

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2026.2.8>

Received: 25.03.2026  
Revised: 10.04.2026  
Accepted: 23.04.2026

УДК 615.46+675.043

Іван ЮНГІН

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗХРОМОВИХ МЕТОДІВ ДУБЛЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ МЕДИЧНИХ ВИРОБІВ ЗІ ШКІРИ

**Мета.** Проведення аналітичного огляду перспективних методів безхромового дублення та оцінка потенціалу їх застосування у виробництві натуральних шкір медичного призначення.

**Методика.** Було проведено бібліометричний пошук для збору інформації у наукометричних базах – Scopus, Web of Science, Google Scholar за ключовими запитами «chrome-free tanning», «medical leather», «prosthetic liners materials», «wet-white technology» – для пошуку публікацій за останні 7 років, що дозволило простежити динаміку переходу від хромових до безхромових систем.

**Результати.** На основі проведеного системного аналізу обґрунтовано, що використання традиційного хромового дублення у виробництві протезних лайнерів є недоцільним через високий ризик дерматологічних ускладнень та низьку біосумісність. Встановлено, що найбільш перспективною альтернативою є впровадження комбінованих безхромових систем на основі біоінертних металів (титану, цирконію) та альдегідних сполук у межах концепції «Wet-White». Доведено, що такий підхід дозволяє отримати матеріал із високим показником гідротермічної стійкості та необхідною еластичністю, що забезпечує гіпоалергенність та тривалий комфорт при контакті з тканинами кукси в умовах реабілітації.

**Наукова новизна.** Наукова новизна роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні та комплексному підході до вибору безхромових дубильних систем для специфічних умов експлуатації засобів реабілітації. В роботі сформульовано сукупність медико-технічних вимог до натуральної шкіри як біосумісного інтерфейсу «кукса – протез», де пріоритетом є не лише міцність, а й інертність до мікрофлори та біохімічного складу потовиділення. Удосконалено підхід до оцінки безпечності шкіряних матеріалів медичного призначення шляхом аналізу ризиків переходу іонів металів у вільний стан під впливом циклічних навантажень та зміни рН середовища.

**Практична значимість.** Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці рекомендацій для виробництва екологічно безпечних матеріалів, що підвищують якість життя пацієнтів із протезованими кінцівками. Запропоновані безхромові методи дублення дозволяють вітчизняним шкіряним підприємствам диверсифікувати виробництво та налагодити випуск імпортозаміщувальних матеріалів для ортопедичної галузі за технологією «Wet-White». Впровадження безхромової шкіри у виробництво лайнерів дозволить мінімізувати випадки контактних дерматитів та алергічних реакцій у ветеранів та цивільних осіб із ампутаціями, що скорочує термін адаптації до протеза. Перехід на титанові або рослинні методи дублення забезпечує можливість безпечної утилізації відходів шкіряного виробництва та самих виробів після закінчення терміну їх експлуатації, що відповідає європейським стандартам екологічної безпеки.

**Ключові слова:** безхромове дублення; протезні лайнери; біосумісність; шкіряний напівфабрикат «Wet-White»; вимоги до якості та безпечності.

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку медичної інженерії та засобів реабілітації особлива увага приділяється підвищенню якості життя пацієнтів з ампутаціями нижніх та верхніх кінцівок [1-2]. Одним із критичних елементів протезної системи є лайнер тобто чохол, який виконує функцію демпфуючого інтерфейсу між куксою та жорсткою приймальною гільзою протеза [3]. Попри стрімкий розвиток синтетичних полімерів таких, як силікон, термопластичні еластомери, натуральна шкіра залишається унікальним біоматеріалом завдяки своїм високим гігієнічним властивостям: здатності до сорбції та десорбції поту, паропроникності та здатності адаптуватися до анатомічних особливостей культи [2].

Традиційно понад 80% світового виробництва шкіри базується на дубленні солями хрому (Cr(III)). Проте використання хромованої шкіри у медичних виробках, що мають безпосередній тривалий контакт зі шкірним покривом людини, створює серйозні ризики [4].

