УДК 675.92.027:675.2 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.1.12

А. Г. ДАНИЛКОВИЧ
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри біотехнології, шкіри та хутра
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-5707-0419

О. А. ОХМАТ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри біотехнології, шкіри та хутра
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0003-0927-8706

Г. М. МИХАЙЛОВА
доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри товарознавства та митної справи
Державний торговельно-економічний університет
ORCID: 0000-0002-1083-5875

ПІДВИЩЕННЯ ОДНОРІДНОСТІ ЕЛАСТИЧНОЇ ШКІРИ З КІНСЬКОЇ СИРОВИНИ

Метою роботи є підвищення однорідності еластичної шкіри з кінської сировини при використанні синтанно-танідної композиції з алкілкарбоксиетаноламінами аліфатичних кислот C_{7-9} в процесах рідинного оздоблювання. У роботі використано зразки площею 25 дм^2 напівфабрикату хромового дублення з кінської сировини з різних топографічних ділянок – спини, шиї та черева, що відрізняються значною неоднорідністю. Симетрично хребтовій лінії відібрані контрольні зразки.

У роботі проведено дослідження комплексу фізико-хімічних властивостей шкіри з кінської сировини з використанням синтанно-танідної композиції з алкілкарбоксиетаноламіни аліфатичних кислот C_{7-9} на стадії рідинного оздоблювання напівфабрикату хромового дублення. Водночас оцінена однорідність отриманого матеріалу за коефіцієнтом рівномірності. Визначення хімічного складу шкіри за топографічними ділянками дало можливість встановити збільшення вмісту дубильних речовин органічної природи в ділянках з меншою щільністю. При цьому спостерігається незначне підвищення товщини в цих же ділянках. Ефективне наповнення об'єму шкіряного напівфабрикату при використанні синтанно-танідної композиції з алкілкарбоксиетаноламіни забезпечує збільшення виходу площі матеріалу на 3,4 %. За коефіцієнтом рівномірності отримані шкіри характеризуються високою однорідністю деформаційних властивостей всіх топографічних ділянок, що сприяє ефективному розкроюванню деталей для верху взуття при виготовленні виробів широкого асортименту. Порівняно з промисловою технологією отримані шкіри мають вищий коефіцієнт рівномірності деформаційних властивостей на 21,0 %. Це дає підставу рекомендувати склад синтанно-танідної композиції для апробації в промислових умовах на стадії рідинного оздоблювання.

Ключові слова: *напівфабрикат шкур коней, наповнювання, обладнання шкіряного виробництва, синтанно-танідна композиція, алкілкарбоксиетаноламіни, фізико-хімічні властивості шкіри.*

A. H. DANYLKOVYCH
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Biotechnology, Leather and Fur
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-5707-0419

O. A. OKHMAT
PhD of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Biotechnology, Leather and Fur
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0003-0927-8706

© А. Г. Данилкович, О. А. Охмат, Г. М. Михайлова, 2025
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

H. M. MYKHAILOVA
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Commodity Science and Customs Affairs
State University of Trade and Economics
ORCID: 0000-0002-1083-5875

ENHANCING THE UNIFORMITY OF ELASTIC LEATHER FROM EQUINE HIDES

The objective of this work is to enhance the uniformity of elastic leather made from equine hides by using a syntan-tannin composition with C_{7-9} aliphatic acid alkylcarboxyethanolamines in the wet-finishing processes. For this study, we used samples of chrome-tanned semi-finished leather (wet-blue) from equine hides, each measuring 25 dm², taken from various topographical areas, including the back, neck, and belly, which are characterised by significant non-uniformity. Control samples were symmetrically taken along the spine line. The study investigated the complex of physicochemical properties of leather from equine hides using the syntan-tannin composition with alkylcarboxyethanolamines of C_{7-9} aliphatic acids during the wet-finishing stage of the chrome-tanned semi-finished product. Simultaneously, the uniformity of the resulting material was evaluated using the coefficient of uniformity. Determining the chemical composition of the leather across the topographical areas allowed us to establish an increase in the content of organic tanning agents in regions with lower density. A slight increase in thickness was also observed in these same areas. The effective filling of the volume of the leather semi-finished product, achieved by employing a syntan-tannin composition with alkylcarboxyethanolamines, results in a 3.4% increase in the material's area yield. Based on the coefficient of uniformity, the produced leathers are characterised by high uniformity of deformation properties across all topographical areas. This facilitates the efficient cutting of components for shoe uppers in the manufacture of a wide range of products. Compared to industrial technology, the resulting leathers have a 21.0% higher coefficient of uniformity for deformation properties. This provides a basis for recommending the syntan-tannin composition for industrial trials at the wet-finishing stage.

