

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗВОЛОКНЕННЯ ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВАЛКОВИХ ПРИСТРОЯХ

Запропоновано спосіб ослаблення шкіри в гребінчастих валках, що забезпечує розтягання для випрямлення пучків і наступне поперечне стискання, що викликає достатні напруження в шкірі, які зрушують волокна, ослабляють і руйнують шкіру. Отримано аналітичні залежності, що пов'язують технологічні параметри процесу ослаблення структури шкіри з конструктивними параметрами валкового обладнання.

Постановка проблеми. Створення сучасних ресурсозберігаючих технологій переробки натуральних та штучних матеріалів разом із відповідними заходами для екологічної безпеки виробництва є однією із складних проблем, що стоять перед економікою держав усього світу. В цей комплекс проблем вписується використання відходів натуральної шкіри і переробки їх у різні матеріали та вироби після попереднього розволокнення [1...4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розроблені раніше основи технологічної теорії механічного послаблення шкіри, шляхом генерування складного напруженого стану в її волоконній структурі [5...7], передбачає практичну реалізацію основних положень цієї теорії за допомогою пристроїв з гребінчастими робочими валками. Обробка матеріалу на гребінчастих валках має певні особливості в порівнянні з гладкими циліндричними валками. У результаті обробки матеріал піддається розтягання, згинання і стисненню. При цьому, виходячи з умов деформування, визначено, що при обробці матеріалу на гребінчастих валках потужність, споживана електродвигуном, витрачається на подолання: сил, що виникають у результаті згинання і розтягання матеріалу між суміжними вершинами $P_{\text{деф}}$; сил, що виникають у результаті стискання матеріалу між валками $P_{\text{ст}}$; сил тертя, що виникають у результаті різниці радіусів обертання вершин і западин гребенів $P_{\text{тр}}$.

Розроблена модель та концепція [5...7] враховують особливості побудови натуральної шкіри, особливі і складні властивості якої обумовлені гідрофільністю основної складової її білкової речовини – колагену, а також щільною в'яззю та специфічною волоконно-пористою структурою, яку утворюють структурні елементи цієї речовини в шкірі.

Формулювання цілі статті. Основною метою цієї роботи є визначення основних технологічних параметрів пристроїв з гребінчастими робочими валками, які реалізують ослаблення волоконної структури шкіри, шляхом генерування в ній складного напруженого стану, а також визначення відповідних конструктивних параметрів технологічного устаткування, які ці режими здійснюють.

Виклад основного матеріалу. При проходженні шкіряного матеріалу у зазорі валків відбувається формування у волоконній структурі шкіри складного напруженого стану за рахунок комплексу навантажень розтягу та стиску. При цьому матеріал піддається розтягу до величини граничної відносної технологічної деформації [5], що викликає розпрямлення та орієнтування пучків волокон за напрямками діючих навантажень. Тому що при випрямленні зменшуються звивистість та петлистість волокон, то як наслідок зменшуються зусилля, які утримують волокна в шкірі [6]. Розтяг матеріалу до величин граничних відносних технологічних деформацій забезпечує випрямлення та орієнтацію волокон вздовж лінії навантаження більшості волокон структури і є найбільш раціональним між недорозпрямленням волокон та їх перетяжкою. При цьому забезпечується мінімум енерговитрат для досягнення необхідного ефекту, а саме полегшення розволокнення за рахунок зменшення структурних напружень взаємодії між волокнами, які утримують волокна в дермі. Для збереження цієї структури, яка виникла в шкірі внаслідок повздовжнього деформування, матеріал потім піддають поперечному деформуванню зусиллями стиску [7].

Оскільки стискання матеріалу здійснюється боковими поверхнями гребенів, то виникають дотичні напруження через ковзання матеріалу. Між вершиною і западиною валків, що мають різні радіуси обертання по товщині шкіри, а отже і різні лінійні швидкості, виникає різниця колових швидкостей, що викликає ковзання матеріалу в зазорі між валками. Ковзання супроводжується виникненням сили тертя.