Під впливом агресивного середовища, наприклад, виділення шкірного секрету, зміна рН, тертя і т.д., іони хрому можуть переходити у токсичну та алергенну форму шестивалентного хрому Cr(VI). Це призводить до виникнення контактних дерматитів, алергічних реакцій, розвитку шкірних інфекцій та сповільнення регенерації тканин кукси, що є неприпустимим у процесі тривалої реабілітації [3]. Тому пошуки альтернативних систем дублення тривають і досі. Адже будь-яка альтернативна система дублення повинна не лише відповідати екологічним та біомедичним критеріям, але й бути здатною відповідати властивостям хромового дублення шкіри [5].

Сучасні світові тенденції розвитку шкіряної промисловості базуються на концепції «Clean Technology», яка передбачає мінімізацію відходів та використання нетоксичних реагентів на кожному етапі виробництва [6]. У контексті виготовлення протезних лайнерів цей підхід є критично важливим, оскільки він виключає застосування важких металів у дубителях та барвниках, впроваджує безсольові методи консервування сировини для зменшення хлоридів у стічних водах, а також передбачає використання ферментних препаратів на етапах відмочування, зоління та знезолування для надання шкірі особливої м'якості.

Ключовим інструментом реалізації цієї концепції є створення шкіряного напівфабрикату типу «wet-white» [7]. Якщо в минулому цей термін асоціювався переважно з попереднім дубленням солями алюмінію, то сьогодні технологія значно еволюціонувала [5]. Сучасні методи отримання «wet-white» включають використання діоксиду кремнію, силікату натрію глутарового альдегіду та його модифікованих форм, а також рослинних дубителів та синтанів. Застосування такого безхромового напівфабрикату дозволяє не лише кардинально знизити екологічне навантаження, а й створити гіпоалергенну основу для медичних виробів із заданими функціональними властивостями [8-9].

Крім того, велика увага приділяється біорозкладності, а саме пошуку альтернативних дубильних систем, зокрема на основі рослинних поліфенолів, синтетичних полімерів, а також сполук титану та цирконію, які є біоінертними та безпечними для організму людини [10-12]. Однак застосування цих методів саме для протезних лайнерів потребує детального вивчення через специфічні вимоги до еластичності та гідротермічної стійкості таких виробів.

**Постановка завдання.** Основне завдання даної роботи полягає у проведенні комплексного аналітичного огляду сучасних безхромових методів дублення з метою визначення найбільш ефективних технологічних рішень для медичної галузі враховуючи специфіку експлуатації протезних лайнерів та необхідність забезпечення високого рівня біосумісності матеріалу. У межах дослідження передбачено систематизувати медико-технічні вимоги до шкіряних засобів реабілітації, здійснити порівняльну оцінку рослинних, синтетичних та мінеральних дубильних систем за критеріями гігієнічності та гідротермічної стійкості.

**Методи дослідження.** Було проведено бібліометричний пошук для збору інформації у наукометричних базах – Scopus, Web of Science, Google Scholar за ключовими запитамі «chrome-free tanning», «medical leather», «prosthetic liners materials», «wet-white technology» – для пошуку публікацій за останні 7 років, що дозволило простежити динаміку переходу від хромових до безхромових систем.

**Результати дослідження.** Специфіка експлуатації протезних лайнерів висуває до натуральної шкіри ряд жорстких вимог, що виходять за межі стандартів для взуттєвих або галантерейних виробів [2]. Оскільки лайнер безпосередньо контактує з пошкодженими або чутливими тканинами кукси протягом 12–16 годин на добу, матеріал має відповідати таким критеріям: гіпоалергенність та хімічна безпека, паро- та повітропроникність, гідротермічна стійкість та стійкість до циклічних доглядів, еластичність та демпфуючі властивості [13, 14].

Серед таких критеріїв відновлюваності найважливішою вимогою є повна відсутність у структурі шкіри вільних важких металів, насамперед хрому. У медицині відоме явище «хромової екземи» – специфічного контактного дерматиту, що виникає у пацієнтів з

підвищеною чутливістю до сполук Cr(VI). Оскільки шкіра кукси часто має порушену мікроциркуляцію крові та схильність до подразнень, використання безхромових методів дублення стає безальтернативним шляхом забезпечення біосумісності. Матеріал не повинен виділяти токсичних речовин при взаємодії з потовиділенням, рівень рН якого може коливатися від кислого до слабколужного [3].