Key words: *Equine hide semi-finished product, retanning, leather production equipment, syntan-tannin composition, alkylcarboxyethanolamines, physicochemical properties of leather.*

Постановка проблеми

Виробництво натуральної шкіри з однорідними властивостями по всім топографічним ділянкам одна з найскладніших задач у шкіряній промисловості. Ця складність обумовлюється значними природними відмінностями у структурі різних топографічних ділянок шкури, їх товщиною та властивостями. Неоднорідність властивостей вказаних ділянок шкіри може призвести до отримання на одній шкірі різного результату при здійсненні механічної обробки: тиснення, нарізки, пресування, шліфування. Під час оздоблювання шкіри може спостерігатися різнотон забарвлення, плямистість, провалювання апретури тощо. Слід зауважити, що при розкроюванні деталей із шкіряних матеріалів враховуються щільність структури, рівень її міцності, м'якості та еластичності. Якщо вказані властивості різко відрізняються при розкроюванні однієї шкіри, то коефіцієнт розкрійності падає, а обсяг лоскуту зростає. А отже, розроблення технологій, спрямованих на отримання шкіряних матеріалів з однорідними властивостями по всім топографічним ділянкам, дозволить не тільки забезпечити комплекс необхідних фізичних, фізико-механічних та естетичних характеристик, а і високі експлуатаційні властивості виробів із даної шкіри за умови мінімізації твердих колагенвмісних відходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Результати дослідження колоїдно-хімічних особливостей взаємодій хімічних реагентів різного хімічного складу з колагеном дерми шкіряного напівфабрикату при його наповнюванні та фізико-хімічні властивості отриманих матеріалів наведені в ряді робіт. У роботі [1] представлені результати дослідження впливу полімерів: фенолформальдегіду PFR, меламіноформальдегіду MFR, акрилату AR та біополімеру BP на комплекс фізико-хімічних властивостей отриманої шкіри. При цьому перший полімер в більшій мірі підвищує міцність шкіряного матеріалу, а полімери на основі меламіноформальдегіду та біомаси ефективно підвищують відповідно товщину периферійних ділянок, їх щільність і вихід площі. Для підвищення ефективності наповнювання напівфабрикату хромового дублення рекомендують використовувати поліетиленгліколь акрилової кислоти [2], який дифундує в напівфабрикат, блокуючи незв'язані комплекси хрому (III). При підлужуванні середовища цей реагент активно взаємодіє з комплексами хрому (III) і фібрилярною структурою колагену дерми та зшиває її. Це сприяє суттєвому формуванню фізико-хімічних властивостей шкіряного матеріалу.

Дослідженням фізико-хімічних властивостей шкіри з сировини великої рогатої худоби при використанні як наповнювачів синтанів LF-187 та RS-3 [3], отриманих на основі меламінформальдегіду і поліакрилату, встановлено, що ефективне оброблення хромового напівфабрикату досягається при використанні синтану RS-3 з витратою 2 % маси напівфабрикату.

