

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2026.1.2>

Received: 10.02.2026

Revised: 05.03.2026

Accepted: 09.04.2026

УДК 675.92.027:675.2

Анатолій ДАНИЛКОВИЧ, Олена ОХМАТ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

**ФОРМУВАННЯ ЕЛАСТИЧНОЇ ШКІРИ ДЛЯ ВЗУТТЯ**

**Мета.** Підвищення еластичності шкіри для верху взуття шляхом використання в процесах додублювання-наповнювання ензимів гідролітичної дії.

**Методика.** У дослідженні застосовано метод асиметричної бахромки для комплектування дослідних партій зразків та їх подальшу ферментативну обробку ензимами за контрольованих температурних умов. Ефективність створення еластичної структури оцінювали шляхом аналізу пружно-пластичних властивостей шкіряних матеріалів, їх хімічних та фізико-механічних показників.

**Результати.** Досліджено вплив витрат ензимів на пружно-пластичні властивості шкіряних матеріалів та визначені їх фізико-хімічні властивості. Встановлено, що найбільш ефективний вплив на підвищення еластичності напівфабрикату виявляє суміш ензимів гідролітичної дії за оптимальної витрати 0,2% від маси напівфабрикату. Застосування дослідної технології дозволяє отримати еластичний шкіряний матеріал із меншою жорсткістю на 33–47% та вищим об'ємним виходом на 5,3% порівняно з типовою технологією. Також спостерігається збільшення виходу площі готової шкіри на 5,1–6,7% при одночасному зменшенні витрат хімічних реагентів на 27,0%.

**Наукова новизна.** Встановлено характер залежності пружно-пластичних та фізико-механічних властивостей шкіряного матеріалу від виду та концентрації ензимних реагентів, використаних для їх обробки. Доведено синергетичний ефект використання суміші ензимів на стадії рідинного оздоблення для пластифікації структури дерми.

**Практична значимість.** Розроблено ресурсоощадну технологію виробництва еластичних шкіряних матеріалів для верху взуття. Отримані результати можуть бути використані для розроблення нових технологій виробництва шкір широкого асортименту.

**Ключові слова:** напівфабрикат хромового дублення; ензимне оброблення; додублювання; наповнювання; синтан-танідна композиція; властивості.

**Вступ.** Еластичні шкіри завдяки комплексу їх спеціальних фізико-хімічних, гігієнічних та інших властивостей користуються широким попитом в різних галузях народного господарства враховуючи їх високу екологічну безпечність. При цьому споживні властивості натуральних шкір обумовлюють високий попит населення. Це стосується їх використання у швейній, меблевій та інших областях виробничої діяльності. При чому у взуттєвій промисловості шкіри підвищеної еластичності користуються особливо високим попитом населення, що обумовлює їх використання при виготовленні взуття самого широкого асортименту. У цьому відношенні такі шкіри можуть бути отримані внаслідок пошуку ефективних хімічних реагентів і розроблення технологій раціонального їх використання у шкіряному виробництві. Зокрема, це стосується біологічно активних і жирувальних реагентів та додублювально-наповнювальних композицій.

Для підвищення рухливості волокнистої структури шкіри при збереженні високих фізико-механічних властивостей дослідниками рекомендується використовувати у технології її виготовлення реагенти натуральної і синтетичної природи. Наприклад, на стадії лужного оброблення консервованих шкур сульфідом натрію і гідроксидом кальцію авторами [1] встановлено ефективне видалення неструктурованих інгредієнтів дерми, зокрема полісахаридів і протеогліканів, завдяки ензимній регідратації сировини [2]. Дослідники [3] зауважують, що використання ферментної обробки окрім технологічної ефективності сприяє і покращенню екологічного аспекту обробки натуральної шкіри. На стадії знезолування шкіряного напівфабрикату автори [4] рекомендують використовувати біологічно активні реагенти Lithudac LI Novo Bate WB, а при знежирюванні для видалення жирних речовин –

