

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-297-3-115-121
УДК 675.046

А.О. БОНДАРЄВА

Київський національний торговельно-економічний університет
ORCID ID: 0000-0002-3241-2726
e-mail: a.bondarieva@knute.edu.ua

Е.С. КАСЬЯН

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0002-9540-2824
e-mail: kee2@ukr.net

О.Р. МОКРОУСОВА

Київський національний торговельно-економічний університет
ORCID ID: 0000-0003-1943-8048
e-mail: olenamokrousova@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПОКРИТТЯ ШКІР

Стаття присвячена моделюванню показників якості покриття шкір шляхом оптимізації складу покривної композиції на основі плівкоутворювачів різної хімічної природи та пігментного матеріалу. В роботі використано плівкоутворювачі з високим і низьким модулем еластичності та пігментний матеріал чорного кольору на основі забарвленого модифікованого монтморилоніту. Оптимізацію складу покривної композиції здійснено із використанням методу симплексно-решітчастого планування. Критерії оптимальності планів забезпечені D-оптимальною симплексною решіткою для поліному третього порядку. Оптимальний склад покривної композиції визначено з використанням графічного методу за кривими рівних значень властивостей на площині правильного симплексу. Встановлено оптимальний склад покривної композиції та змодельовано оптимальні значення показників якості покриття шкір.

Ключові слова: оздоблення, покриття, шкіра, моделювання, оптимізація, плівкоутворювач, пігмент.

ANNA O. BONDARYEVA

Kyiv National University Of Trade And Economics

EDUARD E. KASYAN

Kyiv National University of Technologies And Design

OLENA R. MOKROUSOVA

Kyiv National University Of Trade And Economics

MODELING OF QUALITY INDICATORS OF THE LEATHER COATING

The article is devoted to modeling the quality of leather coatings by optimizing the composition of the coating composition based on polymer film formers of different chemical nature and pigment material. Finishing coating affects the quality of the leather coating and regulates the physico-chemical, physico-mechanical and hygienic parameters of the leather semi-finished product. The quality of the leather coating is assessed by a lot of indicators. Quantitative indicators of physicochemical, physico-mechanical and hygienic properties characterize the behavior of the coating during operation. The aim of the work is to model the quality indicators of the leather coating by optimizing the composition of the coating composition obtained using pigment materials based on colored modified dispersions of montmorillonite and polymer film formers of different chemical nature. The influence of components of covering compositions on physical-mechanical and operational indicators of a covering is investigated in the work. Mathematical models were obtained using D-optimal simplex lattice plans of the experiment. Using mathematical models, the influence of individual components of the coating composition and their ratio on the quality of the leather coating is described. By multicriteria optimization of the generalized desirability function and the method of fair compromise, the optimal (rational) ratios of the components of the coating composition are obtained, which give the leather finishing coating the necessary quality indicators. The obtained experimental indicators of the properties of the leather coating are completely correlated with the indicators calculated by modeling. This confirms the reliability of the simulation results and indicate the high quality of the studied coating on the leather.

Keywords: finishing, coating, leather, modeling, optimization, film former, pigment

Постановка проблеми

Сучасне оздоблення шкіряного напівфабрикату передбачає створення комплексу властивостей покриття і готової шкіри, що мають задовольняти технологічним, експлуатаційним і естетичним вимогам та забезпечувати комфортність і тривале використання шкіряних виробів. Важливу роль у цьому відіграє покривне фарбування, від якого залежать не лише зовнішній вигляд, але й експлуатаційні характеристики та комфортність виробів.

Виконання процесу покривного фарбування значною мірою впливає на показники якості покриття на шкірі, оскільки в кінцевому результаті визначає фізико-хімічні, фізико-механічні та гігієнічні показники шкіряного напівфабрикату і нанесеної на нього покривної плівки, що врешті-решт формує якість готових шкір. Відомо, що зовнішній вигляд шкіряних виробів у процесі їх експлуатації погіршується насамперед у результаті руйнування не самої шкіри, а покриття на ній [1–3].

Якість покриття на шкірі може бути визначена лише за сукупністю показників, що характеризують їх основні властивості. Для всебічної оцінки якості покриття і готової шкіри використовують понад 30

показників, причому деякі з них неможливо кількісно визначити (наприклад, зовнішній вигляд). Кількісні показники цих властивостей характеризують поведінку покриття під час експлуатації. До найважливіших властивостей, з точки зору комфортності й тривалого використання виробів, можна віднести: міцність, яку обумовлює покриття при експлуатації в сухих і вологих умовах; видовження, достатнє для збереження покриття при максимальному, практично необхідному розтягуванні шкіри; твердість, що характеризується модулем високоеластичності покриття; стійкість до повторних деформацій "розтягування–скорочення" та вигину; стійкість до тертя в сухому і мокрому вигляді, що обумовлює міцність тримання покриття в процесі експлуатації в сухих і вологих умовах; адгезійні властивості, що забезпечують міцність тримання покриття на шкірі; паро- і повітропроникність, що обумовлюють гігієнічні властивості покриття, а також стійкість покриття до старіння [2, 3]. Зазначене свідчить про важливість цілеспрямованого оцінювання властивостей та показників для встановлення якості оздоблювального та захисного покриття шкір.