Підвищення міцності шкіряного матеріалу досягається використанням алюмосилікату, модифікованого акриловим полімером [4]. При цьому максимальне значення міцності спостерігається за витрати алюмосилікату 5 %. Водночас, шкіряний матеріал отриманий за розробленою технологією має вищі показники наповненості

периферійних ділянок, товщини та еластичності порівняно з матеріалом стандартної технології. Аналогічний ефект підвищення фізико-хімічних властивостей має матеріал отриманий авторами при наповнюванні напівфабрикату нанокомпозитом алюмосилікат/акриловий полімер [5]. Результати взаємодії реагентів, до складу яких входять акриловий полімер, меламін і ароматичні сполуки з колагеном шкіряного напівфабрикату описані в роботі [6]. На основі отриманих даних розроблена ресурсоощадна технологія формування хромової шкіри з сировини козлини для верху взуттєвих виробів. При наповнюванні напівфабрикату хромового дублення використано нанокомпозит монтморилоніту, модифікований декозиновою кислотою, ріпакової олії, етилендіаміну та бісульфіту натрію [7]. Встановлено, що при використанні цієї композиції досягається значне підвищення комплексу фізико-механічних властивостей. Ефективним наповнювачем шкіряного напівфабрикату є вторинні ресурси технології виробництва шкіри після її біохімічної деструкції [8]. У роботі [9] наведені результати взаємодії комплексної сполуки поліуретан-поліальдегіду з елементами волокнистої структури напівфабрикату. При цьому досягається підвищення їх хімічної активності щодо барвників і жирувальних реагентів, а також комплексу фізико-хімічних властивостей. Аналогічні ефекти спостерігаються при використанні синтанів і танідів в комплексі з алюмосилікатами [10]. Застосування алюмосилікатів з акриловими полімерами дає можливість зберегти ефект диспергування волокнистої структури напівфабрикату після сушильно-зволожувальних процесів [11] при формуванні шкіряного матеріалу. При цьому отримана шкіри характеризується підвищеною рівномірністю фізико-хімічних властивостей по топографічним ділянкам.

Формулювання мети дослідження

Мета роботи – підвищення однорідності еластичної шкіри з кінської сировини при використанні синтанно-танідної композиції з алкілкарбоксиетаноламінами аліфатичних кислот C_{7-9} в процесах рідинного оздоблювання.

Викладення основного матеріалу дослідження

У роботі використано дослідні зразки площею 25 дм^2 напівфабрикату хромового дублення з кінської сировини консервованої методом тузлукування. Зразки для дослідження відібрані після стругання на стругальній машині непрохідного типу 07577/P1 фірми Svit напівфабрикату на товщину 1,4±0,1 мм з різних топографічних ділянок – спини, шиї та черева, що відрізняються значною неоднорідністю. Симетрично хребтовій лінії відібрані контрольні зразки. Напівфабрикат після додублювання мав гідротермічну стійкість 104–105 ºС.

Ефективність впливу процесів рідинного оздоблювання на фізико-хімічні властивості шкіри визначали за методиками [12]. Зокрема, вміст вологи і золи в зразках встановлювали гравіметричним методом після оброблення наважок за температур, ºС: 100–105 та 600–750 відповідно. Для визнання оксиду хрому (III) використано йодометричне титрування. Зв'язані органічні дубителі (ЗОД) розраховані за формулою:

$$ЗОД = 100 – (З + РЕОР + ВОР + ГР),$$

де *З, РЕОР, ВОР, ГР* – масові частки відповідно золи в шкірі ДСТУ ISO 4047:2006, речовин екстрагованих органічними розчинниками ДСТУ EN ISO 20344, водовимивних органічних речовин ДСТУ ISO 4098:2020 та голинної речовини в шкірі ДСТУ ISO 937:2005, яку визначали за загальним азотом після руйнування наважки.

При цьому для встановлення РЕОР використана суміш розчинників тетрахлоретан: трихлоретилен у співвідношенні 1:1 в установці Зайченка з наступним видаленням вологи при 128–130 ºС. Зважування виконували на електронних вагах AXIS AD200 (Польща).

