

Г. А. БОЙКО

кандидат технічних наук,
доцент кафедри товарознавства стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-8773-5525

Т. М. ГОЛОВЕНКО

доктор технічних наук,
доцент кафедри технологій легкої промисловості
Луцький національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1792-9364

Ю. О. МАКСИМЧЕНКО

аспірантка кафедри товарознавства стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0007-4616-8836

Є. О. СЛУЧИНСЬКИЙ

аспірант кафедри товарознавства стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0002-9895-1455

ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКОН ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ВЗУТТЯ

У статті розроблено розроблено ієрархічні системи класифікації властивостей конопляного котоніну та пряжі на його основі, за принципом дослідження тільки тих властивостей напівфабрикатів, які мають безпосередній вплив на якість готової тканини для виготовлення верху взуття. Для оцінки нерівномірності довжини конопляного котоніну було застосовано зведені характеристики груп волокон, які поділили на максимальну, середню та мінімальну довжини. Визначено, що більшість волокон конопляного котоніну має середню довжину 20–40 мм, яка наближена до штапельної довжини середньоволокнистих та довговолокнистих сортів бавовни. У результаті дослідження хімічного складу, фізичних, механічних, геометричних властивостей конопляного котоніну встановлено, що його висока міцність, яка характеризується показником розривного навантаження одного волокна – 12,0 гс, обумовлена великим вмістом в хімічному складі целюлози (до 91,2%) та лігніну (до 8%), значно більшим, ніж у інших луб'яних культур, що доведено прикладом хімічного складу льону-довгуниці. Також визначено, що хімічний склад конопляного котоніну має значний вплив на його фізико-механічні показники. Зокрема найбільший вплив хімічний склад конопель має на показник відносного розривного подовження, який є достатньо високим – 26,5%. З таким показником розривного подовження стовідсоткове використання цієї сировини в пряжі для виготовлення формостійких виробів не рекомендовано.

З метою покращення якісних властивостей конопляного котоніну було використано спеціально підібрані режими пропарювання, застосування яких показало значне покращення показників досліджуваного волокна та його хімічного складу. Показник абсолютного подовження зменшився на 1,5 мм, а показник відносного розривного подовження на 9%, що є безпосереднім показником зменшення механічних властивостей. Після пропарювання волокно стало тоншим та м'якішим про це свідчить про зменшення показника лінійної щільності на 1,3 текса. Зменшення фактичної вологості на 3% приблизило конопляний котонін до нормованої фактичної вологості, що застосовується в пневмомеханічному способі прядіння. Показник розривного подовження також зменшився на 2,9 гс, що майже наблизило його до нормованих показників прядильної здатності волокна.

У результаті проведених досліджень встановлено, що за рахунок використання певних режимів пропарювання (тиск: нагрівання, варіння – 1,2–7,1 кгс/см²; пропарювання – 1,8–2,3 кгс/см²; промивання – 0 кгс/см²; температура: нагрівання, варіння – 90–160 °С; пропарювання – 140–121 °С; промивання – 40 °С; тривалість операції: нагрівання, варіння – 30 хв.; пропарювання – 20 хв.; промивання – 10 хв) можливо отримати котонізоване волокно з покращеними властивостями, придатне для виготовлення потенційних якісних взуттєвих виробів з тканини верху на основі технічних конопель.

З метою перевірки зв'язку окреслених режимів пропарювання з експериментально визначеними механічними, геометричними та фізичними властивостями конопляного котоніну, що впливають на його прядильні властивості та являються чинниками формування якісних характеристик тканини, придатної для виготовлення

потенційних взуттєвих виробів було проведено додатково дослідження методом трифакторного математичного планування експерименту.

Ключові слова: конопляне волокно, пропарювання, хімічний склад, властивості волокна, математичне планування експерименту, текстильне взуття.

G. A. BOYKO

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Commodity Studies, Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-8773-5525

T. M. GOLOVENKO

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Light Industry Technologies
Lutsk National Technical University
ORCID: 0000-0002-1792-9364

YU. O. MAKSYMCHENKO

Postgraduate Student at the Department of Commodity Studies, Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0007-4616-8836

E. O. SLUCHYNSKY

Postgraduate Student at the Department of Commodity Science, Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0002-9895-1455

FORMATION OF PROPERTIES OF TECHNICAL HEMP FIBERS SUITABLE FOR MANUFACTURING TEXTILE FOOTWEAR

The article develops hierarchical classification systems for the properties of hemp cottonin and yarn based on it, based on the principle of studying only those properties of semi-finished products that have a direct impact on the quality of the finished fabric for the manufacture of shoe uppers.

To assess the unevenness of the length of hemp cottonin, the combined characteristics of fiber groups were used, which were divided into maximum, average and minimum lengths. It was determined that the majority of hemp cottonin fibers have an average length of 20–40 mm, which is close to the staple length of medium-fiber and long-fiber cotton varieties. It is proven that hemp cottonin can be suitable for the production of yarn using a pneumomechanical spinning system.