Аналіз останніх досліджень

Порівняльним аналізом результатів дослідження експлуатаційних властивостей покриттів на основі полімерів різної хімічної природи встановлено, що найперспективнішими оздоблювальними композиціями є водні системи акрилових і поліуретанових плівкоутворювачів, їх сумішей та співполімерів [1, 2, 4].

Застосування таких композицій для покривного фарбування дає можливість поєднати позитивні властивості кожної складової і завдяки унікальним особливостям окремих компонентів формувати покриття на шкірі з високими, як у поліуретанів, фізико-механічними і термодинамічними характеристиками та забезпечувати завдяки поліакрилатам гарні гігієнічні властивості покривних плівок [4, 5].

Важливим компонентом покривних фарб також є пігменти, непрозорі, нерозчинні в дисперсійних середовищах і середовищах, що зафарбовують, високодисперсні забарвлені речовини, що надають покриттю необхідного забарвлення.

У покривній композиції пігменти перебувають у формі тонкої суспензії в дисперсії полімеру-плівкоутворювача. Для забезпечення колоїдної стійкості покривної фарби необхідно, щоб пігмент у ній був рівномірно диспергований, мав повний контакт із полімером, був захищеним від злипання (флокуляції) і не випадав в осад. З цією метою використовують казеїн, метилцелюлозу, акрилові в'язучі речовини, захисні колоїди, ПАР тощо [3, 6, 7].

Одним із сучасних напрямів удосконалення складу покривних фарб є використанням пігментних матеріалів на основі забарвлених модифікованих дисперсій монтморилоніту, що дозволяє виключити застосування харчового продукту казеїну та інших згущувачів у складі пігментних паст, підвищити їх агрегативну стабільність та стійкість до біоураження. Використання пігментних матеріалів на основі аніонних барвників та модифікованого монтморилоніту забезпечує отримання високоякісного покриття на шкірі з хорошими експлуатаційними характеристиками при здешевленні пігментних матеріалів та зменшених витратах покривної фарби для оздоблення [8–11].

Оскільки склад покривної композиції та особливо вміст у ній пігменту впливають на властивості покривної плівки, важливим завданням є дослідження даного впливу на показники якості покриття та визначення такого співвідношення компонентів у покривній композиції, що забезпечує оптимальні показники якості досліджуваного покриття.

Отже, **метою роботи** є моделювання показників якості покриття шкіри шляхом оптимізації складу покривної композиції, отриманої з використанням пігментних матеріалів на основі забарвлених модифікованих дисперсій монтморилоніту та плівкоутворювачів різної хімічної природи.

Виклад основного матеріалу

Моделювання показників якості оздоблювального покриття шкір здійснювали шляхом оптимізації складу покривної композиції на основі плівкоутворювачів різної хімічної природи, а саме поліакрилату і поліуретану, та пігментного матеріалу – забарвленої аніонним чорним барвником модифікованої дисперсії монтморилоніту.

Оскільки додавання будь-якого пігменту в покривну фарбу, а особливо за участю природних мінералів, спричиняє погіршення еластичності і видовження покривної плівки, то до складу композиції слід обирати м'які й тверді плівкоутворювачі з досить різними значеннями модуля еластичності, що значно збільшує можливість варіювання фізико-механічних показників, а саме міцності, еластичності й видовження, при оптимізації та регулювання значень цих показників згідно з асортиментом готових шкір.

Поєднання плівкоутворювачів різної хімічної природи, як зазначалось, забезпечує формування покриття з необхідним рівнем експлуатаційних властивостей, зокрема високої адгезії покриття до шкіри та стійкості до сухого і мокрого тертя.

Для досліджень обрано м'який поліакрилат SMITCRYL 2100 (Smit & Zoon) – високоеластичний, гнучкий, з високою покривною здатністю, покриття з якого характеризується стійкістю до дії води та до появи тріщин за низьких температур, а також твердий поліуретан PUR 3365 FF (Codyeco, Smit & Zoon company) – високоміцний, стійкий до фізико-механічних навантажень, тертя та зношування.

Пігментний матеріал чорного кольору отримано шляхом поступового змішування катіонної форми монтморилоніту з барвником аніонним чорним. Катіонну форму монтморилоніту отримано в результаті модифікації натрій-монтморилоніту гідроксокомплексами хрому (III) з витратою останніх 10–12 % маси мінералу. Пігментний матеріал характеризується інтенсивністю відтінку та насиченістю чорного кольору в широкому інтервалі рН, є стійким до осадження та розшарування у часі, має високу покривність та

необхідний рівень рН для ефективного суміщення з плівкоутворювачами різної природи [8, 9].

Покривні композиції отримували шляхом ретельного перемішування плівкоутворювачів і досліджуваного пігментного матеріалу. Покривні плівки формували в тефлонових кюветках за стандартною методикою [12] згідно довідникової інформації відповідно до ГОСТ 14243–78 «Матеріали лакокрасочные. Методи получения свободных пленок» та оцінювали їх фізико-механічні характеристики. Формування покриття виконували шляхом нанесення покривних композицій на лицьову поверхню шкіри за типовою технологією оздоблення шкір для верху взуття із природньою лицьовою поверхнею [13]. Показники якості покриття на шкірі визначали згідно традиційних методів [14].