Простір між куксою та лайнером характеризується підвищеною вологістю та температурою, що створює сприятливе середовище для розвитку патогенної мікрофлори [15]. На відміну від синтетичних аналогів, шкіра безхромового дублення має збережену пористу структуру колагену. Здатність матеріалу відводити вологу від поверхні шкіри запобігає розм'якшенню та відшаруванню епідермісу, так званої *мацерації*, що є критичним для уникнення трофічних виразок та інфекцій [2].

Натуральна шкіра в протезних лайнерах піддається регулярній гігієнічній обробці. Матеріал повинен мати високу температуру зварювання та стійкість до прання, щоб запобігти деформації та огрубінню волокон при висиханні. Безхромові методи дублення, зокрема титанові та альдегідні, дозволяють досягти необхідних значень цього показника (80-95°C), що забезпечує стабільність форми та м'якість виробу протягом усього терміну експлуатації [16].

Лайнер виступає як амортизатор, що поглинає енергію удару при ходьбі, і компенсує навантаження та бути стійким до тертя. Матеріал має бути достатньо еластичним, щоб рівномірно розподіляти тиск від гільзи протеза на м'які тканини кукси, не перетискаючи судини. Шкіра повинна мати низький коефіцієнт тертя в контакт з тілом, щоб мінімізувати ризик виникнення потертостей, але при цьому забезпечувати надійне зчеплення з гільзою для запобігання ковзання протеза [17].

Отже, вибір методу дублення визначає не лише екологічні параметри виробництва, а й кінцевий комплекс медико-біологічних властивостей готового лайнера. На сучасному етапі розвитку технологій виділяють три основні напрямки отримання безхромової шкіри: рослинне (таннідне) дублення, синтетичне та альдегідне дублення (технологія wet-white), мінеральне безхромове дублення. Різними металами та сполуками, що дозволяють отримувати шкіру білого кольору, є алюміній, цирконій, цинк, кремній та ТХПС (тетракіс(гідроксиметил)фосфонію сульфат). Було доведено, що комбінація алюмінію та цинку дозволяє виготовляти шкіру з температурою зварювання понад 90°C [5].

Перспективним напрямком є створення нанокмпозитних дубильних систем на основі монтморилоніту. Впровадження шаруватих силікатів у колагенову матрицю дозволяє не лише покращити фізико-механічні показники шкіри, а й значно підвищити її сорбційну здатність та гідротермічну стійкість. Використання нанодисперсних глинистих мінералів у поєднанні з алюмінієвим дубленням забезпечує формування структури, що є оптимальною для виробів медичного призначення, де критично важливим є баланс між міцністю та гігієнічною безпекою [18, 19].

Нижче представлено порівняння хромового методу дублення та альтернативних методів для протезної шкіри (табл. 1).

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика методів дублення для протезної шкіри**

Метод дублення	Ts, °C	Біосумісність	Еластичність
Хромове	100	Низька (ризик алергії)	Висока
Рослинне	75-85	Висока (природна)	Низька (жорстка)
Альдегідне	80-85	Середня	Дуже висока
Титанове/Цирконієве	90-95	Дуже висока	Висока
Нанокмпозитне	85-95	Висока	Висока зносостійкість, покращена абсорбція вологи

Аналіз безхромових методів дублення свідчить про наявність суттєвих відмінностей у фізико-хімічних та експлуатаційних характеристиках отриманих матеріалів [4–6]. Рослинне дублення, попри найвищий рівень екологічності та природні антибактеріальні властивості танідів, створює занадто щільну та жорстку структуру шкіри, що в поєднанні з низькою гідротермічною стійкістю обмежує його самостійне використання для протезних лайнерів [20]. Натомість технологія «wet-white» на основі глутарового альдегіду та синтанів дозволяє отримати матеріал із принципово іншими властивостями, як-от надзвичайною м'якістю, низькою питомою вагою та пухкою структурою волокон [21]. Це забезпечує атравматичність і комфортне прилягання до кукси, а висока стійкість альдегідних зв'язків до агресивних середовищ, наприклад, поту та сечі, гарантує стабільність експлуатаційних параметрів виробу протягом тривалого часу.