As a result of the study of the chemical composition, physical, mechanical, and geometric properties of hemp cottonin, it was found that its high strength, characterized by the breaking load index of one fiber – 12.0 gs, is due to the high content of cellulose (up to 91.2%) and lignin (up to 8%) in the chemical composition, significantly higher than in other bast crops, which is proven by the example of the chemical composition of long-staple flax. It was also determined that the chemical composition of hemp cottonin has a significant impact on its physical and mechanical indicators. In particular, the chemical composition of hemp has the greatest impact on the relative breaking elongation index, which is quite high – 26.5%. With such a breaking elongation index, one hundred percent use of this raw material in yarn for the manufacture of shape-stable products is not recommended.

In order to improve the qualitative properties of hemp cottonin, specially selected steaming modes were used, the application of which showed a significant improvement in the indicators of the studied fiber and its chemical composition. The absolute elongation indicator decreased by 1.5 mm, and the relative elongation at break indicator by 9%, which is a direct indicator of the decrease in mechanical properties. After steaming, the fiber became thinner and softer, as evidenced by a decrease in the linear density indicator by 1.3 tex. A decrease in the actual humidity by 3% brought hemp cottonin closer to the normalized actual humidity used in the pneumomechanical spinning method. The elongation at break indicator also decreased by 2.9 gs, which almost brought it closer to the normalized indicators of the fiber's spinnability.

High-temperature steam under pressure destroyed pectin substances by 4%, which bind microfibrils. This led to a decrease in the ability of the fibers to elongate due to a decrease in the cohesion between the components. Hemicelluloses under the influence of steam underwent hydrolysis, became less elastic. Their reduced content (by the smallest indicators by 7%) makes the fiber more rigid and reduces its plasticity, but not critically, leaving a certain percentage (3.0–7.8%), which will provide the shoe fabric with the necessary quality indicators during operation. Also, lignin modification took place – a decrease by the smallest indicators by 1.1%. Lignin was partially destroyed or modified at high temperature, which positively affected the change in the mechanical properties of the fiber. The loss of waxy and fat-like substances by 1% affected the smoothness and sliding of hemp fiber, making it less susceptible to stretching. As a result of the conducted research, it was found that by using certain steaming modes (pressure: heating, boiling – 1.2–7.1 kgf/cm²; steaming –

1.8–2.3 kgf/cm²; washing – 0 kgf/cm²; temperature: heating, boiling – 90–160 °C; steaming – 140–121 °C; washing – 40 °C; duration of the operation: heating, boiling – 30 min.; steaming – 20 min.; washing – 10 min.) it is possible to obtain cottonized fiber with improved properties, suitable for the manufacture of potential high-quality footwear products from upper fabric based on technical hemp.

In order to verify the relationship between the outlined steaming modes and the experimentally determined mechanical, geometric and physical properties of hemp cotton, which affect its spinning properties and are factors in the formation of the qualitative characteristics of the fabric suitable for the manufacture of potential footwear products, an additional study was conducted using the three-factor mathematical experimental design method. Analysis of the research results, namely the obtained regression equations and response surfaces, revealed that the most significant factors influencing the formation of the studied properties of cotton fiber in steaming modes are the steaming pressure and temperature, which was revealed during experimental and theoretical studies.

Key words: hemp fibers, steaming, chemical composition, fiber properties, mathematical experimental design, textile footwear.

Постановка проблеми

Для створення взуттєвих товарів з натуральних матеріалів високої якості за доступною ціною необхідно мати вітчизняну сировину з придатними властивостями. Додатковим джерелом сировинних ресурсів для України є волокно технічних конопель. Інтерес у використанні технічних конопель у взуттєвій промисловості з кожним роком зростає не тільки закордоном, але й в Україні. Це зумовлено, перш за все, якісними натуральними властивостями волокон даної культури. Коноплеволокно володіє високими фізико-механічними, гігроскопічними, антибактеріальними, та антиалергічними властивостями [1]. Але, поряд з цим виробі з даної сировини, особливо взуття мають де-які недоліки. В процесі експлуатації тканини верху взуття втрачають формостійкість. При інтенсивному носінні спостерігається втрата зовнішнього вигляду і зміна розміру. На даний час причини цих негативних факторів та шляхи їх вирішення не встановлено.

Розв'язання поставленої наукової проблеми полягає у комплексному аналізі вихідних даних, побудові теоретичних моделей та експериментальній перевірці вихідної сировини – волокон конопель, які використовуються в текстильному взутті, що дозволе сформулювати нові знання й удосконалити існуючі підходи в обраній галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Наукові дослідження з покращення якісних властивостей взуттєвих товарів висвітлювалися в роботах вітчизняних та зарубіжних вчених Мокроусової О.Р., Байдакової Л.І., Дудли І.О., Семака Б.Д., Коновала В.П., Либи В.П., Нестерова В.П., Половнікова І.І., Рибальченко В.В. в загальному або конкретному аспектах [2-4]. В основному ці дослідження присвячено антропоморфологічним особливостям стоп населення, матеріалознавству (шкіра, або шкірозамінники), конструюванню і технології виробництва взуття. А от вивчення та дослідження тканин верху з конопляного волокна та виникнення негативних факторів в процесі експлуатації на формостійкість, досі не було розглянуто.