Для оптимізації складу досліджуваної покривної композиції використано метод симплексно-решітчастого планування. При вивченні властивостей оздоблювальних полімерних композицій, які залежать лише від співвідношення компонентів, факторний простір представляє собою правильний $(q - 1)$ – мірний симплекс [15]. Для таких систем виконується співвідношення:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1 \quad (1)$$

де $x_i \geq 0$ – концентрація компонента; q – кількість компонентів.

Серед різних відомих критеріїв оптимальності планів найважливішими є вимоги D і G-оптимальності. D-оптимальним вважається план, який зменшує об'єм еліпсоїду розсіювання оцінок коефіцієнтів рівняння регресії. Властивості G-оптимальності забезпечує найменшу максимальну величину дисперсії передбачених значень відгуку в області дослідження. Для симплексно-решітчастих планів Шеффе характерні властивості D і G-оптимальності тільки при побудові поліномів другого і неповного третього порядку. D-оптимальна симплексна решітка для поліному третього порядку побудована Кіфером (табл. 1).

В якості моделі для трикомпонентної суміші обраний поліном третього порядку:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \gamma_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \gamma_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

де x_i – концентрація компонентів; $\beta_i, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \beta_{jk}$ – відповідні коефіцієнти поліному, причому $1 \leq (i, j, k) \leq 3; i \neq j \neq k$.

Після визначення коефіцієнтів рівняння регресії проводять статистичний аналіз отриманих результатів та перевіряють адекватність моделі. З цією метою проводять досліди в додаткових контрольних точках. Адекватність моделей визначають за допомогою t -критерію Стьюдента [16, 17]. Отримані моделі дають можливість виявити вплив кожного компоненту оздоблювальних полімерних композицій на властивості всієї системи. Визначення оптимального складу покривної композиції можна здійснити графічним методом за кривими рівних значень властивостей на площині правильного симплексу.

Розрахунок коефіцієнтів регресії, перевірки їх значимості та адекватності отриманих рівнянь, розрахунок значень вихідних змінних при оптимізації виконаний за допомогою VBA в середовищі Microsoft Excel.

При вивченні властивостей суміші, які залежать лише від співвідношення компонентів, факторний простір представляє собою правильний симплекс. Для таких систем виконується співвідношення за рівняння 1, коли сума відносних концентрацій усіх компонентів суміші дорівнює одиниці. При цьому відносна концентрація кожного компонента змінюється від 0 до 1, тобто в межах 0–100 %.

Відомо [8, 9], що значний вміст пігменту в покритті спричиняє зростання його жорсткості, однак недостатній вміст негативно позначається на покритності. Тому обрано наступні інтервали зміни концентрації компонентів у досліджуваній композиції: пігменту – (x_1) – 0–30 %, твердого плівкоутворювача (PUR 3365 FF) – (x_2) – 0–100 %, м'якого плівкоутворювача (SMITCRYL 2100) – (x_3) – 0–100 %. В якості функцій відгуку вибрано наступні показники покривних плівок: Y_1 – модуль еластичності при 100-відсотковому видовженні, МПа; Y_2 – межа міцності при розтягуванні, МПа; Y_3 – відносне видовження при розриві, %; Y_4 – адгезія покриття до шкіри, Н/м; Y_5 – стійкість покриття до мокрого тертя, оберти.

При наявності обмежень зміни концентрацій деяких компонентів (наприклад пігменту) в суміші локальна область на діаграмі представляє собою неправильний симплекс. У цьому випадку проводиться перенормування і склади в вершинах локального симплексу приймаються за псевдокомпоненти (z_1, z_2, z_3) так, щоб виконувалась умова (рівняння 1). Планування експерименту і отримання його математичної моделі виконували в системі координат псевдокомпонентів. Для проведення експерименту виконували перехід від псевдокомпонентів z_1 до початкових компонентів x_1 . План експерименту і значення функцій відгуку наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика плану експерименту

Номер досліджу	План						Y ₁ , МПа	Y ₂ , МПа	Y ₃ , %	Y ₄ , Н/м	Y ₅ , Оберти
	z ₁	z ₂	z ₃	x ₁	x ₂	x ₃					
1	1	0	0	30	0	70	9,6	9,7	110	160	40
2	0	1	0	0	100	0	2,1	12,6	990	320	120
3	0	0	1	0	0	100	0,43	4,8	1285	160	230
4	0,7236	0,2764	0	21,71	27,64	50,65	4,9	5,9	250	180	20
5	0,2764	0,7236	0	8,29	72,36	19,35	2,8	6,3	625	240	50
6	0,7236	0	0,2764	21,71	0	78,29	4,1	10	610	200	20
7	0,2764	0	0,7236	8,292	0	91,71	1,34	5,1	750	320	40
8	0	0,7236	0,2764	0	72,36	27,64	1,63	7,1	825	225	80
9	0	0,2764	0,7236	0	27,64	72,36	0,8	4,35	1070	230	130
10	0,3333	0,3333	0,3334	10,00	33,33	56,67	2,03	6,35	690	195	40
11	0,22	0,56	0,22	6,6	56	37,4	2,0	6,6	915	290	40
12	0,44	0,12	0,44	13,2	12	74,8	2,4	8,4	700	290	20

