

1. Горбачов А.А. Наукові основи технологічних процесів виробництва шкіри та похідних колагену з позиції термодинаміки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 09.19.05 / Київ. нац. унів. технол. та дизайну. / А.А. Горбачов. – К., 2002. – 44 с.
2. Чернов Н.В. Технология кожи и меха. / Н.В. Чернов, Ю.Н. Аронова – М.: Гизлегпром, 1959. – 720 с.
3. Данилкович А.Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра: [навч. посібник]. / А.Г. Данилкович. – [2-е вид., перероб. і доп.]. К.: Фенікс, 2006. – 340 с.
4. Хренников Н.С. Химико-технологический контроль в кожевенном производстве. / Н.С. Хренников, Н.А. Крысанова – М: Легкая индустрия, 1967. – 333 с.
5. Основи створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра / [А.А. Горбачов, С.М. Кернер, О.А. Андреева, О.Д. Орлова]. – К.: Наукова думка, 2007. – 190 с.

Надійшла 15.5.2010 р.

УДК 675.026

А. Г. ДАНИЛКОВИЧ

Київський національний університет технологій та дизайну

А. С. БРАЇЛКО, Н. В. ОМЕЛЬЧЕНКО

Полтавський університет споживчої кооперації України

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВТОРИННОГО ПОКРИТТЯ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОКРИВНОЇ КОМПОЗИЦІЇ

Встановлено оптимальний склад композиції для покривного фарбування методом Макліна-Андерсена з наступною багатокритеріальною оптимізацією з використанням функції бажаності. Запропонована композиція забезпечує високі показники адгезійної міцності покриття до мокрої шкіри та стійкості його до тертя, а отже може бути використана для відновлення зовнішнього вигляду зруйнованого покриття.

The optimal system composition of coating is specified by using the Macklin-Anderson method with the following multiobjective optimization applying the desirability function. Introduced composition is providing high parameters of adhesional coating strength to wet leather and its resistance to friction and consequently can be used for appearance restoration of damaged coating.

Ключові слова: композиція, покриття, оптимізація складу, покривна здатність, адгезія, стійкість до тертя.

Якість покривного фарбування натуральної шкіри є одним із актуальних завдань галузі виробництва одягу та надання індивідуальних послуг (хімічної чистки). А тому актуальним залишається пошук методів покращення покривного фарбування та відновлення зовнішнього вигляду одягу зі шкіри з плівковим покриттям. Зазначені проблеми можливо вирішити розробкою нових композицій, що потребує проведення багаторічних досліджень та значних капіталовкладень, але припускає можливість не вирішення поставлених завдань, або застосування системного підходу до аналізу композицій із відомими властивостями.

Раніше встановлено [1], що введення до складу акрилової композиції у якості пластифікатора алкілкарбокситаноламінів (АКЕА) синтетичних жирних кислот фракції С₇-С₉ і природних нафтових кислот газової фракції дозволяє позбутися міграції пластифікаторів у шкіру, за рахунок його надійної фіксації у покритті. Додавання ж металокомплексного азобарвника (МКБ) – полігексаметиленгуанідину- \square -нафтолсульфанілової кислоти хлориду барію підвищує адгезійні властивості та стійкість покриття до тертя [2]. Таким чином, можливе покращення показників якості (покривної здатності, адгезії покривної плівки до шкіри та її стійкості до сухого і мокрого тертя) відомих композицій на основі нітроцелюлози [3, 4], за рахунок введення до складу композиції АКЕА та МКБ із врахуванням їх сумісності, а також використанням розчинників і розріджувачів, в яких добре розчиняються компоненти і зберігаються необхідні колоїдно-хімічні характеристики. Враховуючи те, що композиції для покривного фарбування є багатоконпонентними, їх застосування неможливе без визначення оптимального складу, за якого досліджувані показники набувають екстремального значення.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес оптимізації складу покривної фарби для відновлення покриття на виробі із шкіри, предметом – склад композиції для покривного фарбування шкіри, що містить барвник, плівкоутворювач, розчинник, розріджувач і пластифікатор (табл. 1).