Розглянемо послідовний процес розтягування і стискання шкіряного матеріалу по товщині, що відбувається у валковому гребінчастому пристрої. Розрахункова схема складного деформування шкіряного матеріалу в прохідних валках представлена на рис. 1. Матеріал входить у зону обробки з початковою товщиною h_n при куті ϕ_0 , а виходить із зони з залишковою товщиною h_k . Припустимо, що процес прокатування матеріалу здійснюється при значенні відносної деформації, коли настає руйнування матеріалу. Припустимо також, що релаксація деформації не відбувається і зона взаємодії поширюється тільки до площини проходження матеріалу через осі валків.

Відповідно до схеми обробки матеріалу, його деформування в гребінчастих валках можна з деякими допущеннями розбити на дві стадії (рис. 1).

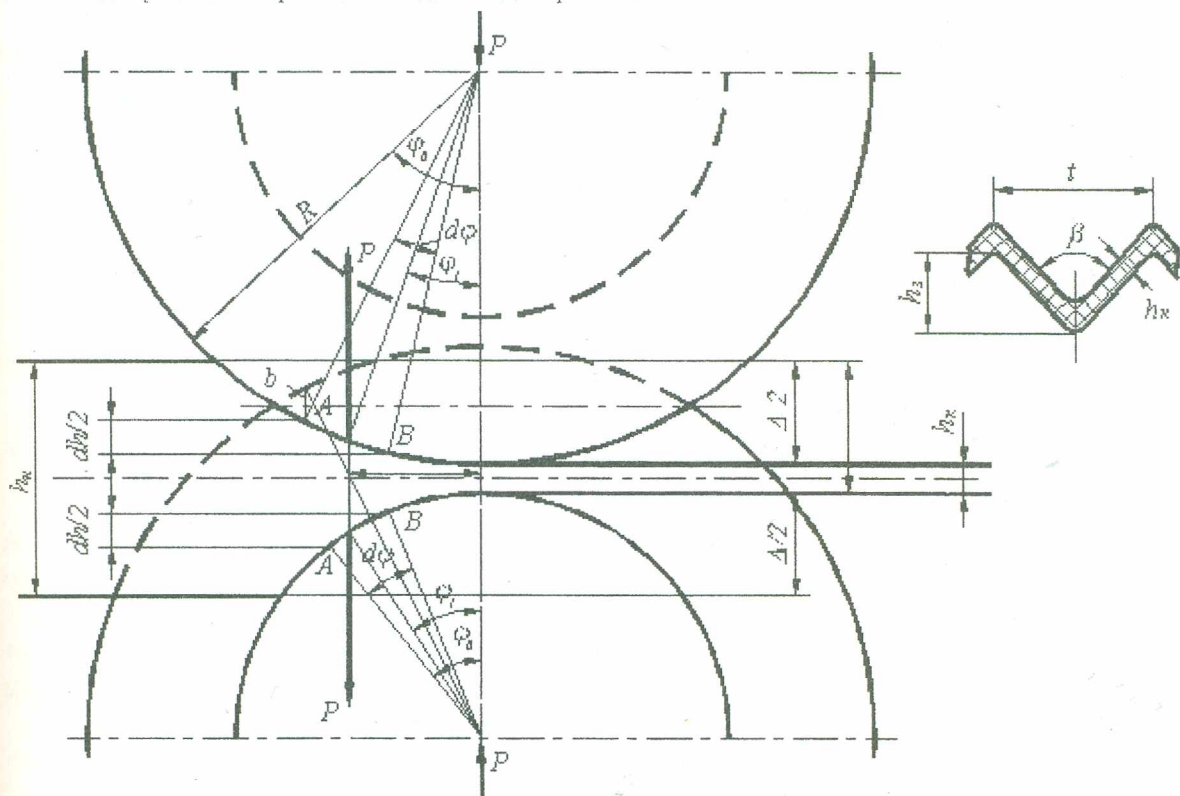


Рис. 1. Розрахункова схема складного деформування шкіряного матеріалу у прохідних валках