В статтях Бойко Г.А. [5] було зазначено, що основними факторами погіршення формостійкості текстильного взуття з волокна конопель є особливості мікробудови та натуральних властивостей волокна конопель. Для подальшого обґрунтування сформованої наукової гіпотези необхідно детально здійснити аналіз властивостей конопляного волокна, що мають суттєвий вплив на показники надійності взуття та дослідити шляхи і аспекти їх поліпшення.

Формулювання мети дослідження

Покращення натуральних властивостей волокон технічних конопель з метою їх використання у взуттєвому виробництві.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для досліджень було використано сорт технічних конопель Гляна, який характеризується великим відсотком вмісту волокна, придатного для текстильного виробництва. Стебла обраного сорту оброблялися декортикатором фірми CannaSystems для одержання волокна, після чого, волокно піддавалося подрібненню та додатковому очищенню в три етапи, потім – розпушуванню з метою надання волокнам конопель бавовноподібного стану. Щоб мати підстави запровадження даного волокна в тканині для верху текстильного взуття потрібно дослідити натуральні властивості отриманого модифікованого волокна.

З цією метою здійснено аналіз усіх властивостей волокна технічних конопель з метою визначення найбільш суттєвих, які мають безпосередній вплив на якість готового текстильного взуття. Класифікація властивостей конопляних волокон представлена на рис. 1.

Якість волокна технічних конопель, що надходить до текстильних підприємств, залежить від багатьох факторів: сорту, умов вирощування, термінів збирання, технології первинної переробки та модифікації тощо [6]. Більшість з цих факторів впливає на відсотковий вміст волокна в стеблах, засміченість, міцність, довжину, лінійну щільність та відносну вологість волокон. Вищезазначені властивості мають суттєве значення для виготовлення

якісних текстильних виробів. Таким чином, з метою дослідження можливості застосування конопляного волокна у взуттєвому виробництві потрібно визначити комплекс властивостей, який безпосередньо має вплив на ергономічні властивості та надійність готових взуттєвих виробів на основі досліджуваної сировини. З метою визначення впливу конопляного волокна на формостійкість майбутніх взуттєвих виробів та подальших їх досліджень було сформовано класифікацію властивостей волокна (рис. 2).



Рис. 1. Класифікація властивостей конопляних волокон

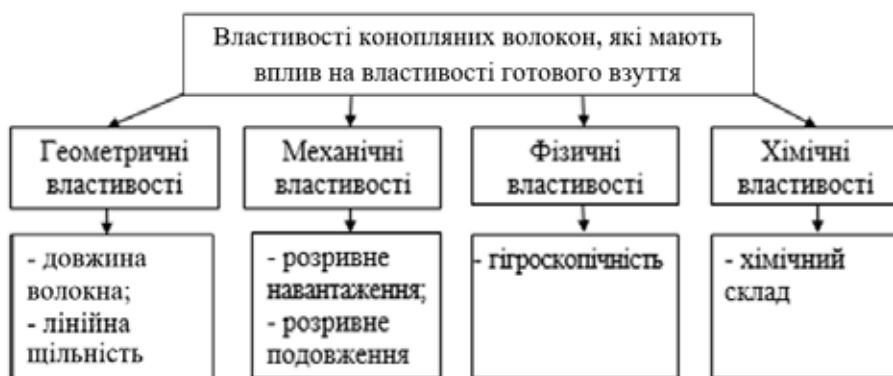


Рис. 2. Класифікація властивостей конопляних волокон, які мають вплив на споживні характеристики майбутніх взуттєвих виробів

Подальші дослідження наукової роботи були спрямовані на визначення факторів впливу покращення властивостей конопляного волокна, окреслених на рис. 2, яке отримане за технологією декортикації стебел та подальшою модифікацією волокна.

Для визначення прядильної здатності отриманих волокон на першому етапі було досліджено їх штапельну довжину, яка є важливим показником, оскільки впливає на якість та міцність готової пряжі. Дані дослідження, а саме розподіл волокон за довжинами, дадуть можливість виявити продуктивний вміст одержаних волокон, з необхідним діапазоном довжини, що важливо в процесі прядіння та є суттєвим фактором впливу на кінцеві властивості готових текстильних виробів. Адже, велика кількість коротких волокон може знизити міцність пряжі або тканини через вищу схильність до розриву на межах волокон. Довші волокна, в свою чергу, забезпечують кращу міцність та зносостійкість, оскільки утворюють більш міцні з'єднання між волокнами. Також це важливий показник під час вибору технологічного процесу прядіння.

Для побудови діаграм розподілу волокон за довжиною відбирали пробу масою 5 мг. Кожне волокно проби вимірювали та розподіляли на відповідні групи. Довжину одержаного конопляного катоніну визначали методом промірювання окремих волокон, який полягає у визначенні найбільшої відстані між кінцями волокна в розпрямленому стані [7]. Оскільки катонізоване конопляне волокно має значну нерівномірність за довжиною, то для оцінки його нерівномірності застосовували зведені характеристики груп волокон, які поділили на максимальну, середню та мінімальну довжини. Результати проведених досліджень наведені в табл. 1, 2 відповідно.