лужні ліпази та їх суміші з лужними протеазами. Автори [5] для пластифікації шкір використали модифіковане пальмове масло та кремнієву сполуку, молекули якої містять кінцеві гідроксильні групи з наступною їх етерифікацією малеїновим альдегідом і бісульфітом натрію. Використання колагенових поліпептидів, отриманих з відходів шкіряного виробництва, у дубильних процесах також сприяє отриманню м'якої, еластичної шкіри з високою паропроникністю [6]. Відомо [7] використання композиції аніонного типу Cogipol ALF на основі лецитину у виробництві широкого асортименту еластичних шкір. Цей модифікатор волокнистої структури має низьку в'язкість ті забезпечує стійкість отриманих шкір до світла і температури. У роботі [8] встановлено підвищення пружно-пластичних властивостей шкіри в результаті впливу кополімерів на основі акрилової кислоти в процесах додублювання. Авторами [9] досліджено вплив на структуру і властивості шкіри для верху взуття поліакрилового і меламіноформальдегідного синтанів RS3 та LF187. Встановлено ефективніший вплив на фізико-механічні показники шкіри синтану RS3 уже при його витраті 2,0% маси напівфабрикату, а при витраті 4 % збільшується вихід товщини шкіри на 5,5%. Еластичні шкіри, отримані з використанням наноконструкцій на основі монтморилоніту і поліакрилової кислоти [10, 11], характеризуються підвищеною орієнтацією волокнистої структури. Застосування наноконструктив у виробництві натуральної шкіри не тільки призводить до покращення їх еластичності та фізико-механічних властивостей, але і забезпечує перехід до так званих «зелених» технологій [12, 13]. Використання природних високодисперсних силікатів, модифікованих акриловими полімерами [14], забезпечує збереження ефекту розділення волокнистої структури шкіри після зневоднення і підвищує її пружно-пластичні властивості. Отже, аналіз науково-технічної літератури підтверджує, що сучасні стратегії регулювання пружно-пластичних властивостей шкіри базуються на комплексному використанні біологічно-активних сполук та хімічних реагентів. Беззаперечним є те, що ензимні препарати є найбільш ефективними у підготовчих та переддубильних процесах. Проте потенціал їх застосування на заключних стадіях рідинного оздоблювання залишається недостатньо вивченим, що обумовлює необхідність дослідження впливу ферментів на структурні зміни дерми для формування необхідних фізико-механічних характеристик еластичних шкіряних матеріалів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є підвищення еластичності шкіри для верху взуття шляхом використання в процесах додублювання-наповнювання ензимів гідролітичної дії. Для цього реалізовані наступні задачі: дослідження впливу витрат ензимів на пружно-пластичні властивості структурованого шкіряного напівфабрикату; формування еластичної шкіри для взуття; визначення фізико-хімічних властивостей ензимно-обробленого напівфабрикату; визначення фізико-хімічних властивостей отриманого шкіряного матеріалу.

**Матеріали та методи дослідження.** У роботі використано шкіряний напівфабрикат великої рогатої худоби хромового дублення, отриманий зі шкур мокросолоного консервування – бичка масою 18 кг і ялівки легкої масою 13 кг, товщиною 1,4 мм та 0,9–1,1 мм відповідно. Як біологічно активні реагенти використані ензими гідролітичної дії, виділені з культур *Bacillus subtilis* і *Aspergillus awamori* [15], відповідно ензим-1 і ензим-2. Ензим-3 є сумішшю ензимів 1 і 2 взятих у рівних долях. Для дослідження впливу ензимів на пружно-пластичні властивості структурованого напівфабрикату основними сполуками хрому (III), використані зразки розміром 10×18 см з центральної ділянки напівфабрикату шкур бичка. Зразки оброблялись партіями, підібраними по 16 штук за методом асиметричної бахромки [16], у лабораторному барабані об'ємом 10 дм<sup>3</sup> при його обертанні зі швидкістю 18–20 хв<sup>-1</sup>. Спочатку зразки нейтралізували до рН 5,4 розчином формиату і бікарбонату натрію при співвідношенні 1/1 з наступним промиванням. При цьому температуру води підвищували до 75 °С відповідно до умов ензимного оброблення за співвідношення вода/напівфабрикат 1,5/1,0 упродовж 10–15 хв за тривалості оброблення 17–20 хв. Слід зауважити, що вибрана температура оброблення