На першій стадії відбувається розтягання матеріалу між двома виступами одного валка і гребенями іншого валка зі згином матеріалу на вершинах гребенів при обертанні валків від кута ϕ_0 до 0. При цьому відносна деформація розтягання, яка забезпечується технологічним валковим пристроєм, буде:

$$\epsilon_p = \frac{1}{\sin(\beta/2)} - 1.$$

Підставляючи в це співвідношення значення ефективної технологічної деформації $\epsilon_p = \langle \epsilon_1 \rangle$, що викликає найбільш раціональне ослаблення волокнистої структури шкіри [6], і розв'язуючи отримане рівняння відносно кута профілю β , одержимо:

$$\beta = \arcsin \left(\frac{1}{1 + \frac{\alpha_1^0 \left\{ (l_0 - d_0 2^i) - \xi l_0 \left[(1 - 2\nu_M) A^* - (1 + \nu_M) F^* \right] \right\} \times \left[1 - (1 + \nu_M) \xi A^{**} + (1 - \nu_M) F^{**} \right]}{(l_0 - d_0 2^i) E_M \left\{ 1 + \xi \left[(1 - 2\nu_M) A^* - (1 - \nu_M) F^* \right] \right\}}} \right), \quad (1)$$

де ξ – ступінь розволокнення шкіри; d_0, l_0 – відповідно діаметр та довжина волокон, які необхідно одержати при розволокненні; A^*, F^*, A^{**}, F^{**} – постійні, що визначають рівень структурних напружень від дії відповідно потенціального та вихрового полів взаємодії між волокнами; α_1^0 – напруга однорідної взаємодії між волокнами, що виникає під дією середніх, найбільш раціональних технологічних напружень $\langle \sigma_1 \rangle$ розтягання, які генеруються технологічним обладнанням в структурі шкіри, що підлягає розволокненню; E_M, E_B, ν_M, ν_B – відповідно релаксаційні або в'язкопружні модулі та коефіцієнти поперечної деформації шкіри і колагенових волокон [5].

На рис. 2 представлена залежність кута профілю валків β від відносної технологічної деформації $\langle \epsilon_1 \rangle$, що викликає початок процесу ослаблення волокнистої структури шкіри при розтяганні шкіряної сировини.

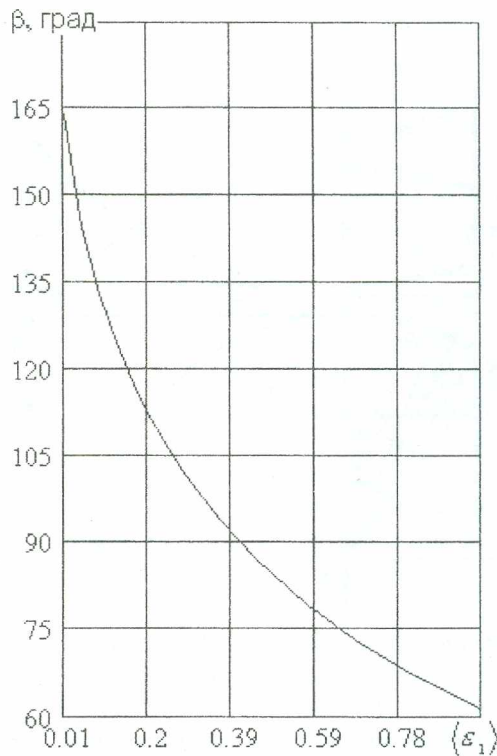


Рис. 2. Залежність кута профілю валків β від відносної технологічної деформації розтягання шкіри $\langle \epsilon_1 \rangle$ у валковому пристрої

Моделюючи западину між двома виступами гребенів у вигляді рівнобедреного трикутника висотою h_3 і основою l , досягнемо того, що розтягання шкіряного матеріалу відбувається на ділянці повороту від кута ϕ_0 до ϕ_1 і завершується на ділянці повороту від ϕ_0 до 0.