Таблиця 1

Характеристика розподілу за довжиною волокон конопляного кotonіну

| № з/п | Інтервал довжин, мм | Середня довжина волокон, мм | Кількість волокон у групі, шт. | Маса волокон у групі, г |
|------------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 1. | 0-10 | 5 | 8120 | 0,357 |
| 2. | 10-20 | 15 | 16452 | 0,765 |
| 3. | 20-30 | 25 | 31483 | 1,310 |
| 4. | 30-40 | 35 | 14456 | 0,980 |
| 5. | 40-50 | 45 | 4238 | 0,689 |
| 6. | 50-60 | 55 | 602 | 0,520 |
| 7. | 60-і більше | 65 | 430 | 0,379 |
| Загальне значення | | | 75926 | 5,0 |
| Середнє арифметичне значення | | | 10846 | 0,71 |

Таблиця 2

Основні групи довжин волокон конопляного кotonіну

| Мінімальна довжина 0-20 мм | Середня довжина 20-40 мм | Максимальна довжина 40-70 мм |
|----------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 32,3% | 60,4% | 7,3% |

Аналіз результатів досліджень, наведених у табл. 1, 2 свідчить, що 60,4% волокон конопляного кotonіну мають середню довжину 20-40 мм, яка наближена до штапельної довжини середньоволокнистих та довговолокнистих сортів бавовни. Штапельна довжина бавовняного прядильного волокна визначає середню довжину волокон у партії бавовни, які використовуються для прядіння. Основні значення довжин бавовняного волокна:

- для бавовни коротковолокнистих сортів: довжина становить 20-25 мм;
- для бавовни середньоволокнистих сортів: 25-35 мм;
- для довговолокнистих сортів: довжина може сягати 35-50 мм.

Отже, за показником штапельної довжини конопляний кotonін є придатним для виробництва пряжі за пневмомеханічною системою прядіння.

Після дослідження розподілу волокон за довжиною визначали хімічний склад конопляного кotonіну. Адже хімічний склад конопляного кotonіну впливає не тільки на його прядильні властивості, але може бути чинником, який має безпосередній вплив на властивості майбутніх виробів з цієї тканини [8]. Результати вмісту у волокні целюлози, геміцелюлози, лігніну, пектинових речовин, смол, восків та жирів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Хімічний склад конопляного волокна

| Конопляна сировина | Вид волокна | Вміст основних хімічних компонентів, % | | | | | |
|--------------------|-------------|--|---------------|---------|--------------------|---------|----------------------|
| | | целюлоза | геміце-люлоза | лігнін | пектинові речовини | зола | смоли, воски та жири |
| Волокно | Котонін | 71,9-91,2 | 10,0-18,0 | 3,7-8,0 | 5,1-10,4 | 1,6-3,0 | 3,0-4,0 |

Аналіз даних табл. 3 свідчить, що конопляний кotonін повинен мати високу міцність через великий вміст целюлози та лігніну, що значно більше ніж у інших луб'яних культур.

За даними табл. табл. 3 було виявлено основні хімічні компоненти які мають вплив на механічні показники конопляного волокна:

1. Целюлоза (71,9-91,2%) – є основним структурним елементом волокна. Її кристалічність і ступінь полімеризації впливають на подовження, волокна з високою кристалічністю мають меншу здатність до подовження. Аморфні області целюлози сприяють еластичності й подовженню під навантаженням.

2. Геміцелюлоза (10,0-20,0%) забезпечує гнучкість волокна, оскільки вона менш кристалічна й легше деформується, ніж целюлоза. Зменшення вмісту геміцелюлози, наприклад, під час обробки, може знижувати подовження волокна.

3. Лігнін (3,7-8%) – це жорсткий і гідрофобний полімер, який обмежує подовження волокна, додаючи йому міцності. Під час видалення або зниження вмісту лігніну (хімічна чи біологічна обробка) волокно стає більш еластичним і здатним до подовження.

4. Пектинові речовини (5,1-10,4%) склеюють мікрофібрили, зменшуючи їхнє вільне переміщення. Видалення пектинів у процесі розмочування чи лужного оброблення може покращити подовження, оскільки зменшується зв'язність між окремими елементами волокна.

5. Мінеральні речовини та воскоподібні сполуки (3,0-4,0%). Воскові речовини знижують тертя між волокнами, впливаючи на їхню гнучкість. Мінеральні домішки, навпаки, можуть погіршувати подовження через зменшення еластичності.

Після визначення довжини отриманих волокон та хімічного аналізу, було визначено показники геометричних, механічних та фізичних властивостей отриманого конопляного кotonіну. У табл. 4 подано усереднені результати визначення даних показників конопляного кotonіну.