Фізико-механічні властивості отриманої шкіри визначали за допомогою розривної машини моделі РТ-250М при деформуванні зразка одновісним розтягуванням зі швидкістю 0,09 м·хв$^{-1}$. Коефіцієнт рівномірності деформації $К_р$ зразків шкіри розраховували за відношенням значень деформацій поперечних (→) до поздовжніх (↑) щодо хребтової лінії шкіри [13]. Середні значення коефіцієнта рівномірності $К_р$ визначали як середньоарифметичні значення $К_р$ ділянок спини, шиї і черева. Товщину шкіри вимірювали мікрометром марки ТР 25-100 в центрі топографічних ділянках та в чотирьох точках, розташованих в діагонально протилежних напрямках. Площу шкіри визначали на вимірювальній машині електромеханічної дії моделі 07483/P1-3 фірми Svit, Чехія.

Для отримання зразків напівфабрикату використаний лабораторний барабан об'ємом 10 дм^3 в умовах кафедри біотехнології, шкіри та хутра Київського національного університету технологій та дизайну. Лабораторний барабан дозволяє змоделювати перебіг фізико-хімічних процесів виробництва при здійсненні рідинних обробок, включаючи інтенсифікацію вказаних процесів та рівномірність обробки робочими розчинами напівфабрикату. Конструкція лабораторного барабану у масштабі відповідає конструктивним особливостям дерев'яних підвісних барабанів фірми «Vallero». А саме наявністю: полиць у бочці барабану, варіатору швидкості, реверсу. Додублені сполуками хрому у підвісному барабані зразки двократно промивали за температур 27 і 35 ºС при витратах води по 100 % маси напівфабрикату протягом 10–15 хв. Потім зразки нейтралізували (рис. 1) до pH зрізу 4,8–5,2 та блакитно-синього кольору, знову промивали двічі по 10 хв з підвищенням температури та обробляли ензимами гідролітичної дії бактеріального походження – амілосубтилін (*АС*) + глюкаваморин (*ГМ*).

У подальшому на новому розчині напівфабрикат наповнювали при поступовому дозуванні реагентів. При цьому на попередніх підготовчих обробленнях застосовано реагенти фірми Smit Wet End (Нідерланди). Зокрема, акриловий кополімер Syntan *RS*-540, ароматичну сульфовану кислоту з сіркою і кремнієм Syntan *S* та Syntan *DF*-585 на основі діціандіаміду з вмістом лігносульфонату, алюмосилікату, карбонатів. Безпосередньо при додублюванні використано оптимізовану синтанно-танідну композицію [14] складу: безфенольний синтан 2-нафтолсульфокислоти і діоксідіфенілсульфону з формальдегідом усереднений аміаком (*НСК-ДОФС*), таніди екстрактів мімози (*ЕМ*) та квебрахо (*ЕК*) і алкілкарбоксиетаноламіни аліфатичних кислот $C_{7–9}$ (АКЕА АК).

Фарбувально-жирувальні процеси рідинного оздоблювання виконували у новому технологічному розчині з використанням реагентів фірми Smit Wet End. Зокрема, Syntan *FP*-124 з вмістом алюмосилікатів і полісахаридів, Synthol *LC* та *YY*-707, відповідно натуральних олій та сульфітованих синтетичних жирів з лецитином та спеціальної жирової композиції. При цьому pH жирової емульсії коригували гідроксидом амонію до 7,8–8,2. Як барвники використані коричневий К (*Кор*-К) і коричневий 345 (*К*-345) з еголізатором АКЕА АК. Завершували процес наповнювання-жирування фіксацією реагентів у структурі напівфабрикату алюмокалієвими галунами, модифікованими форміатом натрію, та промивали його зі зниженням температури води. Всі подальші сушильно-зволожувальні та оздоблювальні процеси проводили аналогічно контрольним зразкам, які обробляли за технологією Баришівського шкіряного заводу, м. Баришівка [15].