Особливе місце у виробництві засобів реабілітації посідає мінеральне безхромове дублення солями титану та цирконію [21], а також інноваційні методи із застосуванням монтморилоніту [19]. Використання цього нанодисперсного шаруватого силікату як модифікатора дозволяє створювати нанокомпозитні структури, що суттєво підвищують зносостійкість та сорбційну здатність матеріалу. Головною перевагою титану та цирконію є їхня доведена біоінертність, що нівелює ризик імунних чи алергічних реакцій, подібно до застосування титану в хірургічних імплантах. Титанове дублення у поєднанні з нанокомпозитним зміцненням дозволяє досягти високої температури зварювання (90–95°C), забезпечуючи міцність та термостійкість шкіри на рівні хромового напівфабрикату, проте без токсичного навантаження. Поєднання високої сорбційної здатності мінерально-силікатних систем із пластичністю альдегідних методів є найбільш перспективним шляхом створення лайнерів, що здатні ефективно відводити вологу, адсорбувати продукти шкірної секреції та витримувати інтенсивні циклічні навантаження.

#### Висновки:

1. Обґрунтовано важливість специфічних вимоги до шкіряних матеріалів медичного призначення з урахуванням не лише фізико-механічної міцності, а й високої біосумісності, гіпоалергенності та здатність до ефективного відведення вологи. Враховуючи добре розвинену капілярно-пористу структуру натуральна шкіра має переваги над синтетичними еластомерами у запобіганні мацерації кукси пацієнта.

2. Встановлено обмеженість щодо використання традиційного хромового дублення для виробів, що мають тривалий контакт зі шкірою людини. Ризик переходу залишкових сполук хрому у токсичну форму Cr(VI) під впливом секреції потових залоз робить таку шкіру потенційно небезпечною для пацієнтів із чутливим епідермісом кукси.

3. Визначено перспективність використання безхромового дублення на основі біоінертних металів – титану та цирконію. Такі системи дозволяють досягти температури зварювання шкіри на рівні 90-95°C та гарантують відсутність імунної відповіді організму, що робить їх ідеальними для медицини.

Подальші наукові дослідження будуть направлені на дослідження доцільності використання рослинних дубителів та синтанів для формування безхромових шкір медичного призначення.

#### References

1. Bai, Z., Wang, X., Zheng, M. et al. (2022). Leather for flexible multifunctional bio-based materials: A review. *Journal of Leather Science and Engineering*, 4(1), 16.
2. Wang, H. (2024). Advantages of animal leather over alternatives and its medical applications. *European Polymer Journal*, 214, 113153.

#### Література

1. Bai Z., Wang X., Zheng M. et al. Leather for flexible multifunctional bio-based materials: A review. *Journal of Leather Science and Engineering*. 2022. Vol. 4, No. 1. Art. 16.
2. Wang H. Advantages of animal leather over alternatives and its medical applications. *European Polymer Journal*. 2024. Vol. 214. Art. 113153.