Отримані математичні моделі вихідних змінних мають вигляд:

$$Y_1 = 9,6z_1 + 2,1z_2 + 0,43z_3 - 9,9998z_1z_2 - 11,475z_1z_3 - 0,25z_2z_3 - 7,0102z_1z_2(z_1-z_2) - 7,4955z_1z_3(z_1-z_3) + 0,46498z_2z_3(z_2-z_3) + 10,814z_1z_2z_3 \quad (3)$$

$$Y_2 = 9,7z_1 + 12,6z_2 + 4,8z_3 - 25,25z_1z_2 + 1,5z_1z_3 - 14,875z_2z_3 + 5,0138z_1z_2(z_1-z_2) + 15,142z_1z_3(z_1-z_3) - 4,1265z_2z_3(z_2-z_3) + 43,425z_1z_2z_3 \quad (4)$$

$$Y_3 = 100z_1 + 990z_2 + 1285z_3 - 537,49z_1z_2 - 62,499z_1z_3 - 949,99z_2z_3 + 128,62z_1z_2(z_1-z_2) + 2179,8z_1z_3(z_1-z_3) - 632,12z_2z_3(z_2-z_3) + 1905,1z_1z_2z_3 \quad (5)$$

$$Y_4 = 160z_1 + 320z_2 + 160z_3 - 150z_1z_2 + 499,99z_1z_3 - 62,499z_2z_3 + 64,579z_1z_2(z_1-z_2) - 670,83z_1z_3(z_1-z_3) - 427,95z_2z_3(z_2-z_3) - 1357,5z_1z_2z_3 \quad (6)$$

$$Y_5 = 40z_1 + 120z_2 + 230z_3 - 225z_1z_2 - 524,99z_1z_3 - 349,99z_2z_3 + 32,289z_1z_2(z_1-z_2) + 363,19z_1z_3(z_1-z_3) - 4,5169z_2z_3(z_2-z_3) + 869,95z_1z_2z_3 \quad (7)$$

Адекватність отриманих рівнянь (3–7) перевіряли за допомогою *t*-критерію Стьюдента, використовуючи 2 контрольні точки (номер досліджу 11-12) плану експерименту (табл. 1). При кількості дослідів *N*=12, числі паралельних дослідів *n*=5 і рівні значимості *p*=0,05 табличне значення критерію Стьюдента *t*_т=2,17. Для всіх контрольних точок *t*-співвідношення менше табличного, тобто моделі (3–7) є адекватними.

З метою вивчення впливу складу оздоблювальної покривної композиції на властивості покриття виконані відповідні розрахунки значень вихідних змінних та побудовані криві рівних значень показників покриття на площині правильного симплекса в системі координат псевдокомпонентів (рис. 1).

Для практичного використання результатів аналізу регресійних моделей виконували перехід від псевдокоординат до натуральних змінних за допомогою формул переведення координат із однієї системи в іншу [15]. Використовуючи розраховані формули зв'язку між координатами *z_i* і *x_i*:

$$x_1 = 0,3 z_1; \quad x_2 = z_2; \quad x_3 = 1 - 0,3 z_1 - z_2 = 1 - x_1 - x_2;$$

можна визначити оптимальні співвідношення компонентів покривної композиції в початкових (натуральних) координатах та оптимальні значення кожної вихідної змінної *Y_{omn}*.

Як видно з рівнянь (3–7), усі компоненти покривної фарби впливають на якість оздоблювального покриття шкір. Пігмент, зв'язаний з монтморилонітом, підвищує міцність плівок і знижує їх видовження, помітно впливає на адгезію покриття і знижує його стійкість до мокрого тертя.

Задачу оптимізації процесів, що характеризуються декількома відгуками, як правило, зводять до оптимізації за одним критерієм з обмеженнями у вигляді рівнянь та нерівностей. В залежності від поверхні відгуку та характеру обмежень для оптимізації використовують ряд методів. Одним з найбільш вдалих способів вирішення задачі оптимізації з великою кількістю відгуків є використання у якості узагальненого критерію оптимізації так званого критерію Харингтона або узагальненої функції бажаності *D*, а також методу справедливого компромісу.

Для побудови узагальненої функції бажаності *D* перетворювали вимірні значення відгуків у безрозмірну шкалу бажаності *d* за допомогою методу кількісних оцінок з інтервалом значень бажаності від нуля до одиниці. Значення *d*=0 (або *D*=0) відповідає абсолютно неприйнятному значенню даного відгуку; 0,63-0,79 = хорошому; 0,80-0,99 = дуже хорошему значенню; а *d*=1 (або *D*=1) = найкращому значенню відгуку, причому подальше його покращання або неможливе, або не має рації [16].

Як видно з рис. 2, узагальнююча функція бажаності *D* має максимальне значення *D*=0,60-0,65 в означеній області симплекса, що характеризує цю ділянку симплексу як область оптимальних значень вихідних змінних, і дозволяє провести оптимізацію складу покривної композиції з високою достовірністю.