напівфабрикату обумовлена температурою його гідротермічної стійкості з врахуванням температурної залежності процесів структурування. Контрольними були нейтралізовані і оброблені жирувальним реагентом зразки напівфабрикату.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Результати дослідження впливу витрат ензимів на пружно-пластичні властивості структурованого напівфабрикату наведені на рис. 1, на якому жорсткість і межу міцності шкіряного напівфабрикату відображають криві 1–3 і 4–6; ензимам 1, 2 і 3 належать відповідно криві 1, 4; 2, 5 та 3, 6. Як видно з отриманих даних при збільшенні витрат ензиму-1 жорсткість напівфабрикату знижується, а його межа міцності при цьому досягає екстремального значення за витрати 0,2% маси напівфабрикату. Разом з тим ці показники напівфабрикату змінюються аналогічним чином більш інтенсивно при використанні ензиму-2. Максимальне зниження жорсткості та підвищення межі міцності відповідно у 2,2 рази і на 11,2% спостерігається при застосуванні ензиму-3 з витратою 0,2%. Отже, найбільш ефективний вплив на підвищення еластичності напівфабрикату виявляє ензим-3 за оптимальної його витрати.

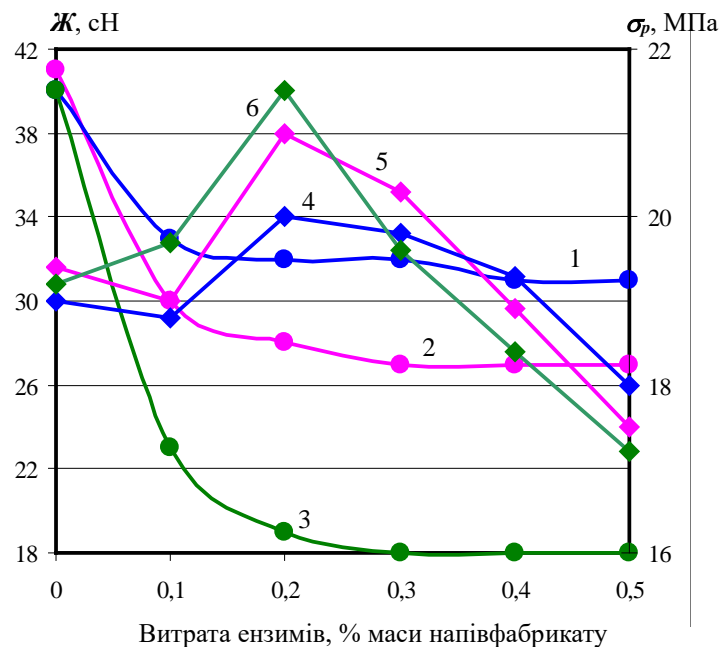


Рис. 1. Залежність фізико-механічних властивостей шкіряного напівфабрикату від витрат ензимів

Для порівняльного аналізу впливу ензимів і жирувального реагенту Tgron DL (фірма Трумплер, Німеччина), що використовується у технології промислового виробництва шкір, проведено дослідження фізико-механічних властивостей зразків отриманого напівфабрикату (рис. 2).

З наведеного рисунка видно, що при оптимальній витраті ензимів адекватно змінюються межа міцності  $\sigma_p$  та видовження при розриві  $\varepsilon_p$  зразків шкіряного напівфабрикату для трьох ензимів. При цьому як для  $\sigma_p$ , так і для  $\varepsilon_p$  оброблені ензимами зразки напівфабрикату мають вищі показники порівняно із зразками, обробленими тільки жирувальним реагентом. Разом з тим ензим-3 дозволяє отримати зразки з підвищеною міцністю на 17,6% і видовженням при розриві на 23,8% порівняно з контрольним варіантом, що свідчить про суттєво вищу його пластифікаційну дію на структуру шкіряного напівфабрикату.