На другій стадії відбувається стискання шкіряного матеріалу між бічними поверхнями гребенів, на ділянці повороту від кута ϕ_1 до 0. Оскільки від кута ϕ_0 до кута ϕ_1 шкіра проходить зону деформації при розтяганні, волокна випрямляються, ущільнюються і шкіра починає деформуватися в зоні ослаблення структури, при початковій товщині $h_n (1 - \nu_{23} \langle \epsilon_1 \rangle)$.

З рис. 1 випливає, що:

$$2R \cos \phi_0 + h_n = R + h_n + R - h_3. \quad (2)$$

Замінивши $h_n - h_k = \varepsilon_{ст} h_n$, одержимо з (2) значення кута, що відповідає початку захвата шкіри:

$$\cos \phi_0 = 1 - \frac{h_3 + \varepsilon_{ст} h_n}{2R}. \quad (3)$$

Для визначення деформацій розтягання шкіри на гребенях валків при їх обертанні розглянемо спочатку прогин шкіри на гребенях валків без урахування її товщини. З рис. 1 видно, що прогин буде:

$$b = 2R(\cos \phi - 1) + h_3 - h_k. \quad (4)$$

З урахуванням товщини шкіри, величина прогину буде:

$$b = 2R \left(\frac{h_n}{2R} + \cos \phi - 1 \right) + h_3 - h_k, \quad (5)$$

де R – радіус валків по вершині гребенів; h_n – початкова товщина шкіри; ϕ – поточний кут повороту валків від ϕ_0 до 0; h_3 – висота гребеня валка; h_k – кінцева товщина шкіри після проходу у валках.

З рівняння (3), враховуючи рівняння (4) та (5), випливає, що відносна деформація розтягання може бути представлена, з врахуванням конструктивних особливостей валкового пристрою, у вигляді:

$$\varepsilon_p = \frac{2 \sqrt{\left[2R \left(\frac{h_n}{2R} + \cos \phi - 1 \right) + h_3 - h_k \right]^2 + \left(\frac{t}{2} \right)^2}}{t} - 1. \quad (6)$$

З рис. 1 видно, що зміна товщини матеріалу при прокатуванні його гребенем одного валка по бічних поверхнях западни іншого валка буде:

$$\Delta = - \varepsilon_{ст} h_n, \quad (7)$$

де $\varepsilon_{ст}$ – деформація стискання шкіряного матеріалу, реалізована конструктивними можливостями технологічного устаткування. Основне стискання матеріалу відбувається на бічних поверхнях гребенів, тому при визначенні зміни товщини матеріалу вводиться множник $\sin(\beta/2)$, що є сталою величиною для даної конструкції і враховує стискання матеріалу бічними поверхнями гребенів.

Розв'язавши (7) відносно $\cos \phi$, з урахуванням співвідношень (2) і (3), одержимо:

$$\cos \phi = 1 - \frac{\varepsilon_{ст} h_n}{(2R - h_3) \sin(\beta/2)}. \quad (8)$$

Відповідно до прийнятої схеми ослаблення структури шкіри, її стискання на другій стадії починається при куті повороту валків ϕ_1 , коли зазор між бічними поверхнями гребенів буде дорівнювати товщині розтягнутого матеріалу $h_n(1 - \nu_{23} \langle \varepsilon_1 \rangle)$. Тоді величина цього кута визначиться з рівняння:

$$h_n(1 - \nu_{23} \langle \varepsilon_1 \rangle) = (1 - \cos \phi_1) \sin(\beta/2) (2R - h_3), \quad (9)$$

де ν_{23} – релаксаційний коефіцієнт поперечної деформації шкіри [7].