Якщо певний процес описують декількома рівняннями регресії і важливими є результати кількох вихідних змінних, то у цьому випадку слід вирішувати компромісну задачу – визначити екстремальне значення однієї вихідної змінної за умови обмежень, що накладаються на інші та на границі областей дослідження (метод справедливого компромісу). Оптимум параметрів, що досягається при виконанні таких

умов, як правило, називають умовним або відносним, а область параметрів процесу, в межах якої отримують вихідні змінні, що задовольняють усім зазначеним вимогам, – раціональною чи компромісною областю [16].

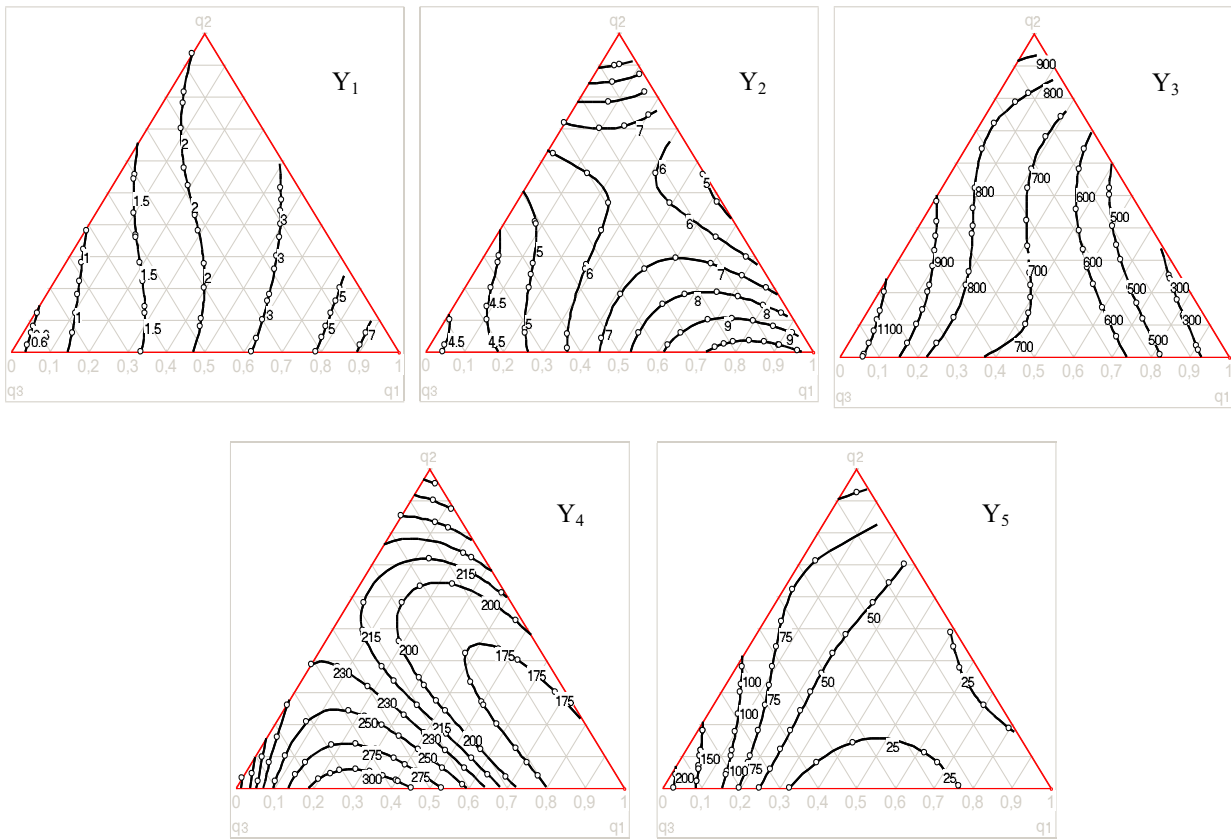


Рис. 1. Криві рівних значень показників покриття для вихідних змінних: Y_1 – модуль еластичності при 100-відсотковому видовженні, МПа; Y_2 – межа міцності при розтягуванні, МПа; Y_3 – відносне видовження при розриві, %; Y_4 – адгезія покриття до шкіри, Н/м; Y_5 – стійкість покриття до мокрого тертя, обerti