Таблиця 4

Показники визначених механічних, геометричних та фізичних властивостей одержаного конопляного кotonіну

| № з/п | Показник | Значення показника |
|--------------------------------|--|--------------------|
| <i>Механічні властивості</i> | | |
| 1 | Розривне навантаження одного волокна, гс | 12,0 |
| 2 | Абсолютне розривне подовження, мм | 6,7 |
| 3 | Відносне розривне подовження, % | 17,2 |
| <i>Геометричні властивості</i> | | |
| 4 | Лінійна щільність, текс | 6,8 |
| <i>Фізичні властивості</i> | | |
| 5 | Фактична вологість, % | 12,0 |

Отримані показники конопляного кotonіну окреслюють його прядильну здатність. Відомо, що на обладнанні за пневмомеханічним способом прядіння потрібні необхідні параметри волокон: довжина 20-35 мм, лінійна щільність 1,5-5 текс, мінімальне розривне навантаження волокна 3-7 гс та фактичною вологістю 8-10% [9]. Як видно з табл. 4, конопляний кotonін має лінійну щільність 6,8 текс, що перевищує нормовану допустиму тонину волокон на 1,8 текс. Перевищують і показники фактичної вологості – на 2% та розривного навантаження – на 40%. Також, в результаті визначення механічних властивостей виявлено підвищення показника відносного розривного подовження – 17,2%. Якщо порівнювати цей показник з іншими прядомими натуральними волокнами, наприклад, бавовна – 2-8%, то його значення більше на 11,2%. Але в порівнянні з волокнами лавсану, який має значення 15-30%, в такому випадку кotonізовані волокна наближені до одержаного показника. Досліджуючи більш детально показник розривного подовження було визначено, що волокно конопель після розтягування під впливом механічної дії не повертається до попереднього стану навіть після тривалого часу, а волокно лавсану після розтягування вже через декілька хвилин повертає свої попередні розміри.

Пояснюється це тим, що коноплі складаються з целюлози, полімерних ланцюгів, які формують жорстку і лінійну структуру [10]. Молекули целюлози сильно взаємодіють між собою через водневі зв'язки. Це забезпечує міцність, але обмежує гнучкість ланцюгів. Під час розтягування водневі зв'язки частково розриваються, а молекулярні ланцюги зміщуються. Через жорсткість структури вони не здатні повернутися до початкового стану. Целюлозні волокна не мають спіральної чи еластичної структури, яка могла б «запам'ятовувати» чи системно відновлювати форму. Таким чином, конопляні волокна демонструють пластичну деформацію, і після розтягування не повертаються до первісної форми. А волокна лавсану (синтетичні, поліефірні волокна) складаються з полімерних ланцюгів, що мають певну гнучкість і здатність до розтягування. Полімерні ланцюги лавсану мають як жорсткі (ароматичні кільця), так і гнучкі (ефірні зв'язки) ділянки, які дозволяють їм тимчасово витягуватися і повертатися до початкового стану. Під час розтягування ланцюги лавсану витягуються, але не розривають хімічних або міцних водневих зв'язків. Після зняття навантаження енергія зв'язків змушує ланцюги повертатися до попереднього стану. Таким чином, здатність лавсану повертатися до початкової форми забезпечується його молекулярною гнучкістю та структурою, а жорстка целюлозна будова конопляних волокон призводить до їх пластичної деформації. Спираючись на вищевикладене використання в пряді з таким показником стовідсоткове використання цієї сировини для виготовлення формостійких виробів не рекомендується.

Структурний аналіз отриманих експериментальних даних дав змогу в подальшому сформулювати наступні дії наукового дослідження які базувалися на визначенні методів та режимів оброблення конопляного кotonіну. Відомо, що для покращення властивостей волокон використовують різні методи обробки [11]. Основні з них: пропарювання, хімічна обробка, механічна обробка, термічна обробка, покриття або просочення.

Кожен з вищезазначених методів дозволяє досягти контролю над механічними властивостями волокна, зокрема над його подовженням, що важливо для досягнення мети дисертаційної роботи, але не кожен метод підходить для обробки конопляного волокна через його характерні особливості. Проаналізувавши наявні методики обробки було прийнято рішення використовувати метод пропарювання. Пропарювання під високим тиском допомагає стабілізувати структуру волокна, робить його менш еластичним і знижує подовження. Цей метод також допомагає видалити домішки, такі як пектин і лігнін, що покращує механічні властивості волокна.

З цією метою було здійснено пропарювання конопляного кotonіну. Основні результати та висновки досліджень з визначення оптимальних значень тиску, температури та тривалості операції під час пропарювання одержаного конопляного волокна полягають у наступному:

1. *Дослідження тиску.* Перевищення оптимального тиску пропарювання більше $2,5 \text{ кгс/см}^2$, призводить до перегріву та пошкодження структури волокна, що зменшує його міцність. Конопляне волокно має високий вміст лігніну тому, занадто інтенсивне пропарювання призводить до погіршення еластичних властивостей волокна та формування його крихкості. Високий тиск також впливає на збереження структури клітинної стінки, що важливо для збереження природної міцності волокна. Якщо тиск пропарювання занадто низький менше $1,5 \text{ кгс/см}^2$ то в цьому моменті не досягається необхідний рівень виділення пектинів, лігніну та інших домішок, що є основним завданням даної роботи.