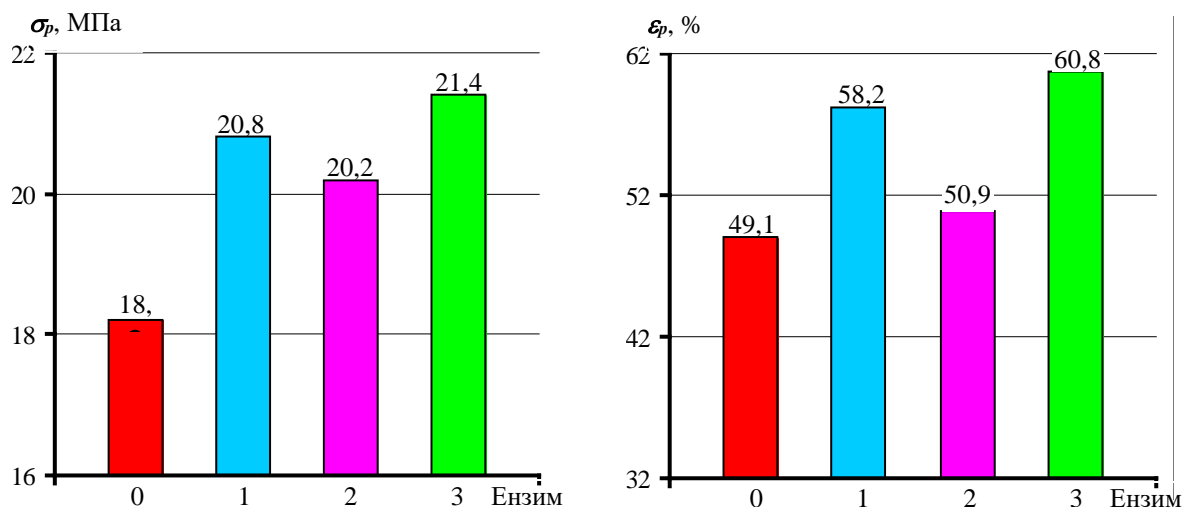


Рис. 2. Залежність межі міцності шкіряного напівфабрикату та його розривного видовження від виду ензиму

Для формування шкіряного напівфабрикату у рідинному оздоблюванні використано половинки структурованого напівфабрикату з ялівки легкої. Процес його рідинного оздоблювання проводили у підвісному барабані фірми об'ємом 0,39 м<sup>3</sup>. Технологічне оброблення нейтралізованого напівфабрикату виконували при зменшеній витраті води на 33% і температурі технологічного розчину 71–75 °С. В подальшому процес оброблення напівфабрикату проводили за температури 50–53 °С з використанням відповідного складу наповнювально-жирувальної композиції залежно від варіанту оброблення (табл. 1).

Таблиця 1

Склад наповнювально-жирувальної композиції для рідинного оздоблювання шкіряного напівфабрикату

Реагент	Значення показника, %, за технологією		
	дослідною 1	дослідною 2	діючою
Ензим-3	0,2	0,2	0
Кремнезем А-300	0	1	0
Trupon DL	7	6	7
Relugan D	0	0	2
Trupotan G	2	2	3
Квебрахо	5	5	6

З таблиці 1 видно, що склад композицій дослідних технологій відрізняється від діючої відсутністю реагенту Relugan D і суттєво зменшеною витратою наповнювальних реагентів. Разом з тим розроблені технології різняться використанням ензиму-3 при мінімальному вмісті 1% та аеросилу А-300 (ТУ U 24.1-31695418-002:2008) з розміром первинних частинок 4–50 нм у дослідній технології 2 [17].