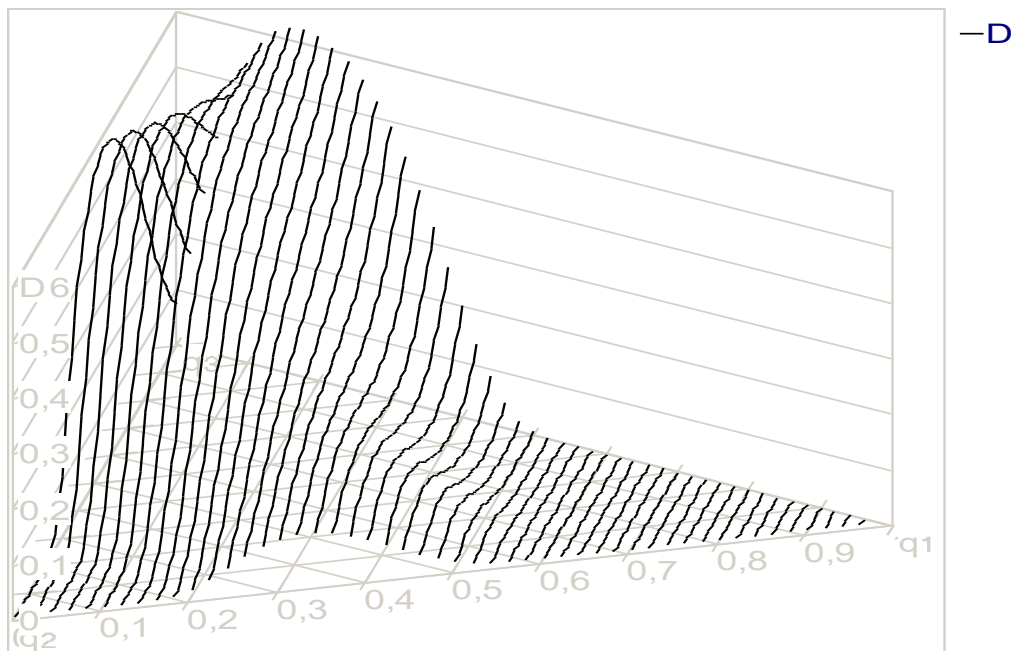


Рис. 2. Узагальнена функція бажаності

Особливістю такого методу оптимізації є те, що змінюючи границі обмежень вихідних змінних, можна регулювати співвідношення компонентів покривної композиції з метою отримання вихідних змінних з урахуванням технологічних вимог до формування покриття на шкірах певного асортименту, тобто регулювати, а точніше, моделювати показники якості покриття різних видів шкір.

Визначення оптимального складу покривної композиції проводили шляхом багатокритеріальної оптимізації графічним методом за кривими рівних значень показників покриття $Y_1 - Y_5$ на площині

правильного симплексу (рис. 3).

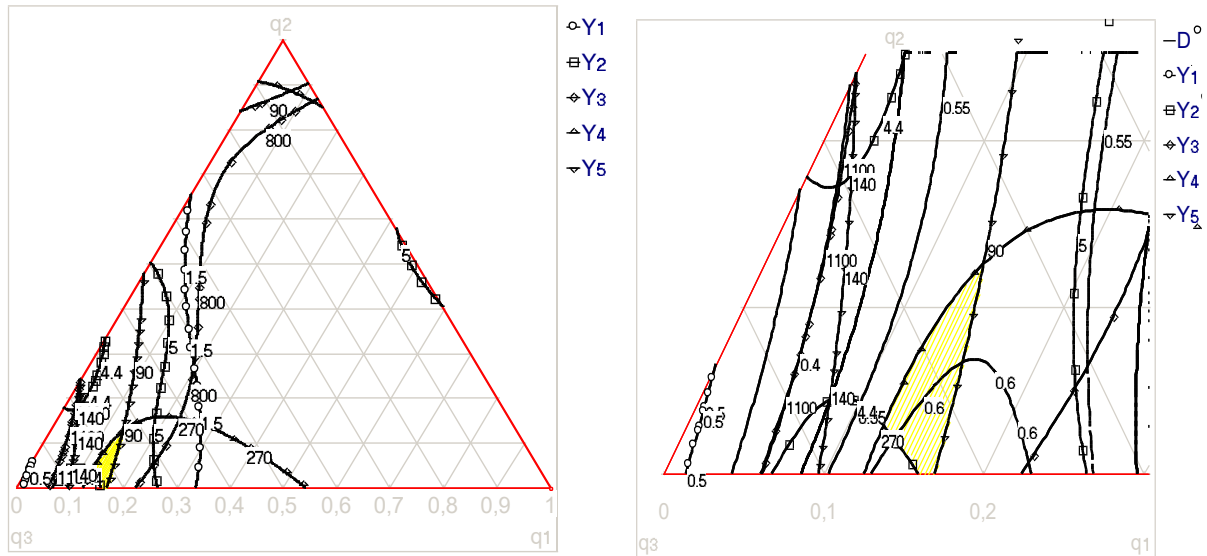


Рис. 3. Область оптимальних значень вихідних змінних: Y_1 – модуль еластичності при 100-відсотковому видовженні, МПа; Y_2 – межа міцності при розтягуванні, МПа; Y_3 – відносне видовження при розриві, %; Y_4 – адгезія покриття до шкіри Н/м; Y_5 – стійкість покриття до мокрого тертя, оберти

Враховуючи особливі вимоги до покриття шкір для верху взуття, а саме високі міцність, адгезію до шкіри та стійкість до мокрого тертя, на вихідні змінні були накладені наступні обмеження мінімальних і максимальних значень: $Y_1=0,5-1,5$ МПа; $Y_2=4,4-5,0$ МПа; $Y_3=800-1100$ %; $Y_4=270-300$ Н/м; $Y_5=90-140$ обертів.