Розв'язавши (9) відносно $\cos \phi_1$, одержимо:

$$\cos \phi_1 = 1 - \frac{h_n(1 - \nu_{23} \langle \varepsilon_1 \rangle)}{(2R - h_3) \sin(\beta/2)}. \quad (10)$$

У табл. 1 наведені результати розрахунків за формулами (3) і (10) при прийнятому умовно коефіцієнті Пуассона $\nu = 0,48$.

Таблиця 1

Результати розрахунків кутів повороту валків

$\langle \epsilon_1 \rangle, \epsilon_{ст}$	$h_n, \text{мм}$	$\cos \phi_0$	ϕ_0	$\cos \phi_1$	ϕ_1
0,4	1,25	0,9322	21,22	0,986	9,58
	2,5	0,928	21,88	0,972	13,57
	3,75	0,9237	22,52	0,9581	16,64
0,55	1,25	0,9306	21,47	0,987	9,14
	2,5	0,9248	22,36	0,9746	12,95
	3,75	0,919	23,23	0,962	15,87
0,7	1,25	0,929	21,72	-	-
	2,5	0,9216	22,84	-	-
	3,75	0,914	23,91	-	-
0,85	1,25	0,9274	21,96	-	-
	2,5	0,9184	23,3	-	-
	3,75	0,9094	24,57	-	-

У табл. 1 значення кутів ϕ_1 , при яких починається пружно-пластична і пластична деформації, визначені при $\langle \epsilon_1 \rangle = 0,4$, коли закінчується пружна деформація розтягання шкіри і $\langle \epsilon_1 \rangle = 0,55$, коли починається пружно-пластична деформація стискання після досягнення максимальної деформації розтягання.

Різниця між значеннями кутів ϕ_1 при різних $\langle \epsilon_1 \rangle$ складає величину, меншу від одного градуса, тому можна в подальших розрахунках брати значення ϕ_1 , наприклад, тільки при $\langle \epsilon_1 \rangle = 0,55$. З (6), нехтуючи висотою гребеня h_3 через її малість, у порівнянні з $2R$, одержуємо:

$$\Delta = 2R \sin \frac{\beta}{2} (\cos \phi - 1). \tag{11}$$

При повороті валка на кут $d\phi$ (рис. 1) зміна товщини матеріалу складе:

$$d\Delta = -2R \sin \frac{\beta}{2} \sin \phi \, d\phi. \tag{12}$$

Тоді елементарна відносна деформація стискання буде дорівнювати:

$$d\Delta = - \frac{2R \sin(\beta/2) \sin \phi}{h_n (1 - \nu_{23} \langle \epsilon_1 \rangle)} d\phi. \tag{13}$$

Інтегруючи вираз (13), одержимо рівняння відносної деформації стискання, виходячи з конструктивних особливостей валкового пристрою:

$$\epsilon_{cm} = \frac{2R \cos \phi \sin(\beta/2)}{h_n (1 - \nu_{23} \langle \epsilon_1 \rangle)} + C_1. \tag{14}$$

Константу інтегрування знайдемо з умов початку процесу стискання шкіряного матеріалу у валковому механізмі $\epsilon_{ст} = 0$, при $\phi = \phi_1$:

$$C_1 = - \frac{2R \sin(\beta/2)}{h_n (1 - \nu_{23} \langle \epsilon_1 \rangle)} \cos \phi_1. \tag{15}$$

Підставляючи рівняння (15) у рівняння (14), одержимо максимальне значення відносних деформацій стискання ϵ_{cm} , що виникають в структурі шкіри при проходженні через технологічні валки:

$$\epsilon_{cm} = \frac{2R \sin(\beta/2)}{h_n (1 - \nu_{23} \langle \epsilon_1 \rangle)} (\cos \phi - \cos \phi_1). \tag{16}$$