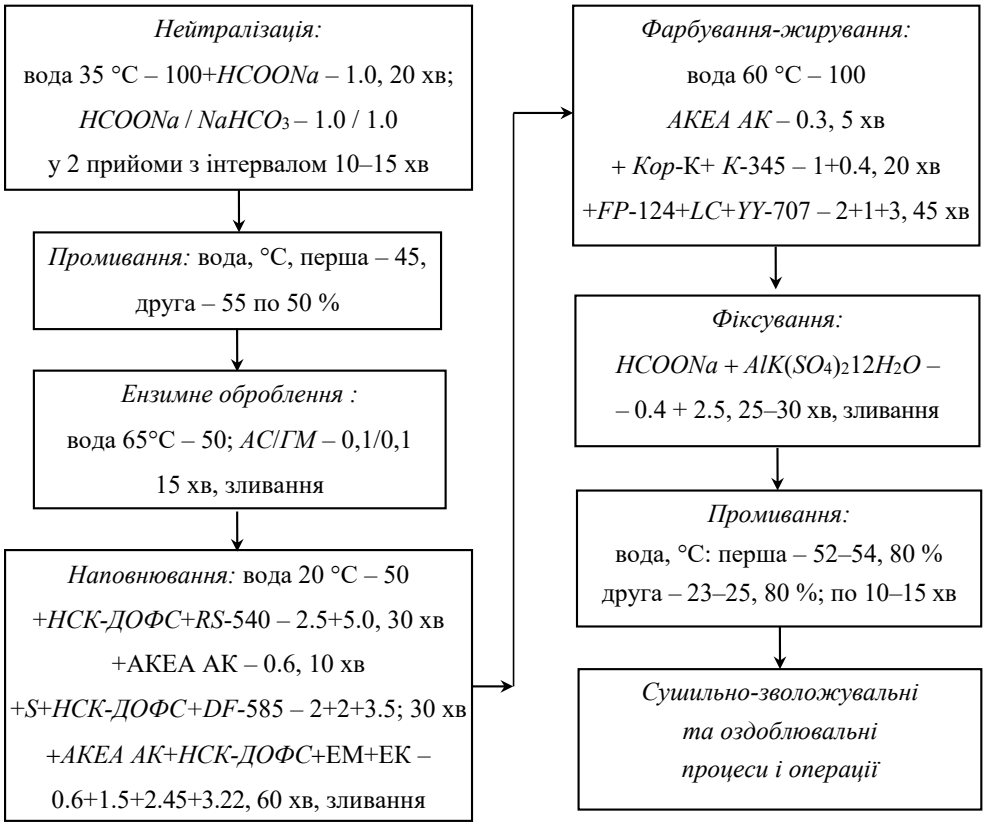

Рис. 1. Технологічна схема процесів рідинного оздоблювання напівфабрикату з кінської сировини

Примітки: Витрати реагентів наведені у % маси напівфабрикату при обертанні барабана зі швидкістю 12–14 хв$^{-1}$

Для встановлення однорідності шкіри з кінської сировини по топографічним ділянкам проведений комплекс фізико-хімічних досліджень, що включали визначення хімічного складу і фізико-механічних властивостей отриманого матеріалу. Результати дослідження хімічного складу топографічних ділянок шкіри (табл. 1) свідчать про зменшення в них вмісту голинної речовини (ГР) від ділянки спини до черева на 13,7 %. В той час як вміст інших інгредієнтів хімічного складу при цьому збільшується. Це характеризує вищу наповненість периферійних ділянок дослідного матеріалу. Особливо це стосується зв'язаних органічних дубителів, вміст яких підвищується на 67,0 %. При цьому підвищення вмісту водорозчинних речовин становить 17,0 %. В той час як контрольні зразки шкіри в ділянці черева порівняно з ділянкою спини мають більший їх вміст на 27,0 %.

Отже, зразки шкіри отримані за дослідною технологією синтанно-танідного оздоблювання, характеризуються вищою наповненістю периферійних ділянок внаслідок вищого зв'язування в них органічних дубильних речовин.