У результаті проведеної оптимізації отримано оптимальні (раціональні) співвідношення компонентів покривної композиції, що забезпечують покривній плівці необхідні якісні показники. Оптимальний склад покривної композиції (%):

- пігментний матеріал – 4,5 - 5,0;
- уретановий плівкоутворювач PUR 3365 FF – 3,0 - 5,0;
- акриловий плівкоутворювач SMITCRYL 2100 – 90,0 - 92,5.

Використання даного складу покривної композиції забезпечує формування покриття на шкірі з наступними показниками якості: $Y_1=0,96 - 1,06$ МПа; $Y_2=4,4-4,5$ МПа; $Y_3=900-915$ %; $Y_4=280-290$ Н/м; $Y_5=100-110$ обертів (рис. 3).

Для підтвердження результатів оптимізації складу покривної фарби було приготовлено покривну фарбу оптимального складу та проведено оздоблення лицьової поверхні шкір. Результати досліджень якості оздоблювального покриття шкіри наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Показники якості покриття шкір

№п/п	Показники якості покриття	Значення	
		розрахункове	експериментальне
1	Модуль еластичності σ_{100} , МПа	0,98	1,1
2	Межа міцності при розтягуванні σ_p , МПа	4,48	4,65
3	Відносне видовження при розриві, ε %	915	905
4	Адгезія покриття до шкіри, Н/м: - сухої - мокрої	285 -	300 185
5	Стійкість покриття до: - мокрого тертя, обертів - багаторазового вигину, тис. вигинів	100 -	110 < 100000
6	Повітропроникність, $\text{см}^3/\text{см}^2 \times \text{год}$.	-	42,3
7	Рівномірність забарвлення, балів	-	5
8	Стійкість забарвлення до мокрого тертя, бал	-	5

Таким чином, отримані експериментальні дані корелюють з розрахунковими даними математичного моделювання, що підтверджує достовірність результатів моделювання і свідчать про високу якість досліджуваного покриття на шкірі. Незначна відмінність експериментальних і розрахункових показників якості покриття може бути пов'язана з умовами формування покривної плівки.

Висновки

Стаття присвячена моделюванню показників якості покриття шкір шляхом оптимізації складу покривної композиції на основі акрилового й уретанового плівкоутворювачів різного ступеня твердості та пігментного матеріалу, отриманого на основі забарвлених модифікованих дисперсій монтморилоніту.

В роботі досліджено вплив компонентів покривних композицій, а саме пігментних матеріалів на основі забарвленого аніонним чорним барвником модифікованих дисперсій монтморилоніту та плівкоутворювачів різної хімічної природи й твердості, на фізико-механічні та експлуатаційні показники покриття.

За допомогою D-оптимальних симплексно-решіткових планів експерименту отримано математичні моделі, що описують вплив окремих компонентів трикомпонентної покривної композиції та їх співвідношення на показники якості покриття на шкірі.

Шляхом багатокритеріальної оптимізації узагальненої функції бажаності та методу справедливого компромісу отримано оптимальні (раціональні) співвідношення компонентів покривної композиції, що забезпечують покриття на шкірі необхідні якісні показники.

Отримані експериментальні показники властивостей покриття на шкірі повністю корелюють з показниками, розрахованими шляхом моделювання, що підтверджує достовірність результатів моделювання і свідчать про високу якість досліджуваного покриття на шкірі.

Література

1. Arthur A. Tracton. Coatings technology Handbook. Taylor and Francis Group. 2006. 829 p.
2. Arthur A. Tracton. Coatings Materials and Surface Coatings. CRC Press. Taylor and Francis Group. New York. 2007. 464 p.
3. Зурабян К. М., Байдакова Л. И. Отделка кож / Зурабян К. М., Байдакова Л. И. – М. : Легк. и пищ. пром-сть, 1984. – 184 с.
4. Екологічно орієнтовані технології виробництва шкіряних та хутрових матеріалів для створення конкурентоспроможних товарів : монографія : в 2 ч. Ч. 1 / Екологічно орієнтовані технології виробництва шкіряних та хутрових матеріалів / [Данилкович А. Г., Ліщук В. І., Плаван В. П., Касьян Е. Є., Жигочський О. Г.] ; за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2011. – 438 с.
5. Касьян Е. Є. Фізико-хімія полімерних плівкоутворювачів для оздоблення шкіри : [навч. посіб.] / Касьян Е. Є. – Київ : Освіта України, 2019. – 178 с.
6. Winter C., Borges Agustini C., Elizabeth M., Schultz R., Gutterres M. Influence of pigment addition on the properties of Polymer films for leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2017. Vol. 101. № 2. P. 78–85.
7. Osgood m. J. Pigments in modern leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 1990. Vol. 74. № 1. P. 1–6.
8. Бондарева О.А. Розробка та використання гібридних пігментів у покривному оздобленні шкір / О.А. Бондарева, О.Р. Мокроусова, О.А. Охмат // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 2 (283). – С. 26–36.
9. Bondaryeva Anna, Mokrousova Olena, Okhmat Olena. Hybrid pigments based on montmorillonite and anionic dyes for leather finishing. Solid State Phenomena. 2021. Vol. 320, pp. 198–203.
10. Бондарева А.О., Мокроусова О.Р., Охмат О.А. Спосіб отримання пігментного концентрату для оздоблення шкір. Патент UA № 144635 Україна. опубл. 12.10.2020, «Промислова власність», бюл. № 19/2020.
11. Бондарева А.О. Формування фізико-механічних властивостей полімерно-мінерального покриття для оздоблення шкір / А.О. Бондарева, О.Р. Мокроусова Товари і ринки. – 2020. – № 2. – С. 97–109.
12. Справочник кожевника: отделка. Контроль производства / [под ред. Н. А. Балберовой]. – М. : Легпромбытиздат, 1987. – 256 с.
13. Данилкович А.Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри : навчальний посібник / Данилкович А.Г., Мокроусова О.Р., Охмат О.А. – К. : Фенікс, 2009. – 578 с.
14. Данилкович А. Г. Практикум з хімії та технології шкіри та хутра : навч. посібник / Данилкович А. Г. – К. : Фенікс, 2006. – 338 с.
15. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / Зедгинидзе И.Г. – М. : Наука, 1976. – 390 с.
16. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. – М. : Высшая школа, 1985. – 327 с.
17. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии / Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И. А. – К. : Вища школа, 1980. – 264 с.