3. Iungin, I. B., & Mokrousova, O. R. (2024). Composite materials for limb prosthetics liners. *Promising materials and processes in technical electrochemistry* (pp. 142–145).
4. Yu, Y., Lin, Y., Zeng, Y. et al. (2021). Life cycle assessment for chrome tanning, chrome-free metal tanning, and metal-free tanning systems. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(19), 6720–6731.
5. Fathima, N. N., Kumar, T. P., Kumar, D. R. et al. (2006). Wet white leather processing: A new combination tanning system. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 101(2), 58–65.
6. Liu, X., Wang, Y., Wang, X. et al. (2022). A salt-free pickling and chrome-free tanning technology: a sustainable approach for cleaner leather manufacturing. *Green Chemistry*, 24(5), 2179–2192.
7. Wu, X., Qiang, X., Liu, D. et al. (2020). An eco-friendly tanning process to wet-white leather based on amino acids. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122399.
8. Shi, J., Zhang, R., Mi, Z. et al. (2021). Engineering a sustainable chrome-free leather processing based on novel lightfast wet-white tanning system towards eco-leather manufacture. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124504.
9. Zhang, L., Zhao, X., Wang, C. H., & Lin, W. (2020). A novel approach for lightfast wet-white leather manufacture based on sulfone syntan-aluminium tanning agent combination tannage. *Leather and fur in the 21st century: technology, quality, ecology, education* (pp. 97–102).
10. China, C. R., Maguta, M. M., Nyandoro, S. S. et al. (2020). Alternative tanning technologies and their suitability in curbing environmental pollution from the leather industry: a comprehensive review. *Chemosphere*, 254, 126804.
11. Ding, W., Remón, J., Jiang, Z. (2025). Environmentally-friendly tanning for leather production: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 23(3), 839–864.
12. Chiampo, F., Shanthakumar, S., Ricky, R., & Ganapathy, G. P. (2023). Tannery: environmental impacts and sustainable technologies. *Materials Today: Proceedings*.
13. Powell, S. K., Cruz, R. L., Ross, M. T., & Woodruff, M. A. (2020). Past, present, and future of soft-tissue prosthetics: advanced polymers and advanced manufacturing. *Advanced Materials*, 32(42), 2001122.
14. Yang, X., Zhao, R., Solav, D. et al. (2023). Material, design, and fabrication of custom prosthetic liners for lower-extremity amputees: A review.
3. Iungin I. B., Mokrousova O. R. Composite materials for limb prosthetics liners. *Перспективні матеріали та процеси в технічній електрохімії*. 2024. P. 142–145.
4. Yu Y., Lin Y., Zeng Y. et al. Life cycle assessment for chrome tanning, chrome-free metal tanning, and metal-free tanning systems. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2021. Vol. 9, No. 19. P. 6720–6731.
5. Fathima N. N., Kumar T. P., Kumar D. R. et al. Wet white leather processing: A new combination tanning system. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2006. Vol. 101, No. 2. P. 58–65.
6. Liu X., Wang Y., Wang X. et al. A salt-free pickling and chrome-free tanning technology: a sustainable approach for cleaner leather manufacturing. *Green Chemistry*. 2022. Vol. 24, No. 5. P. 2179–2192.
7. Wu X., Qiang X., Liu D. et al. An eco-friendly tanning process to wet-white leather based on amino acids. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 270. Art. 122399.
8. Shi J., Zhang R., Mi Z. et al. Engineering a sustainable chrome-free leather processing based on novel lightfast wet-white tanning system towards eco-leather manufacture. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 282. Art. 124504.
9. Zhang L., Zhao X., Wang C. H., Lin W. A novel approach for lightfast wet-white leather manufacture based on sulfone syntan-aluminium tanning agent combination tannage. *Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование*. 2020. P. 97–102.
10. China C. R., Maguta M. M., Nyandoro S. S. et al. Alternative tanning technologies and their suitability in curbing environmental pollution from the leather industry: a comprehensive review. *Chemosphere*. 2020. Vol. 254. Art. 126804.
11. Ding W., Remón J., Jiang Z. Environmentally-friendly tanning for leather production: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2025. Vol. 23, No. 3. P. 839–864.
12. Chiampo F., Shanthakumar S., Ricky R., Ganapathy G. P. Tannery: environmental impacts and sustainable technologies. *Materials Today: Proceedings*. 2023.
13. Powell S. K., Cruz R. L., Ross M. T., Woodruff M. A. Past, present, and future of soft-tissue prosthetics: advanced polymers and advanced manufacturing. *Advanced Materials*. 2020. Vol. 32, No. 42. Art. 2001122.
14. Yang X., Zhao R., Solav D. et al. Material, design, and fabrication of custom prosthetic liners for lower-extremity amputees: A review. *Medicine in Novel*