Композицію покривної фарби НЦ-АКЕА готували у реакторі з мішалкою, в якій заливали розчинник – етилацетат і поступово під час перемішування додавали металокомплексний азобарвник – полігексаметиленгуанідин-нафтолсульфанілову кислоту хлориду барію, розріджувач – етиловий спирт, пластифікатор – алкілкарбокситаноламін синтетичних жирних кислот фракції С₇...С₉ ілак на основі розчину нітроцелюлози НЦ-573. Перемішування продовжували протягом 40 хв до готовності композиції.

Фактичний склад композицій наведено у табл. 1. Для спрощення експериментальних досліджень, шляхом зменшення кількості дослідів, нами зведено задачу з п'ятикомпонентної суміші до трьохкомпонентної. З цією метою компоненти x_1 і x_2 розглядаються як $z_1 = x_1 + x_2$, оскільки вони змінюються прямопропорційно і знаходяться у співвідношенні 1: 1, а компоненти x_3 і x_4 як $z_2 = 0,154658858 + 0,867709329 x_3$, що змінюється за залежністю, наведеною на рис. 1. При цьому за знайденою сумарною кількістю z_2 (розчинника і розріджувача) знаходимо кількість розчинника, а відніманням останнього – кількість розріджувача $x_4 = z_2 - x_3$. Кількість пластифікатора $x_5 = z_3$.

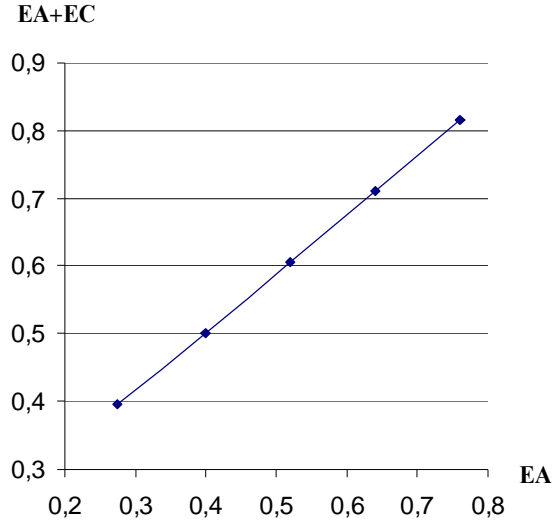


Рис. 1. Залежність кількості розчинника EA і розріджувача EC від вмісту розчинника

Таблиця 1

Склад композиції покривної фарби

i	Компонент	Вміст, мас. %	
		фактичний x_i	перетворений z_i
1	Барвник металокомплексний водонерозчинний	8-24	16-48
2	Плівкоутворювач – нітролак НЦ-573	8-24	
3	Розчинник – етилацетат	40-64	50-72
4	Розріджувач – етиловий спирт	5,0-12,0	
5	Пластифікатор – алкілкарбосиетаноламін	2,5-12,5	2,5-12,5

Отримана композиція для покривного фарбування визначеного складу наносилась плюшевою щіткою на лицьову поверхню зразків шкіри для одягу до повної покривності. Вихідними змінними було обрано критерії оптимізації, а саме: покривну здатність y_1 , адгезію до мокрої шкіри y_2 і стійкість покриття до тертя y_3 . Дослідження наведених показників фізико-механічних властивостей покриття на шкірі здійснювали за методиками [5], при цьому похибка не перевищувала 5 %.

Для моделювання властивостей і в подальшому оптимізації складу композиції для покривного фарбування було використано метод Макліна-Андерсена [6] для знаходження точок-кандидатів, побудови на їх основі D-оптимального плану і пошуку оптимального складу композиції з використанням функції бажаності [7], запропонованої Харингтоном.

Моделювання властивостей q-компонентної суміші, де, проводили шляхом використання неповної кубічної моделі вигляду [6]:

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^{q-2} b_i z_i + \sum_{1 \leq i < j \leq q} b_{ij} z_i z_j + \mathbf{K} + b_{12\dots q} z_1 z_2 \mathbf{K} z_{q-2} \quad (1)$$

в позначеннях перетвореної змінної $\bar{z} = (z_1, z_2, \mathbf{K}, z_{q-2})$, де

$$\sum_{i=1}^{q-2} z_i = 1 \quad (2)$$

На практиці задача «склад– властивість» технологічно має незмінні обмеження на компоненти x_i , а отже відповідно на z_i :

$$0 \leq a_i \leq z_i \leq b_i \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, q - 2). \quad (3)$$

Тому для одержання z-плану з обмеженнями на компоненти його синтезують на основі точок-кандидатів, знайдених з використанням методу Макліна-Андерсена. В подальшому, за критерієм D-оптимальності, відбирали методом сканування всіх можливих комбінацій із отриманих планів, той з них, що має мінімальний визначник дисперсійної матриці плану.