В процесі наповнювання напівфабрикат обробляли жирувальним реагентом Trupon DL (фірма Трумплер, Німеччина) упродовж 30–40 хв, допоміжним синтаном Trupotan G (фірма Трумплер, Німеччина) і танідами екстракту квебрахо. При цьому на початковій стадії рідинного оздоблювання шкіряного напівфабрикату в результаті взаємодії нано-SiO<sub>2</sub> з інгредієнтами композиції відбувається зменшення розміру частинок кремнезему А-300 та підвищення їх хімічної активності [18]. Завершується оброблення зразків фіксацією реагентів у структурі напівфабрикату при зниженні рН робочого розчину алюмокалієвим галуном до

4,0–4,2 з наступним промиванням упродовж 10 хв. За діючою технологією фіксація реагентів виконується розчином мурашиної кислоти. Рідинне оздоблювання шкіряного напівфабрикату завершується сушильно-зволожувальними процесами.

Фізико-хімічні показники отриманих зразків визначали після їх кондиціонування за методиками [16]. Зокрема, гідротермічна стійкість шкіри визначається візуально за ефектом початку скорочення зразка у водно-гліцериновій суміші при швидкості його нагрівання 2–3 °/хв. Пористість напівфабрикату – за відношенням об'єму пор напівфабрикату, встановленого з використанням авіаційного гасу, до його уявного об'єму; об'ємний вихід – за об'ємом зразка, що містить 100 г білка; повітропроникність – за об'ємом повітря при різниці тисків з обох боків зразка 1 кПа; фізико-механічні показники шкіри – за допомогою приладу ПЖУ-12М і розривної машини моделі РТ-250М за швидкості деформування зразка 90 мм/хв. Вихід площі напівфабрикату вимірювали на електронній машині моделі 07179/P1 фірми Svit, Чехія. Результати визначення фізико-хімічних властивостей отриманого шкіряного матеріалу за розробленою технологією наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Фізико-хімічні властивості пластифікованого шкіряного матеріалу**

Показник	Значення показника за технологією		
	дослідною 1	дослідною 2	діючою
Масова частка, %:			
– вологи	13,7	14,1	13,9
– голинної речовини	68,9	68,1	67,7
– золи	6,5	7,6	6,7
– оксиду хрому (III)	4,1	4,0	4,3
– речовин, що екстрагуються органічними розчинниками	6,4	6,7	7,4
– зв'язані органічні дубильні речовини	13,8	13,9	14,7
Температура зварювання напівфабрикату, °С	113,0	113,0	111,0
Об'ємний вихід шкіри, см <sup>3</sup> /100 г ГР	234,0	239,0	227,0
Пористість зразків, %	57,0	55,0	49,0
Повітропроникність, см <sup>3</sup> /(см <sup>3</sup> /см <sup>2</sup> ·год.)	253,0	249,0	237,0
Межа міцності при розтягуванні, МПа	21,7	22,5	21,3
Відносне видовження при навантаженні 10 МПа, %	39,0	37,3	21,0
Відносне видовження при розриві, %	61,0	60,0	57,0
Жорсткість шкіряного напівфабрикату, сН	19,0	21,0	28,0
Вихід площі шкіряного матеріалу, %	105,1	106,7	100,0

Як свідчать одержані дані за хімічним складом сформований шкіряний матеріал практично не відрізняється від зразків, отриманих за діючою технологією. За пружно-пластичними властивостями досліджений шкіряний матеріал переважає зразки діючої технології. Особливо це стосується розривного видовження при мінімальній його жорсткості, що сприяє підвищеному виходу площі шкіряного матеріалу внаслідок ефективно проведених структурних процесів у ензимно-обробленому колагені дерми і фіксації її елементів у об'ємі напівфабрикату. Отже, за комплексом фізико-хімічних і експлуатаційних показників досліджений шкіряний матеріал, сформований за розробленою технологією відповідає вимогам до шкір для верху взуття і міжнародного стандарту систем управління якістю «ISO 9001:2008».

**Висновки.** Досліджено процес формування шкіряного матеріалу з використанням ензимів гідролітичної дії. Встановлено залежності жорсткості й міцності від витрат ензимів.