Отримане значення відносної деформації стискання ϵ_{cm} , яку забезпечують конструктивні особливості валкового пристрою, повинно бути не менше, ніж значення ефективної технологічної деформації стиснення $\langle \epsilon_2 \rangle$, що викликає найбільш раціональне ослаблення попередньо витягнутої волокнистої структури шкіри, у наближенні однорідної взаємодії між волокнами шкіри [7]:

$$\epsilon_{cm} \geq \langle \epsilon_2 \rangle = \frac{\alpha_2^0}{E_M(1-\nu_{23})} \left\{ (1-\nu_M) - \frac{\xi l_0(1+\nu_M)}{(l_0-d_0)2^i} \left[B^{**}(\gamma_1^{**}-\gamma_2^{**}) + \frac{C^{**}}{2}(\gamma_4^{**}-\gamma_3^{**})(\beta_4^{**}\gamma_2^{**}-\gamma_4^{**}\beta_2^{**}) \right] \right\}, (17)$$

де ξ – ступінь розволокнення шкіри; d_0, l_0 – відповідно діаметр та довжина волокон, які необхідно одержати при розволокненні; $\gamma_i^{**}, \eta_i^{**}, B^{**}, C^{**}$ – постійні, що визначають рівень структурних напружень від дії відповідно потенціального та вихрового полів взаємодії між волокнами; α_2^0 – напруга однорідної взаємодії між волокнами, що виникає під дією середніх найбільш раціональних технологічних напружень $\langle \sigma_2 \rangle$ стиску, які генеруються технологічним обладнанням в структурі шкіри, що підлягає розволокненню; $E_M, E_B, \nu_M, \nu_B, \nu_{23}$ – відповідно релаксаційні або в'язкопружні модулі та коефіцієнти поперечної деформації шкіри та колагенових волокон [7].

На рис. 3 наведена залежність радіуса валків від значення ефективної технологічної деформації стиснення $\langle \epsilon_2 \rangle$ натуральної шкіри хромового дублення для низу взуття, при таких фізико-механічних властивостях шкіри – $E_M = 23,69$ МПа, $\nu_M = 0,423$, $\nu_{23} = 0,434$, $E_1 = 33,41$ МПа.

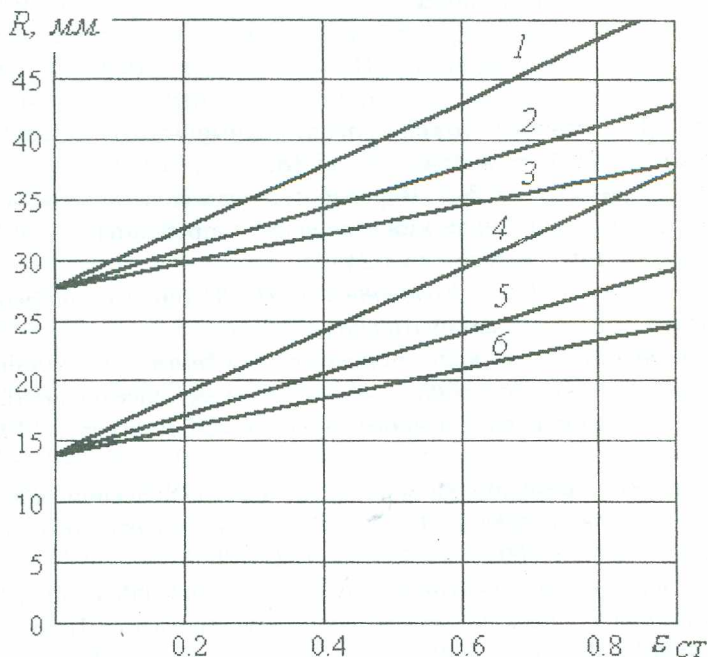


Рис. 3. Залежність радіуса валка від ефективної технологічної деформації стиснення $\langle \epsilon_2 \rangle$ натуральної шкіри хромового дублення для низу взуття при висоті профілю: $h_3 = 5$ мм (криві 1–3) та висоті профілю $h_3 = 2,5$ мм (криві 4–6)

Аналіз наведених на рис. 3 результатів показує, що для перекриття всього діапазону ефективної технологічної деформації стиснення $\langle \epsilon_2 \rangle$ необхідно при висоті профілю $h = 2,5$ мм виконувати валки діаметром не менше, ніж 50 мм, що дозволяє проводити розслаблення структури шкіри в діапазоні всієї номенклатури товщин. При цьому значення ефективної технологічної деформації стиснення $\langle \epsilon_2 \rangle$ змінюється шляхом зміни зазору між робочими валками.