Можливі точки-кандидати для синтезу оптимального плану визначали за наступним алгоритмом

[6]:

- для кожного з компонентів вписувалися всі можливі комбінації нижніх і верхніх рівнів аібіза (3), пропускаючи у кожній комбінації вміст одного з них;

- із всіх комбінацій обиралися ті, в яких сума компонентів менше 1 і до них додавали пропущений компонент, але тільки у тому випадку, якщо не порушується умова (2). При цьому комбінація з доданим компонентом, що задовольняє умовам (3), а отже і (2) є координатами вершин шуканого багатогранника. Необхідно зауважити, що вершини, які повторюються, мають бути пропущені, а розмірність отриманого багатогранника завжди $q - l^1$;

- виділялися g -мірні грані (гіперграні) багатогранника ($1 \leq r \leq q - 2$): $r = 1$ – ребро, $r = 2$ – грань, $r = 3$ – гіпергрань; грань розмірністю r утворюється групою вершин, які мають $q - r - 1$ однакові координати. Важливо відзначити, що g -мірну грань може утворити різне число вершин, тому необхідно вибрати максимальне число вершин, що мають $(q - r - 1)$ -однакових координат; вони і утворюють g -мірну грань;

- визначалися координати центрів (центроїдів) всіх виділених g -мірних граней багатогранника як середні значення координат вершин, що утворюють відповідну грань;

- визначалися координати загального центроїду багатогранника як середнє значення координат всіх вершин цього багатогранника.

Після знаходження N точок-кандидатів за методом Макліна-Андерсона обиралися з них n кращих точок плану ($n < N$) за критерієм D -оптимальності. Для цього перебиралися усі можливі комбінації кількістю $C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$ із N точок кандидатів по n і розраховувалася комбінація, в якій визначник

$$\det|D| \rightarrow \min \quad (4)$$

дисперсійної матриці $D = (F^T F)^{-1}$ поточного плану буде найменшим², а $F_{n \times l}$ – матриця плану експерименту X , узагальнена³ виглядом моделі $\bar{f}^T(\bar{x})$, де індекс “Т” – операція транспонування матриці, l – кількість коефіцієнтів моделі (1).

Коефіцієнти математичної моделі (1) визначалися за МНК в матричній формі за формулою

$$B = (F^T F)^{-1} F^T Y, \quad (5)$$

де B – вектор шуканих коефіцієнтів;

Y – колонка значень залежної змінної, які спостерігалися у дослідах.

Адекватність моделі суміші (1) перевірялася за співвідношенням (6) у кожній контрольній точці:

$$t_p < t_r\{q; f\} \quad (6)$$

де q – рівень значущості, $f = m \cdot (r - 1)$ – число ступенів вільності;

t_p – розрахункове значення критерію Стьюдента, яке визначалося за формулою:

$$t_p = \frac{|y_i - \bar{y}_i| \sqrt{r}}{s_{\text{експ}} \sqrt{1 + \xi}}, \quad (7)$$

де y_i , \bar{y}_i – відповідно експериментальне і розраховане за моделлю значення вихідної змінної в i -тій

контрольній точці; $s_{\text{експ}} = \sqrt{s_{\text{експ}}^2}$, де $s_{\text{експ}}^2 = \frac{1}{k(r-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$, де $\bar{y}_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r y_{ij}$ – помилка досліду; r –

кількість паралельних дослідів; k – кількість контрольних точок; x – помилка передбачення вихідної змінної залежно від розташування контрольної точки на симплексі, що визначалася за залежністю:

$$x = \bar{f}^T(\bar{x}) D \bar{f}(\bar{x}), \quad (8)$$

де $\bar{f}(\bar{x})$ – вектор-функція, що залежить від виду моделі та координат контрольної точки.