Оптимальний пластифікаційний вплив на структуру шкіряного матеріалу спостерігається при використанні суміші ензимів за витрати 0,2% маси напівфабрикату. При цьому отриманий напівфабрикат характеризується зниженням жорсткості і підвищенням розривної міцності відповідно на 20,0 і 11,0% порівняно зі зразками необробленими ензимами. Розроблена технологія дає можливість отримати еластичний шкіряний матеріал меншої жорсткості на 33–47% і вищого об'ємного виходу на 5,3%. За комплексом фізико-хімічних властивостей отриманий шкіряний матеріал за розробленою технологією характеризується зменшеною витратою хімічних реагентів на 27,0% при збільшеному виходу його площі на 5,1–6,7%. Отримані шкіри за комплексом експлуатаційних і технологічних властивостей відповідає вимогам ДСТУ 2726-94 на шкіри для верху взуття. Ензимне оброблення шкіряного напівфабрикату хромового дублення може бути ефективно використано при розробленні інноваційних технологій виробництва еластичних шкіряних матеріалів для виготовлення виробів широкого асортименту. В подальшому дослідження має бути спрямоване на оптимізацію складу додублювально-наповнювальних композицій за умови використання ензимів.

### References

### Література

- Jayanthi, D., Victor, J. S., Chellan, R. et al. (2019). Green processing: Minimising harmful substances in leather making. *Environmental Science and Pollution Research*, (26), 6782–6790. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-04111-z>.
- Afsar, A., & Cetinkaya, F. (2008). Studies on the degreasing of skin using enzyme in liming process. *Indian Journal of Chemical Technology*, 15(5), 507–510.
- Zhang, X., Gao, M., Zhang, C., & Peng, B. (2025). Enzymatic processes for animal hide/skin collagen fiber purification processing: Recent progress, challenges and recommendations. *Bioresource Technology*, 418, 131955. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131955>.
- Širvaitytė, J., Valeika, V., Beleška, K., & Valeikienė, V. B. (2006). Bating of pelts after deliming with peracetic acid. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*, 55(2), 93–100. DOI: <https://doi.org/10.3176/chem.2006.2.06>.
- Wang, C., Feng, S., & Wu, J. (2011). Preparation of organosilicone modified palm oil fatliquor. *JALCA*, 106(5), 161–169.
- Hao, D., Wang, X., Liang, S., Yue, O., Liu, X., Hao, D., & Dang, X. (2023). Sustainable leather making – An amphoteric organic chrome-free tanning agents based on recycling waste leather. *Science of The Total Environment*, 867, 161531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161531>.
- Leather International (n.d.). New fatliquor for soft articles from TFL. URL: <https://www.leatherinternational.com/>
- Jayanthi D., Victor J. S., Chellan R. et al. Green processing: minimising harmful substances in leather making. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. P. 6782–6790. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-04111-z>.
- Afsar A., Cetinkaya F. Studies on the degreasing of skin using enzyme in liming process. *Indian Journal of Chemical Technology*. 2008. № 15(5). 507–510.
- Zhang X., Gao M., Zhang C., Peng B. Enzymatic processes for animal hide/skin collagen fiber purification processing: Recent progress, challenges and recommendations. *Bioresource Technology*. 2025. № 418. 131955. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131955>.
- Širvaitytė J., Valeika V., Beleška K., Valeikienė V. Bating of pelts after deliming with peracetic acid. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*. 2006. № 55 (2). P. 93–100. DOI: <https://doi.org/10.3176/chem.2006.2.06>.
- Wang C., Feng S., Wu J. Preparation of organosilicone modified palm oil fatliquor. *JALCA*. 2011. Vol. 106. № 5. P. 161–169.
- Hao D., Wang X., Liang S., Yue O., Liu X., Hao D., Dang X. Sustainable leather making – An amphoteric organic chrome-free tanning agents based on recycling waste leather. *Science of The Total Environment*. 2023. № 867. 161531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161531>.
- New fatliquor for soft articles from TFL. *Leather International*. URL: <https://www.leatherinternational.com/>