Таблиця 1

Хімічний склад топографічних ділянок шкіри

Показник	Топографічна ділянка за технологією					
	дослідною			контрольною		
	спина	шия	черево	спина	шия	черево
Масова частка*, %:						
– Cr_2O_3	4,56	4,76	4,91	4,26	4,47	4,74
– золи	7,16	7,48	7,64	7,21	7,64	7,83
– РЕОР	8,92	9,23	9,42	8,46	8,97	9,41
– ВОР	6,48	7,32	7,56	9,04	10,58	11,52
– ЗОД	8,36	9,68	13,97	7,22	8,95	9,12
– голинної речовини	69,08	66,39	61,41	68,07	63,86	60,12

*Примітка. *Складові шкіри наведені у перерахунку на нульову вологість.*

В процесах рідинного оздоблювання отримується дослідна шкіра з більшою товщиною в ділянці черева (табл. 2) порівняно з ділянкою спини, що свідчить також про формування шкіри вищої рівномірності. Разом з тим шкіри контрольної технології мають тенденцію зменшення товщини в ділянці черева, що пов'язано з меншим вмістом зв'язаних органічних дубителів. Периферійні ділянки шкіри отримані за дослідною технологією мають меншу міцність порівняно з ділянкою спини при дещо вищій товщині. Водночас різниця в міцності між ділянками спини і черева складає лише 2,0 МПа. В той час як цей показник в шкірах контрольної технології є вищим більше ніж у два рази, що може характеризувати вищу однорідність матеріалу дослідної технології. Така шкіра відрізняється більшим виходом площі на 3,4 %.

Таблиця 2

Технологічні властивості шкіри

Показник	Технологія	
	дослідна	промислова
Товщина, мм:		
спина	1,18	1,16
шия	1,21	1,13
черево	1,24	1,10
Границя міцності при розриванні, МПа:		
спина	23,0	22,5
шия	22,1	19,6
черево	21,0	18,2
Вихід площі шкіри, % промислових зразків	103,4	100,0

Однорідність властивостей досліджених шкір визначалась згідно їх деформаційної здатності (табл. 3). Встановлено, що дослідні шкіри мають близькі показники деформацій у поперечному і поздовжньому напрямках. При цьому деформаційна здатність ділянки черева при напруженні 9,81 МПа є більшою на 10,0–14,0 % порівняно з ділянкою спини. Водночас $К_р$ деформаційних властивостей різних топографічних ділянок близький до одиниці. Зразки контрольної технології характеризуються вищою деформаційною здатністю вздовж лінії хребта і, відповідно, $К_р$ є меншим за одиницю. Визначений $К_р$ шкіри, отриманої за дослідною технологією є вищим на 24,0 і 18,0 %, відповідно при навантаженнях 9,81 МПа та розриві.

Таблиця 3

Деформаційні властивості шкіри по топографічним ділянкам

Показник	Зразки дослідні			Зразки промислові		
	орієнтація		$К_р$	орієнтація		$К_р$
	→			→		
Видовження при 9,81 МПа, %:						
спина	26,2	26,4	0,99	27,6	35,8	0,79
шия	27,3	27,7	0,96	28,5	36,3	0,77
черево	29,8	29,0	1,03	31,3	37,2	0,84
$\overline{К}_р$			0,99			0,80
Видовження при розриві, %:						
спина	57,4	56,9	1,01	62,1	67,5	0,92
шия	58,5	58,8	0,99	61,2	73,8	0,83
черево	59,1	60,0	0,99	60,4	74,7	0,81
$\overline{К}_р$			1,0			0,85

Отже, шкіри отримані з використанням синтанно-танідної композиції з алкілкарбоксиетаноламінами характеризуються вищою наповненістю периферійних ділянок та однорідністю фізико-хімічних властивостей. Такі шкіри можуть бути використані для виготовлення деталей взуття при раціональному використанні кінської сировини.