2. *Дослідження температурних режимів.* Висока температура варіння волокна $90\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$ та пропарювання до 150°C сприяє стабілізації волокна, зменшуючи його здатність до подовження під навантаженням. Якщо температура перевищує оптимальні значення $180\text{--}200^\circ\text{C}$, то при цьому волокно втрачає частину своєї природної міцності, стає більш ламким або крихким. За умови температурного режиму – понад $200 \text{ }^\circ\text{C}$, відбувається деформація клітинної структури волокна, що зменшує його стійкість до механічних навантажень. Також високі температури впливають негативно на якість та пластичність волокна. За умови зниження температури до $50\text{--}100 \text{ }^\circ\text{C}$ виявлено відсутність факторів покращення якісних властивостей волокна, що суперечить встановленим цілям даної дисертаційної роботи.

3. *Дослідження тривалості операції.* Якщо час пропарювання занадто короткий – менше 15 хв від необхідного, то волокно не досягає необхідного рівня очищення та виявляється суттєва кількість залишків пектинових речовин, лігніну та інших домішок. Це знижує ефективність обробки і призводить до зменшення міцності волокна. Також, недостатність часу пропарювання залишає волокна більш еластичними і менш стабільними. Якщо час пропарювання надмірно збільшений – 30 хв, за умови високого тиску і температури, відбувається ламкість волокна та зменшується міцність, через надмірну його обробку.

Опираючись на проведені дослідження та отримані висновки, викладені вище, було застосовано оптимальні режими для здійснення процесу пропарювання конопляного кotonіну, які узагальнено та схематично подано на рис. 3.

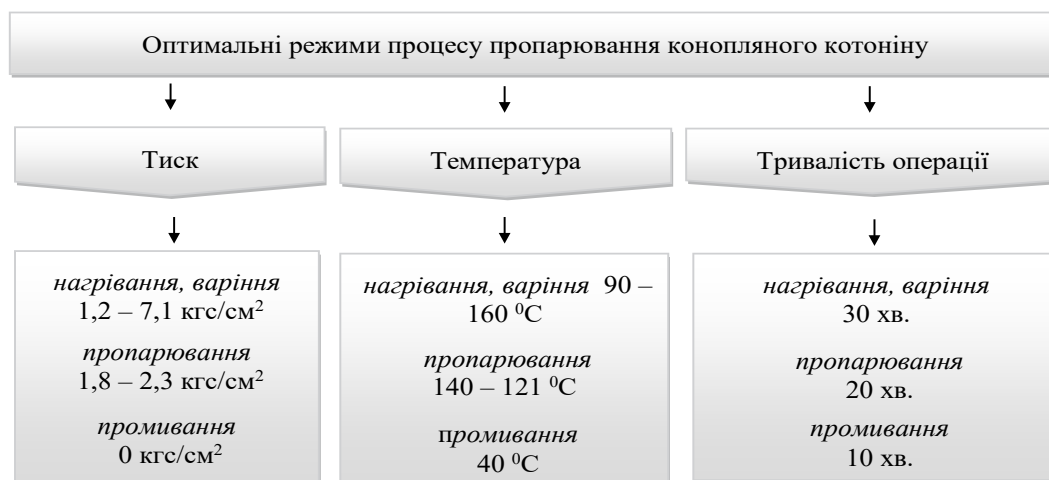


Рис. 3. Схема оптимальних режимів для здійснення процесу пропарювання конопляного кotonіну

Після пропарювання проводили повторні дослідження властивостей волокон окрім довжини, адже суттєвого впливу, дані режими проведених операцій, на довжину не мають. Усереднені показники хімічного складу та властивостей конопляного кotonіну наведені в табл. 5, 6 відповідно.

Результати проведеного оптимізованого методу пропарювання, показали (табл. 5, 6), що відбулося значне зменшення показників абсолютного та відносного розривного подовження. Показник абсолютного подовження зменшився на 3 мм, а показник відносного розривного подовження на 7,9%, що є безпосереднім показником зменшення механічних властивостей. Після пропарювання волокно стало тоншим та м'якшим про це свідчить зменшення показника лінійної щільності на 1,3 текса. Зменшення фактичної вологості на 3% приблизило конопляний кotonін до нормованої фактичної вологості, що застосовується в пневмомеханічному способі прядіння. Показник розривного подовження також зменшився на 2,9 гс, що майже наблизило його до нормованих показників прядильної здатності волокна. Зміни якісних властивостей конопляного кotonіну відбулися через значні зміни в хімічному складі волокна.