8. Ma, J. Z., & Lu, H. (2008). Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers. *JALCA*, 103(11), 363–369.
9. Andreieva, O. A., Pervaia, N. V., Loshkarova, I. I., & Chumakova, N. O. (2021). Doslidzhennia vlastyvostei, osoblyvostei struktury i tekhnolohichnykh mozhlyvostei novykh polimernykh materialiv dlia napovnuvannia-dodubliuvannia shkiry [Study of properties, structural features and technological capabilities of new polymer materials for filling-retanning of leather]. *Visnyk KhNU. Seriya: Tekhnichni nauky*, 3(297), 162–167. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-162-167> [in Ukrainian].
10. Chen, Y., Fan, H., & Shi, B. (2011). Nanotechnologies for leather manufacturing: A review. *JALCA*, 106(8), 260–273.
11. Zhang, X., Liu, Q., & Zhang, W. (2006). Nanocomposites of acrylate-organsilicon resin/layered silicate for leather finishing. *JSLTC*, 90(6), 250–253.
12. Sultana, R., Rashid, T. U., & Rahman, M. M. (2026). Sustainable leather processing: A critical review of emerging green technologies and practices. *Sustainable Futures*, 11, 101562. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.101562>.
13. Sahu, B., Ramesh, A., & Zameer, F. (2025). Impact of nanomaterials on leather: A nano-Saga from processing to application. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27(10), 5855–5882. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02912-0>.
14. Mokrousova, E., Dzyazko, Y., Volkovich, Y., & Nikolskaya, N. (2016). Hierarchical structure of the derma affected by chemical treatment and filling with bentonite: Diagnostics with a method of standard contact porosimetry. In: O. Fesenko & L. Yatsenko (Eds.), *Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications* (Vol. 183, pp. 277–290). Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-30737-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-30737-4_23).
15. Varbanets, L. D., Avdiuk, K. V., & Borzova, N. V. (n.d.). Mikrobni alpha-amylazy: vydilennia, vlastyvosti, praktychne zastosuvannia [Microbial alpha-amylases: isolation, properties, practical application]. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/3911> [in Ukrainian].
16. Danylkovych, A. H. (2006). Praktykum z khimii i tekhnolohii shkiry ta khutra [Workshop on the chemistry and technology of leather and fur]. 2nd ed. Kyiv. 340 p. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/33679> [in Ukrainian].
17. Danylkovych, A. H., Bilinskyi, S. O., & Kudziieva, S. Yu. (2016). Vykorystannia vysokodispersnoho oksydu kremniiu v tekhnolohii vyhotovlennia shkirianoho napivfabrykatu [The use of highly dispersed silicon oxide
8. Ma J. Z., Lu H. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers. *JALCA*. 2008. V. 103, № 11. P. 363–369.
9. Андреева О. А., Первая Н. В., Лошкарёва И. И., Чумакова Н. О. Дослідження властивостей, особливостей структури і технологічних можливостей нових полімерних матеріалів для наповнювання-додублювання шкіри. *Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки*. 2021. № 3 (297). С. 162–167. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-162-167>.
10. Chen Y., Fan H., Shi B. Nanotechnologies for leather manufacturing: A review. *JALCA*. 2011. V. 106, № 8. P. 260–273.
11. Zhang X., Liu Q., Zhang W. Nanocomposites of acrylate-organsilicon resin/layered silicate for leather finishing. *JSLTC*. 2006. Vol. 90(6), № 6. P. 250–253.
12. Sultana R., Rashid T. U., Rahman M. M. Sustainable leather processing: A critical review of emerging green technologies and practices. *Sustainable Futures*. 2026. № 11. 101562. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.101562>.
13. Sahu B., Ramesh A., Zameer, F. Impact of nanomaterials on leather: a nano-Saga from processing to application. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2025. № 27(10). P. 5855-5882. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02912-0>.
14. Mokrousova E., Dzyazko Y., Volkovich Y., Nikolskaya N. Hierarchical Structure of the Derma Affected by Chemical Treatment and Filling with Bentonite: Diagnostics with a Method of Standard Contact Porosimetry. In: Fesenko, O., Yatsenko, L. (eds). *Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications. Springer Proceedings in Physics*. Springer, Cham, 2016. Vol. 183. P. 277–290. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-30737-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-30737-4_23).
15. Варбанець Л. Д., Авдіюк К. В., Борзова Н. В. Мікробні α-амілази: виділення, властивості, практичне застосування. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/3911>.
16. Данилкович А. Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра. 2 вид., перероб. і доп. Київ, 2006. 340 с. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/33679>.
17. Данилкович А. Г., Білінський С. О., Кудзієва С. Ю. Використання високодисперсного оксиду кремнію в технології виготовлення шкіряного