Висновки

Проведено дослідження комплексу фізико-хімічних властивостей шкіри з кінської сировини з використанням синтанно-танідної композиції з алкілкарбоксиетаноламіни аліфатичних кислот C_{7-9} на стадії рідинного оздоблювання напівфабрикату хромового дублення і оцінена рівномірність отриманого матеріалу. Визначення хімічного складу шкіри за топографічними ділянками дало можливість встановити збільшення вмісту дубильних речовин органічної природи в ділянках з меншою щільністю. При цьому спостерігається незначне підвищення товщини в цих же ділянках. Ефективне наповнення об'єму шкіряного напівфабрикату при використанні синтанно-танідної композиції з алкілкарбоксиетаноламіни забезпечує збільшення виходу площі матеріалу на 3,4 %. За коефіцієнтом рівномірності отримані шкіри характеризуються високою однорідністю деформаційних властивостей всіх топографічних ділянок, що сприяє ефективному розкроюванню деталей для верху взуття при виготовленні виробів широкого асортименту. Порівняно з промисловою технологією отримані шкіри мають вищий коефіцієнт рівномірності деформаційних властивостей на 21,0 %. Це дає підставу рекомендувати склад синтанно-танідної композиції для апробації в промислових умовах на стадії рідинного оздоблювання. Для реалізації дослідної технології може бути застосовано типове технологічне обладнання шкіряного підприємства.

Список використаної літератури

1. Sathish M. et al. Deciphering the role of individual retanning agents on physical properties of leathers. *JALCA*. 2019. Vol. 114(3). P. 94−102. https://journals.uc.edu/index.php/JALCA/article/view/1586
2. Serge E. J., Alla J. P., Belibi P. D. B., Mbadcam K. J., & Fathima N. N. Clay/polymer nanocomposites as filler materials for leather. *J. of Cleaner Production*. 2019. 237 (10). 117837. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117837
3. Андреєва О. А., Первая Н. В., Лошкарьова І. І., Чумакова Н. О. Дослідження властивостей, особливостей структури і технологічних можливостей нових полімерних матеріалів для наповнювання-додублювання шкіри. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2021. № 3. С. 162–167. https://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/08/26-2.pdf
4. Wang X., Yan Z., Liu X., Qiang T., Chen L., Guo P., & Yue O. An environmental polyurethane retanning agent with the function of reducing free formaldehyde in leather. *J. of Cleaner Production*. 2018. 207. P. 679–688. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.10.056
5. Kaijun Li, Ruiquan Yu, Ruixin Zhu, Ruifeng Liang, Gongyan Liu, Biyu Peng. pH-Sensitive and Chromium-Loaded Mineralized Nanoparticles as a Tanning Agent for Cleaner Leather Production. *Sustainable Chem. Eng.* 2019. № 7 (9). P. 8660–8669. DOI:10.1021/acssuschemeng.9b00482
6. Первая Н. В., Андреєва О. А. Дослідження нових хімічних матеріалів для рідинного оздоблення шкіри. *Вісник КНУТД.* 2020. № 1(142). С. 71–85. https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15451
7. Lyu B., Gao J., Ma J., Gao D., Wang H., & Han X. Nanocomposite based on erucic acid modified montmorillonite/sulfited rapeseed oil : Preparation and application in leather. *Applied Clay Seience*. 2016. 121. P. 36–45. https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.12.021
8. Constantinescu R. R., Zainescu G. A., Crudu M., & Bostaca G. Retanning Bioagent Used in Leather Processing and Process of Obtaining Thereof. *Rev. Chim. (Bucharest)* 2019. 70 (11). P. 3878–3880. https://doi.org/10.37358/RC.70.19.11.7663
9. Xu W., Chai X., Zhao G., Li J., & Wang X. Preparation of reactive amphoteric polyurethane with multialdehyde groups and its use as a retanning agent for chrome-free tanned leather. *Journal of Applied Polymer Science*. 2019. 136(37), 47940. https://doi.org/10.1002/app.47940
10. Deniz Gürler Karaman, Gürbüz Gülümser. Possibilities of usage of alkali aluminosilicates as tanning material in chromium-free leather produgtion. *JTATK*. 2016. 26(1). P. 117–124. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/218320
11. Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications: Selected Proceedings of the 3rd International Conference Nanotechnology and Applications. *Springer Proceeding in Physics*. 2016. 183.
12. Данилкович А. Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра : навчальний посібник, 2 вид., перероб. і доп. Київ : Фенікс, 2006. 340 с.
13. Рибальченко В. В., Коновал В. П., Дрегуляс Е. П. Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Методи випробувань : навчальний посібник. Київ : КНУТД, 2010. 394 с.
14. Данилкович А. Г., Охмат О. А. Оптимізація синтан-танідної композиції для наповнювання еластичного шкіряного матеріалу. *Вісник ХНТУ*. 2025. № 3.
15. Типова технологія виробництва еластичної шкіри Баришівського шкіряного заводу.