Таблиця 5

Показники механічних, геометричних та фізичних властивостей конопляного кotonіну, одержаного із застосуванням рекомендованих режимів пропарювання

| № з/п | Показник | Значення показника |
|--------------------------------|--|--------------------|
| <i>Механічні властивості</i> | | |
| 1. | Розривне навантаження одного волокна, гс | 7,6 |
| 2. | Абсолютне розривне подовження, мм | 3,7 |
| 3. | Відносне розривне подовження, % | 9,3 |
| <i>Геометричні властивості</i> | | |
| 4. | Лінійна густина, текс | 5,5 |
| <i>Фізичні властивості</i> | | |
| 5. | Фактична вологість, % | 9 |

Таблиця 6

Хімічний склад конопляної сировини після пропарювання з рекомендованими режимами

| Конопляна сировина | Вид волокна | Вміст основних хімічних компонентів, % | | | | | |
|--------------------|-------------|--|--------------|---------|--------------------|---------|----------------------|
| | | целюлоза | геміцелюлоза | лігнін | пектинові речовини | зола | смоли, воски та жири |
| Волокно | Котонін | 69,3-71,4 | 3,0-7,8 | 2,6-5,2 | 1,1-3,5 | 1,0-1,8 | 1,0-2,1 |

Як видно з показників табл. 6. відбулося зниження вмісту пектинових речовин за найнижчими показниками на 4%. Високотемпературна пара під тиском руйнує пектини, які зв'язують мікрофібрили. Це призвело до зменшення здатності волокон до подовження через зниження зв'язності між компонентами. Геміцелюлоза під впливом пари зазнає гідролізу, стаючи менш еластичними. Їхній зменшений вміст (за найменшими показниками на 7%) надає волокну більшої жорсткості і знижує його пластичність. Також, відбулася і модифікація лігніну – зменшення за найменшими показниками на 1,1%. Лігнін частково зруйнувався або модифікувався під високою температурою, що позитивно вплинуло на зміну механічних властивостей волокна. Втрата воскових і жироподібних речовин на 1% вплинуло на гладкість і ковзання конопляного волокна, роблячи його менш податливим до розтягування.

Дія пропарювання волокон конопляного кotonіну під високим тиском та температурами змінила кристалічну структуру целюлози, зменшилася аморфна частка, яка відповідає за еластичність, що знижує здатність волокна до подовження.

З метою перевірки зв'язку окреслених режимів пропарювання (рис. 3) з експериментально визначеними механічними, геометричними та фізичними властивостями конопляного кotonіну (табл. 5), що впливають на його прядильні властивості та являються чинниками формування якісних характеристик тканини, придатної для виготовлення потенційних взутиєвих виробів було проведено додатково дослідження методом трифакторного математичного планування експерименту.

Для вирішення поставленої задачі використано експериментальні дані досліджень режимів пропарювання (рис. 4) та їх вплив на розривне навантаження кotonізованого волокна, відносне розривне подовження, лінійну густина та фактичну вологість.

З метою дослідження впливу режимів пропарювання, а саме тиску, температури та часу на фізико-механічні властивості кotonізованого волокна використовували метод багатфакторного математичного планування експерименту. Згідно з даною методикою було проведено розрахунки із застосуванням програмного продукту MathCAD 14, побудовано матриці планування експерименту, поверхні відгуку кодованих і натуральних факторів, складено регресійні рівняння й визначено критерії Кохрена та Стьюдента для кожної якісної характеристики. Під час математичного моделювання впливу режимів пропарювання на фізико-механічні характеристики конопляного волокна одержано регресійні трифакторні математичні моделі залежності вихідної характеристики – розривного навантаження кotonізованого волокна, відносного розривного подовження, лінійної густину та фактичної вологісті. Так, отримані рівняння регресії функції $y = f(x_1, x_2, x_3)$, де y – функція відгуку. У нашому випадку y_1 – розривне навантаження кotonізованого волокна, y_2 – відносне розривне подовження, y_3 – лінійна густина та y_4 – фактична вологість, а x_1 – тиск, x_2 – температура, x_3 – тривалість операції.

У результаті проведеного математичного планування отримані рівняння регресії для кotonізованого волокна (1) та побудовано поверхні відгуку, графічну інтерпретацію якої представлено в натуральних факторах на рис. 4.

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 0,0125x_2 - 0,6417x_1 + 0,1808x_3 - 0,01217x_1x_2 - 0,1146x_1x_3 - 0,0025x_2x_3 + 0,0010x_1x_2x_3 + 13,6 \quad (1)$$

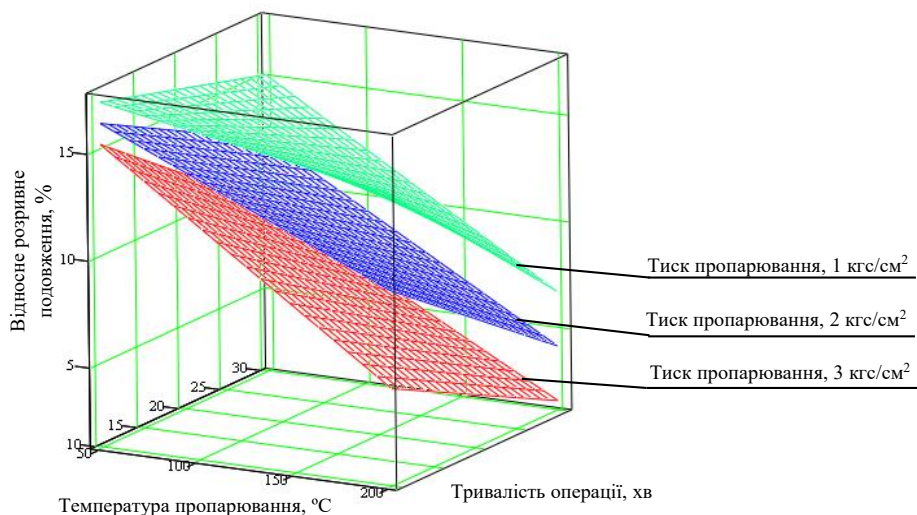


Рис. 4. Вплив режимів пропарювання на розривне навантаження котонізованого волокна

За підсумками проведеного математичного планування отримані рівняння регресії для котонізованого волокна (2) та побудовано поверхні відгуку, графічну інтерпретацію в натуральних факторах, якої представлено на рис. 5.