References

1. Arthur A. Tracton. Coatings technology Handbook. Taylor and Francis Group. 2006. 829 p.
2. Arthur A. Tracton. Coatings Materials and Surface Coatings. CRC Press. Taylor and Francis Group. New York. 2007. 464 p.
3. Zurabyan K. M., Bajdakova L. I. Otdelka kozh / Zurabyan K. M., Bajdakova L. I. – М. : Legk. i pish. prom-st, 1984. – 184 s.
4. Ekologichno orientovani tekhnologii vyrobnytstva shkirianykh ta khutrovyykh materialiv dlia stvorennia konkurentospromozhnykh tovariv : monohrafiia : v 2 ch. Ch. 1 / Ekologichno orientovani tekhnologii vyrobnytstva shkirianykh ta khutrovyykh materialiv / [Danylkovich A. H., Lishchuk V. I., Plavan V. P., Kasian E. Ye., Zhyhotskiy O. H.] ; za red. A. H. Danylkovycha. – K. : Feniks, 2011. – 438 s.

5. Kasian E. Ye. Fizyko-khimiia polimernykh plivkoutvoriuvachiv dlia ozdoblennia shkiry : [navch. posib.] / Kasian E. Ye. – Kyiv : Osvita Ukrainy, 2019. – 178 s.
6. Winter C., Borges Agustini C., Elizabeth M., Schultz R., Gutterres M. Influence of pigment addition on the properties of Polymer films for leather finishing. *J. Soc. Leather. Technol. Chem.* 2017. Vol. 101. № 2. P. 78–85.
7. Osgood m. J. Pigments in modern leather finishing. *J. Soc. Leather. Technol. Chem.* 1990. Vol. 74. № 1. P. 1–6.
8. Bondarieva O.A. Rozrobka ta vykorystannia hibrydnykh pihmentiv u pokryvnomu ozdoblenni shkir / O.A. Bondarieva, O.R. Mokrousova, O.A. Okhmat // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky.* – 2020. – № 2 (283). – S. 26–36.
9. Bondaryeva Anna, Mokrousova Olena, Okhmat Olena. Hybrid pigments based on montmorillonite and anionic dyes for leather finishing. *Solid State Phenomena.* 2021. Vol. 320, pp. 198–203.
10. Bondarieva A.O., Mokrousova O.R., Okhmat O.A. Sposib otrymannia pihmentnoho kontsentratu dlia ozdoblennia shkir. Patent UA № 144635 Ukraina. opubl. 12.10.2020, «Promyslova vlasnist», biul. № 19/2020.
11. Bondarieva A.O. Formuvannia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei polimerno-mineralnoho pokryttia dlia ozdoblennia shkir / A.O. Bondarieva, O.R. Mokrousova *Tovary i rynky.* – 2020. – № 2. – S. 97–109.
12. *Spravochnik kozhevnik: otdelka. Kontrol proizvodstva* / [pod red. N. A. Balberovoj]. – M. : Legprombytizdat, 1987. – 256 s.
13. Danylkovych A.H. *Tekhnolohiia i materialy vyrobnytstva shkiry : navchalnyi posibnyk* / Danylkovych A.H., Mokrousova O.R., Okhmat O.A. – K. : Feniks, 2009. – 578 s.
14. Danylkovych A. H. *Praktykum z khimii ta tekhnolohii shkiry ta khutra : navch. posibnyk* / Danylkovych A. H. – K. : Feniks, 2006. – 338 s.
15. Zedginidze I.G. *Planirovanie eksperimenta dlya issledovaniya mnogokomponentnykh sistem* / Zedginidze I.G. – M. : Nauka, 1976. – 390 s.
16. Ahnazarova S.L. *Metody optimizatsii eksperimenta v himicheskoy tehnologii* / Ahnazarova S.L., Kafarov V.V. – M. : Vysshaya shkola, 1985. – 327 s.
17. Bondar A.G. *Planirovanie eksperimenta pri optimizatsii processov himicheskoy tehnologii* / Bondar A.G., Statyuha G.A., Potyazhenko I. A. – K. : Visha shkola, 1980. – 264 s.