Для оптимізації складу, котрий характеризується m показниками якості, використовувалася функція бажаності Φ :

$$\Phi = \sqrt{d_1 d_2 \dots d_m} \quad (9)$$

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 визначалася за залежністю:

$$d_i = \exp[-\exp(-y'_i)] \quad (10)$$

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

$$y'_i = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i \quad (11)$$

¹ для системи у позначеннях x

² максимум визначника $\det|I| \rightarrow \max$ інформаційної матриці $I = F^T F$

³ тобто матриця плану експерименту X побудована у відповідності з виглядом моделі $\bar{f}^T(\bar{x})$

Коефіцієнти $b_0^{(i)}, b_1^{(i)}$ залежностей (11) визначалися із систем рівнянь:

$$\begin{cases} y_i^{\text{гірше}} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{гірше}} \\ y_i^{\text{краще}} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{краще}} \end{cases}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (12)$$

де $y_i^{\text{гірше}}, y_i^{\text{краще}}$ – найгірше і найкраще значення критерію якості y_i (встановлювалося нами особисто), відповідно, зменшити або збільшити яке неможливо за причиною технологічного характеру:

$y_i^{\text{гірше}}, y_i^{\text{краще}}$ – найгірше і найкраще значення безрозмірного критерію якості, що визначалося на підставі (10) за формулами:

$$y_i^{\text{гірше}} = -\ln(-\ln d_{\text{гірше}}), \quad y_i^{\text{краще}} = -\ln(-\ln d_{\text{краще}}) \quad (13)$$

де $d_{\text{гірше}}$ і $d_{\text{краще}}$ – відповідно гірше і краще значення часткових функцій бажаності (10), які, зазвичай, приймають на практиці відповідно 0.2 і 0.8.

Максимум функції бажаності Φ , побудованої за (9), відповідав оптимальному складу \bar{x}^{opt} , який мав найкращі компромісні значення показників якості y_i ($i = 1, 2, \dots, m$).

Постановка завдання

Мета даної роботи полягає в оптимізації розробленого складу композиції для відновлення покриття на виробі із шкіри для одягу.

Результати та їх обговорення

Попередні дослідження дозволити визначити межі вмісту зазначених компонентів у складі покривної композиції (табл. 1). Відхилення від визначених меж призводить до нерівномірного забарвлення покриття через недостатню кількість розчинника для переведення у розчинний стан барвника чи навіть до неможливості отримання композиції для покривного фарбування внаслідок зростання в'язкості.

Так, зокрема, зменшення вмісту барвника у складі покривної композиції менше 8 % знижує інтенсивність забарвлення покривної фарби у зв'язку із його недостатньою кількістю, потребує повторного нанесення покриття, що призводить до підвищення його товщини. При збільшенні барвника понад 24 % погіршується його розчинність і зростає в'язкість покривної фарби, що погіршує показники її якості. Використання АКЕА, як пластифікатора, у складі покриття менше 2,5 % є недостатнім для ефективного впливу на властивості, а понад 12,5 % – погіршує якість покриття шкіри через появу липкості.

Зважаючи на зазначені технологічні обмеження, було визначено (табл. 2) область експерименту $a_i \leq z_i \leq b_i$ ($i = 1, 2, 3$).

Таблиця 2

Параметри ділянки експерименту в z-координатах

Інгредієнт	a_i	b_i
z_1	0.160	0.480
z_2	0.500	0.720
z_3	0.025	0.125

На підставі (1) при $q = 3$, неповна кубічна модель в z-координатах приймає вигляд:

$$\hat{y} = b_1 z_1 + b_2 z_2 + b_3 z_3 + b_4 z_1 z_2 + b_5 z_1 z_3 + b_6 z_2 z_3 + b_7 z_1 z_2 z_3 \quad (14)$$

Для визначення точок кандидатів плану експерименту для обмежень, поданих таблицею 2, за методом Макліна-Андерсена побудуємо вихідну таблицю 3.

Таблиця 3

Параметри ділянки експерименту в z-координатах

i	Можливі комбінації a_i (-1), b_i (+1) для			z_1	z_2	z_3
	z_1	z_2	z_3			
1	0	+1	+1	–	0.720	0.125
2	0	–1	+1	0.375	0.500	0.125
3	0	+1	–1	0.255	0.720	0.025
4	0	–1	–1	0.475	0.500	0.025
5	+1	0	+1	0.480	–	0.125
6	–1	0	+1	0.160	0.715	0.125
7	+1	0	–1	0.480	–	0.025
8	–1	0	–1	0.160	–	0.025
9	+1	+1	0	0.480	0.720	–
10	–1	+1	0	0.160	0.720	0.120
11	+1	–1	0	0.480	0.500	–
12	–1	–1	0	0.160	0.500	–

Використовуючи дані таблиці 3, запишемо вершини багатогранника із рядків, що не містять

пропусків (–), у таблицю 4.