in the technology of leather semi-finished product production]. *Visnyk KhNU. Seriya: Tekhnichni nauky*, 6(243), 112–116 [in Ukrainian].

18. Danylkovych, A. H., & Bilinskyi, S. O. (2019). Zastosuvannya nano-SiO<sub>2</sub> v tekhnologii vyrobnytstva elastychnykh shkir [Application of nano-SiO<sub>2</sub> in the technology of elastic leather production]. *Naukovi pratsi NUKhT*, 2, 48–57. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14404> [in Ukrainian].

напівфабрикату. *Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки*. 2016. № 6(243). С. 112–116.

18. Данилкович А. Г., Білінський С. О. Застосування нано-SiO<sub>2</sub> в технології виробництва еластичних шкір. *Наукові праці НУХТ*. 2019. № 2. С. 48–57. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14404>.

#### DANYLKOYCH ANATOLII

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Biotechnology, Leather and Fur,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-5707-0419>  
Scopus Author ID: 55339122700  
E-mail: [ag101@ukr.net](mailto:ag101@ukr.net)

#### ОКХМАТ ОЛЕНА

PhD of Technical Sciences, Associate Professor,  
Department of Biotechnology, Leather and Fur,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0927-8706>  
Scopus Author ID: 57194089217  
E-mail: [oxmat.oa@knutd.edu.ua](mailto:oxmat.oa@knutd.edu.ua)

### Anatolii DANYLKOYCH, Olena OKHMAT

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

#### PRODUCTION OF ELASTIC LEATHER FOR FOOTWEAR

**Purpose.** Improving the elasticity of leather for shoe uppers through the use of hydrolytic enzymes in the retanning and filling processes.

**Methodology.** The study employed the asymmetric fringe method to assemble experimental batches of samples, which were then subjected to enzymatic treatment under controlled temperature conditions. The effectiveness of creating an elastic structure was evaluated through the analysis of elastic-plastic properties, chemical, physical and mechanical indicators.

**Findings.** The effect of enzyme dosage on the elastic-plastic properties of leather materials was investigated, as were their physical and mechanical properties. It was found that a mixture of hydrolytic enzymes at an optimal dosage of 0.2% of the semi-finished product's mass was most effective in increasing its elasticity. Using the experimental technology enables the production of elastic leather with 33–47% lower stiffness and 5.3% higher yield than standard technology. There was also an increase in the yield of finished leather area by 5.1–6.7%, with a simultaneous reduction in chemical reagent consumption by 27.0%.

**Originality.** The nature of the dependence of the elastic-plastic and physical-mechanical properties of leather materials on the type and concentration of enzymes used to treat them has been established. The synergistic effect of using a mixture of hydrolytic enzymes at the liquid finishing stage to plasticize the dermis structure has been demonstrated.

**Practical value.** A resource-saving technology has been developed for producing elastic leather materials for shoe uppers. The results obtained can be used to develop new technologies for producing a wide range of leathers.

**Keywords:** chrome-tanned semi-finished product; enzymatic treatment; retanning; filling; syntan-tannin composition; properties.