- Medicine in Novel Technology and Devices*, 17, 100197.
15. Miyata, Y., Sasaki, K., Guerra, G. et al. (2024). The AERO prosthetic liner: socket pressure distribution, comfort and material composition. *Annals of Medicine*, 56(1), 2380798.
16. Xie, J., Liu, X., Tang, J. et al. (2021). Study on friction behavior at the interface between prosthetic socket and liner. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 23(1).
17. Łagan, S., & Liber-Kneć, A. (2020). The determination of mechanical properties of prosthetic liners through experimental and constitutive modelling approaches. *Technical Transactions*, 115(3), 197–209.
18. Zhaldak, M., & Mokrousova, O. (2020). Preparation and application of modified montmorillonite dispersion for chrome-less tanning of leather. *Leather & Footwear Journal*, 20(3).
19. Mokrousova, O., Okhmat, O., & Zhaldak, M. (2021). Study of ecological technology of leather tanning with the use of modified montmorillonite.
20. Malabadi, R. B., Kolkar, K. P., Chalannavar, R. K., & Baijnath, H. (2025). Plant based leather production-an update. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 14(1), 031–059.
21. Chen, J., Ma, J., Fan, Q., & Zhang, W. (2023). An eco-friendly metal-less tanning process: Zr-based metal-organic frameworks as novel chrome-free tanning agent. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135263.
- Technology and Devices*. 2023. Vol. 17. Art. 100197.
15. Miyata Y., Sasaki K., Guerra G. et al. The AERO prosthetic liner: socket pressure distribution, comfort and material composition. *Annals of Medicine*. 2024. Vol. 56, No. 1. P. 2380798.
16. Xie J., Liu X., Tang J. et al. Study on friction behavior at the interface between prosthetic socket and liner. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. 2021. Vol. 23, No. 1.
17. Łagan S., Liber-Kneć A. The determination of mechanical properties of prosthetic liners through experimental and constitutive modelling approaches. *Technical Transactions*. 2020. Vol. 115, No. 3. P. 197–209.
18. Zhaldak M., Mokrousova O. Preparation and application of modified montmorillonite dispersion for chrome-less tanning of leather. *Leather & Footwear Journal*. 2020. Vol. 20, No. 3.
19. Mokrousova O., Okhmat O., Zhaldak M. Study of ecological technology of leather tanning with the use of modified montmorillonite. 2021.
20. Malabadi R. B., Kolkar K. P., Chalannavar R. K., Baijnath H. Plant based leather production-an update. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*. 2025. Vol. 14, No. 1. P. 031–059.
21. Chen J., Ma J., Fan Q., Zhang W. An eco-friendly metal-less tanning process: Zr-based metal-organic frameworks as novel chrome-free tanning agent. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 382. Art. 135263.

IUNGIN IVAN

PhD Student,

Department of Biotechnology, Leather, and Fur,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0009-9446-1564>

E-mail [iunginivan@gmail.com](mailto:iunginivan@gmail.com)

Ivan IUNGIN

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

## PROSPECTS FOR THE USE OF CHROME-FREE TANNING METHODS IN THE PRODUCTION OF MEDICAL LEATHER PRODUCTS

**Purpose.** To conduct an analytical review of promising chrome-free tanning methods and evaluate their application potential in the production of natural leathers for medical purposes.

**Methodology.** A bibliometric search was performed to collect data from scientometric databases, including Scopus, Web of Science, and Google Scholar. The search utilized keywords such as "chrome-free tanning," "medical leather," "prosthetic liners materials," and "wet-white technology." The analysis covered publications from the last seven years, enabling the tracking of the transition dynamics from chrome-based to chrome-free tanning systems.

**Findings.** Based on the systematic analysis, it is substantiated that the use of traditional chrome tanning in the production of prosthetic liners is inappropriate due to the high risk of dermatological

*complications and low biocompatibility. The study identifies the implementation of combined chrome-free systems based on bioinert metals (titanium, zirconium) and aldehyde compounds within the "Wet-White" concept as the most promising alternative. It is proven that this approach yields a material with high hydrothermal stability and the necessary elasticity, ensuring hypoallergenicity and long-term comfort during contact with residual limb tissues during rehabilitation.*

**Originality.** *The scientific novelty lies in the theoretical substantiation and integrated approach to selecting chrome-free tanning systems specifically for the operating conditions of rehabilitation aids. The study articulates a comprehensive set of medical and technical requirements for natural leather as a biocompatible "stump-prosthesis" interface, prioritizing not only mechanical strength but also inertness to microflora and the biochemical composition of sweat. Furthermore, the approach to assessing the safety of medical-grade leather materials is enhanced by analyzing the risks of metal ion release under cyclic loading and varying pH environments.*

**Practical value.** *The practical value of the results consists in the development of recommendations for the production of environmentally safe materials that improve the quality of life for patients with prosthetic limbs. The proposed chrome-free tanning methods enable domestic leather enterprises to diversify production and establish the manufacturing of import-substituting materials for the orthopedic industry using «wet-white» technology. The implementation of chrome-free leather in liner production will minimize cases of contact dermatitis and allergic reactions among veterans and civilians with amputations, thereby shortening the adaptation period to the prosthesis. The transition to titanium or vegetable tanning methods ensures the possibility of safe disposal of leather production waste and the products themselves after their service life, aligning with European environmental safety standards.*

**Keywords:** *chrome-free tanning; prosthetic liners; biocompatibility; «wet-white» semi-finished leather product; quality and safety requirements.*