Таблиця 4

Вершини багатогранника				
<i>i</i>	z_1	z_2	z_3	<i>i</i> -точка таблиці 3
1	0.3750	0.5000	0.1250	2
2	0.2550	0.7200	0.0250	3
3	0.4750	0.5000	0.0250	4
4	0.1600	0.7150	0.1250	6
5	0.1600	0.7200	0.1200	10

Виділення гіперграней та визначення їх центрів, а також загального центроїда, що належать до точок-кандидатів для побудови плану експерименту, наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Точки-кандидати					
<i>i</i>	z_1	z_2	z_3	Композиції вершин <i>i</i> , що аналізуються	Однаковий вміст інгредієнту
1	0.3750	0.5000	0.1250		
2	0.2550	0.7200	0.0250		
3	0.4750	0.5000	0.0250		
4	0.1600	0.7150	0.1250		
5	0.1600	0.7200	0.1200		
6	0.4250	0.5000	0.0750	1, 3	z_2
7	0.2675	0.6075	0.1250	1, 4	z_3
8	0.2075	0.7200	0.0725	2, 5	z_2
9	0.3650	0.6100	0.0250	2, 3	z_3
10	0.1600	0.7175	0.1225	4, 5	z_1
11	0.2850	0.6310	0.0840	– загальний центроїд	

Для отримання коефіцієнтів моделі (14) був синтезований за (4) план в обмеженій ділянці симплексу (табл. 2), який наведено в таблиці 6, і характеризується даними; . При цьому проаналізовано планів.

Таблиця 6

<i>i</i>	План в <i>z</i> -координатах			План в <i>x</i> -координатах					<i>y</i>
	z_1	z_2	z_3	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
1 (1)	0.375	0.5	0.125	0.1875	0.1875	0.397992	0.102008	0.125	y_1
2 (2)	0.255	0.72	0.025	0.1275	0.1275	0.651533	0.068467	0.025	y_2
3 (3)	0.475	0.5	0.025	0.2375	0.2375	0.397992	0.102008	0.025	y_3
4 (4)	0.16	0.715	0.125	0.08	0.08	0.645771	0.069229	0.125	y_4
5 (6)	0.425	0.5	0.075	0.2125	0.2125	0.397992	0.102008	0.075	y_5
6 (7)	0.2675	0.6075	0.125	0.13375	0.13375	0.521881	0.085619	0.125	y_6
7 (9)	0.365	0.61	0.025	0.1825	0.1825	0.524762	0.085238	0.025	y_7

Примітка. В дужках наведені точки-кандидати табл. 5, що формують D-оптимальний план

Результати експерименту, отримані за робочим планом в *x*-координатах, наведено в таблиці 7.

Таблиця 7

Вихідна змінна	Експериментальна точка						
	1	2	3	4	5	6	7
y_1	103	142	97	203	110	138	107
y_2	208	163	215	117	210	165	180
y_3	1650	1360	620	1130	1320	1470	1710

Експериментальні дані, наведені в табл. 6 і 7, оброблено на ЕОМ і отримано наступні нелінійні моделі в *z*-координатах:

$$\hat{y}_1 = -429.6268192 z_1 + 56.11946876 z_2 - 2763.067991 z_3 + 1109.014701 z_1 z_2 + 13089.38493 z_1 z_3 + 6295.897045 z_2 z_3 - 26178.76985 z_1 z_2 z_3;$$

$$\hat{y}_2 = 682.4929217 z_1 + 246.6747555 z_2 + 2686.449762 z_3 - 983.8353544 z_1 z_2 - 5400.67403 z_1 z_3 - 4711.749036 z_2 z_3 + 9601.348059 z_1 z_2 z_3;$$

$$\hat{y}_3 = -29253.08048 z_1 - 6809.169548 z_2 - 86946.76525 z_3 + 72649.50006000001 z_1 z_2 + 336907.3567 z_1 z_3 + 156836.8696 z_2 z_3 - 525814.71329999999 z_1 z_2 z_3.$$

Адекватність моделей підтверджується постановкою додаткових дослідів в експериментальних точках 8-10 (табл. 8).

