з врахуванням вигляду математичної моделі при використанні розробленої багатопотокової програми, що суттєво скорочує тривалість синтезу D-оптимального плану.

2. На основі отриманої математичної моделі проведена багатofакторна оптимізація складу чотирьохінгредієнтної наповнювальної композиції з використанням функції бажаності.

3. Встановлений оптимальний склад наповнювальної композиції, яка забезпечує формування топографічно більш однорідного шкіряного матеріалу з комплексом високих споживних властивостей. За технологічними характеристиками розроблена композиція і отриманий шкіряний матеріал відповідає системі управління якістю за міждержавним стандартам «ISO 9001:2008».



### Література

1. Зедгинидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедгинидзе. – М. : Наука, 1976. – 392 с.
2. Новик Ф. С. Планирование эксперимента на симплексе при изучении металлических систем / Новик Ф. С. – М. : Metallurgiya, 1985. – 256 с.
3. Фёдоров В. В. Теория оптимального эксперимента / В. В. Фёдоров. – М. : Наука, 1971. – 312 с.
4. Rezanova V. Planning the experiment and optimization of the content of nanoaddition in polypropylene monothreads / V. Rezanova, V. Shchotkina, M. Tsebrenko // Visnyk KNUTD. – 2014. – № 2 (76). – С. 42–47.
5. Резанова В. Г. Оптимізація складу чотирикомпонентних сумішей полімерів із застосуванням методу штрафних функцій / В. Г. Резанова // Вісник КНУТД. – 2016. – № 2 (96). – С. 59–67.
6. Микробный полисахарид ксантан / Р. И. Гваздяк, М. С. Матышевский, Е. Ф. Григорьев, О. А. Литвинчук. – К. : Наукова думка, 1989. – 212 с.
7. Danylkovych A. Use of electrochemically activated aqueous solutions in the manufacture of fur materials / A. Danylkovych, V. Lishchuk, O. Romanyuk // SpringerPlus, 2016, 5:214; P. 1–11. – Way of Access: <http://er.knutd.com.ua/handle/123456789/1766>
8. Аналитический контроль в производстве кожи и меха: лабораторный практикум / А. Г. Данилкович, В. И. Чурсин. – М. : НИЦ Инфра-М, 2016. – 176 с.
9. Данилкович, А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри : навч. посібник / А. Г. Данилкович, О. Р. Мокроусова, О. А. Охмат; під ред А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2009. – 578 с.
10. Anderson V. L. Design of experiments: a realistic approach / V. L. Anderson, R. A. McLean. – Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, 1974. – 418 p.

### ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАПОВНЕННЯ-ПЛАСТИФІКАЦІЇ ШКІРЯНОГО МАТЕРІАЛУ

\*Данилкович А. Г., Сангінова О. В., Червінський В. О.

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАПОЛНЕНИЯ-ПЛАСТИФИКАЦИИ КОЖЕВЕННОГО МАТЕРИАЛА

\*Данилкович А.Г., Сангинова О. В., Червинский В. А.

### OPTIMIZATION OF LEATHER MATERIAL FILLING-PLASTICIZATION PROCESS

\*Danylkovych A., Sanginova O., Chervinskyi V.

\*Київський національний університет технологій та дизайну

Київ, Україна

[ag101@ukr.net](mailto:ag101@ukr.net)

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Київ, Україна

[vasya00100@gmail.com](mailto:vasya00100@gmail.com)