References

1. Sathish, M., et al. (2019). Deciphering the role of individual retanning agents on physical properties of leathers. *JALCA*, 114(3), 94−102. https://journals.uc.edu/index.php/JALCA/article/view/1586

2. Serge, E. J., Alla, J. P., Belibi, P. D. B., Mbadcam, K. J., & Fathima, N. N. (2019). Clay/polymer nanocomposites as filler materials for leather. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117837. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117837

3. Andreeva, O. A., Pervaya, N. V., Loshkareva, I. I., Chumakova, N. O. (2021). Research into the properties, structural features and technological capabilities of new polymer materials for filling and duplicating leather. *Bulletin of KhNU. Technical Sciences,* 3, 162–167. https://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/08/26-2.pdf

4. Wang, X., Yan, Z., Liu, X., Qiang, T., Chen, L., Guo, P., & Yue, O. (2019). An environmental polyurethane retanning agent with the function of reducing free formaldehyde in leather. *Journal of Cleaner Production*, 207, 679-688. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.056

5. Kaijun Li, Ruiquan Yu, Ruixin Zhu, Ruifeng Liang, Gongyan Liu, Biyu Peng. (2019). pH-Sensitive and Chromium-Loaded Mineralized Nanoparticles as a Tanning Agent for Cleaner Leather Production. *Sustainable Chem. Eng,* 7 (9). 8660–8669. DOI:10.1021/acssuschemeng.9b00482

6. Pervaya, N. V., Andreeva, O. A. (2020). Research on new chemical materials for liquid leather finishing. *Bulletin of the KNUTD*, 1(142), 71–85. https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15451

7. Lyu, B., Gao, J., Ma, J., Gao, D., Wang, H., & Han, X. (2016). Nanocomposite based on erucic acid modified montmorillonite/sulfited rapeseed oil: Preparation and application in leather. *Applied Clay Science*, 121, 36-45. https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.12.021

8. Constantinescu, R. R., Zainescu, G. A., Crudu, M., & Bostaca, G. (2019). Retanning bioagent used in leather processing and process of obtaining thereof. *Rev Chim (Bucharest)*, 70(11), 3878-3880. https://doi.org/10.37358/RC.70.19.11.7663

9. Xu, W., Chai, X., Zhao, G., Li, J., & Wang, X. (2019). Preparation of reactive amphoteric polyurethane with multialdehyde groups and its use as a retanning agent for chrome-free tanned leather. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(37), 47940. https://doi.org/10.1002/app.47940

10. Deniz, Gürler Karaman, Gürbüz, Gülümser. (2016). Possibilities of usage of alkali aluminosilicates as tanning material in chromium-free leather produgtion. *JTATK*, 26(1), 117–124. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/218320

11. Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications: Selected Proceedings of the 3rd International Conference Nanotechnology and Applications. *Springer Proceeding in Physics*, 2016, 183 p.

12. Danylovych, A. H. (2006). Praktykum z khimii i tekhnolohii shkiry ta khutra (Navchalnyi posibnyk, 2nd ed., rev. and suppl.). Feniks. 340 p.

13. Danylovych, A. H., & Okhmat, O. A. (2025). Optymizatsiia syntan-tanidnoi kompozytsii dlia napovniuvannia elastychnoho shkirianoho materialu. Visnyk KhNTU, (3).

14. Rybalchenko, V. V., Konoval, V. P., & Drehulias, E. P. (2010). Materialoznavstvo vyrobiv lehkoi promyslovosti. Metody vyprobuvan (Navchalnyi posibnyk). KNUTD. 394 p.

15. Typova tekhnolohiia vyrobnytstva elastychnoi shkiry Baryshivskoho shkirianoho zavodu.

Дата першого надходження рукопису до видання: 10.11.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 08.12.2025
Дата публікації: 31.12.2025