При висоті профілю $h = 5$ мм діаметр валків, виходячи з тих самих розрахунків, повинен становити не менше, ніж 75 мм. Аналогічні результати отримані для шкір хромового дублення для верху взуття та шкір рослинного дублення для верху взуття. В результаті аналізу визначено діапазон технологічних та конструктивних параметрів валкових пристроїв, що забезпечують перекриття діапазону товщин та номенклатури натуральних шкір хромового і рослинного дублення для верху та низу взуття.

Висновки. 1. На підставі аналізу валкових пристроїв для ослаблення структури шкіри запропонований спосіб ослаблення шкіри в гребінчастих валках, що забезпечує складне її деформування, а саме: розтягання для випрямлення пучків і наступне поперечне стискання, що викликає дотичні напруження в шкірі, які зрушують волокна, ослаблюють і руйнують волоконну структуру шкіри.

2. Отримані аналітичні залежності, що пов'язують основні технологічні параметри операції ослаблення структури з конструктивними параметрами валкового технологічного устаткування, які створюють заданий напружено-деформований стан у матеріалі, що підлягає розволокненню.

3. Аналіз отриманих рівнянь дозволив оптимізувати співвідношення між радіусом валків, їх лінійною швидкістю і числом профілів з метою забезпечення мінімального споживання потужності для розволокнення матеріалів.

Перспективи подальших розвідок. Отже, пошук механічного способу ослаблення структури шкіряних матеріалів, теоретичне обґрунтування його технологічної реалізації, визначення оптимального співвідношення конструкційних параметрів технологічного обладнання з метою забезпечення мінімального споживання потужності при розволокненні матеріалів є важливим для створення прогресивного обладнання для механічного розволокнення відходів натуральних шкір.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Гайдук В.В.* Неизбежные отходы в реальные доходы // Кожевенно-обувная промышленность. – 1994. – № 3–4. – С. 17–18.
2. *Шарагин И.С., Авидон А.М.* Переработка отходов кожевенного производства – технологический и экономический аспекты проблемы // Кожевенно-обувная промышленность. – 1993. – № 8. – С. 24–25.
3. *Пузырев С.А., Бурова Т.С., Кочеткова С.П.* Технология обработки и переработки бумаги и картона. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 316 с.
4. *Скиба М.Є., Гуменюк О.Б.* Еколого-економічні аспекти використання відходів полімерних матеріалів шляхом розробки і впровадження високоефективних технологій їх подрібнення // Вісник Технологічного університету Поділля. – 1998. – № 4. – Ч.2. – С. 112–114.
5. *Скиба М.Є.* Структурно-механічна модель та метод визначення раціональних параметрів розволокнення шкіряних матеріалів // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – № 4. – 2002. – Ч.1. – С. 192–199.
6. *Скиба М.Є.* Визначення ефективних параметрів послаблення волоконної структури шкіри при розтягу // Вісник Технологічного університету Поділля. – № 6. – 2002. – Ч. 1. – С. 263–273.
7. *Скиба М.Є.* Послаблення волоконної структури шкіри при двовісному деформуванні // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – № 1. – 2003. – Ч. 1. – С. 7–14.

СКИБА Микола Єгорович – кандидат технічних наук, професор, ректор Хмельницького державного університету.

Наукові інтереси:

- механіка машин;
- технологія виробництва шкіри.

Тел. р.: (8-0382) 72-80-76.

Подано 11.03.2004