Таблиця 8

Значення вихідної змінної у в контрольних точках

i	План в z-координатах			Вихідна змінна					
	z ₁	z ₂	z ₃	y ₁		y ₂		y ₃	
8	0,32	0,605	0,075	132	130	179	183	1590	1610
9	0,24	0,71	0,05	159	157	166	160	1330	1360
10	0,4	0,5	0,1	102	109	215	219	1580	1550

Отримані моделі використано для багатокритеріального пошуку оптимального складу композиції для покривного фарбування за допомогою узагальненої функції бажаності (9), яку складено за отриманими моделями в z- координатах при обмеженнях на вихідних змінних, які відповідають найгіршому і найкращому їх значенню: y₁ – 130 і 110, y₂ – 180 і 210, y₃ – 1650 і 1700. За методом сканування [8] з кроком 0.01 отримано оптимальний склад композиції в z-координатах: z₁ = 0.3650, z₂ = 0.6099999, z₃ = 0.025. Після їх приведення до відносного складу вихідних компонентів, отримано наступний склад, мас. %: x₁ = 18.25, x₂ = 18.25, x₃ = 52.48, x₄ = 8.52, x₅ = 2.50. При цьому вихідні змінні набувають таких значень: y₁ = 107, г/м², y₂ = 180, г/см, y₃ = 1710, обертів, а функція бажаності Φ = 0.53.

Висновки

В результаті проведених досліджень отримано оптимальний склад композиції для покривного фарбування шкіри. Реалізацією синтезованого D-оптимального плану, за методом Макліна-Андерсена, отримано адекватні математичні моделі, на основі яких за функцією бажаності здійснено пошук оптимального складу композиції: лак на основі розчину нітроцелюлози НЦ-573, азобарвник – полігексаметиленгуанідін-□-нафтолсульфанілову кислоту хлориду барію, розчинник – етилацетат, розріджувач – етиловий спирт, пластифікатор – алкілкарбокситаноламін синтетичних жирних кислот фракції С₇...С₉ у співвідношенні інгредієнтів, відповідно, 0.1825: 0.1825: 0.5248: 0.0852: 0.0250. Розроблена композиція забезпечує високі показники адгезійної міцності до мокрої шкіри і стійкості покриття до тертя при оптимальній товщині покривної плівки і може бути використана для відновлення зруйнованої покривної плівки під час експлуатації чи хімічного чищення.

Література

1. Касьян Э. Е. Использование алкилкарбокситаноламинов в покрывном крашении кож / Э. Е. Касьян, А. Г. Данилкович // Кожевенно-обувная промышленность. – 1990. – № 9. – С. 29-32.
2. Попова Е. Н. Синтез азокрасителей на основе полигексаметиленгуанидина / Е. Н. Попова, О. Э. Кошелева // Весник ДИТУД. – 2001. – № 1. – С. 32-35.
3. А. с. 1437376 СРСР, МКИ⁴ С 09 D 3/16, С 14 С 11/00. Состав для отделки натуральной и синтетической кожи / Л. М. Колесникова, Л. И. Боброва, Н. А. Пашкова, Л. П. Посысаева (СССР). – № 4122891/23-05; заявл. 24.09.86; опубл. 15.11.88, Бюл. № 42.
4. Пат. 2029774 РФ, МПК⁶ С09В45/16, С09В67/36, D06P3/32. Состав для крашения натуральной кожи / Муфуртов Л. И., Артемьева З. К., Солодова К. В., Лысков С. Ю.; заявитель и патентообладатель Чебоксарское объединение «Химпрм». – № 5040592/05; заявл. 29.04.1992; опубл. 27.02.1995.
5. Данилкович А.Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра: / А.Г. Данилкович. – [навч. пос.]. [2-е вид., переробл. і доп.]: – К.: Фенікс, 2006. – 340 с.
6. Новик Ф.С. Планирование эксперимента на симплексе при изучении металлических систем. / Ф.С. Новик – М.: Металургия, 1985. – 256 с.
7. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учеб. пособие для хим. – технол. спец. вузов / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк., 1985. – 327 с.
8. Брановицкая С.В. Вычислительная математика в химии и химической технологии / С.В. Брановицкая, Р.Б. Медведев, Ю.А. Фиалков – К.: Вища школа, 1986. – 216 с.

Надійшла 25.5.2010 р.