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 1,9x_1 + 0,0412x_2 + 0,1533x_3 - 0,0375x_1x_2 - 0,1688x_1x_3 - 0,0033x_2x_3 + 0,0014x_1x_2x_3 + 16,4417 \tag{2}$$

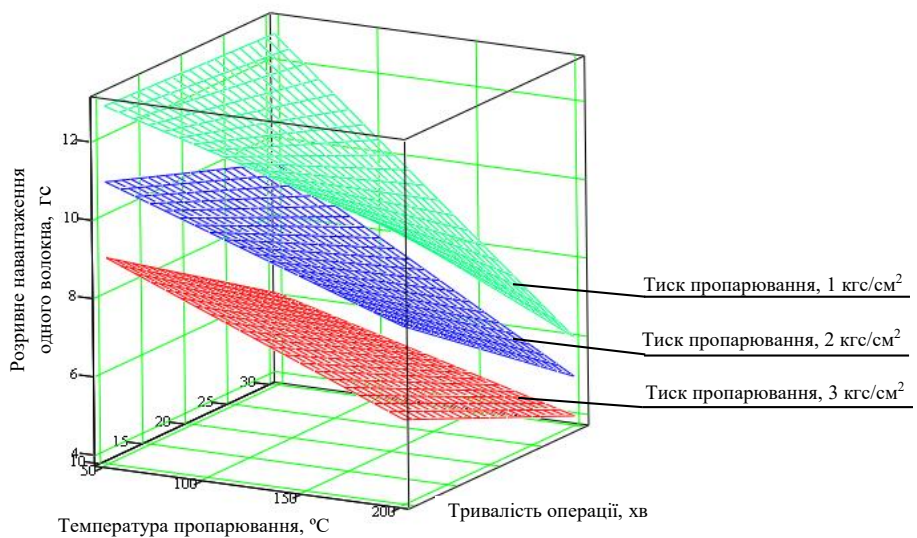


Рис. 5. Вплив режимів пропарювання на відносне розривне подовження котонізованого волокна

У результаті проведеного математичного планування отримані рівняння регресії для котонізованого волокна (3) та побудовано поверхні відгуку в натуральних факторах, графічну інтерпретацію якої представлено на рис. 6.

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 0,3125x_1 + 0,0028x_2 + 0,0417x_3 - 0,0313x_1x_3 - 0,0005x_2x_3 + 6,0833 \tag{3}$$

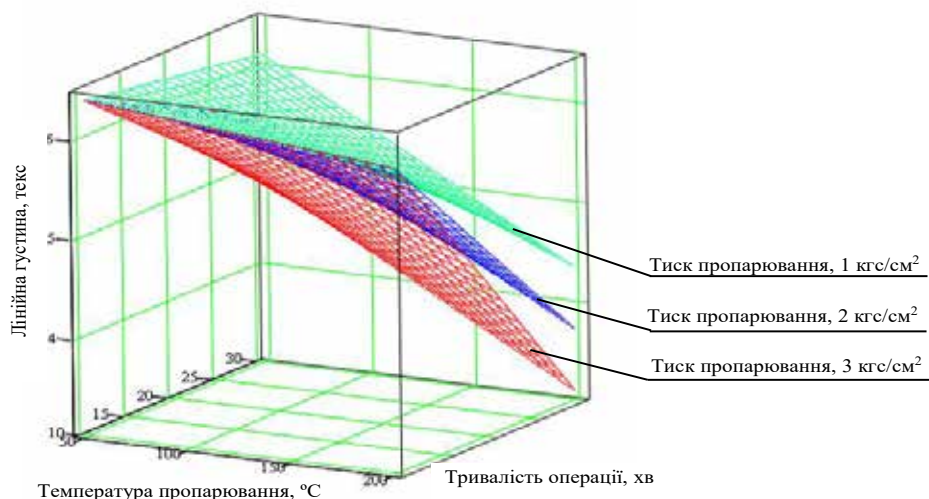


Рис. 6. Вплив режимів пропарювання на лінійну гуστину котонізованого волокна

У результаті проведеного математичного планування отримані рівняння регресії для котонізованого волокна (4) та побудовано поверхні відгуку в натуральних факторах, графічну інтерпретацію якої представлено на рис. 7.

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 18,6250 - 1,1875x_1 - 0,0225x_2 - 0,0250x_3 - 0,0013x_2x_3 \tag{4}$$

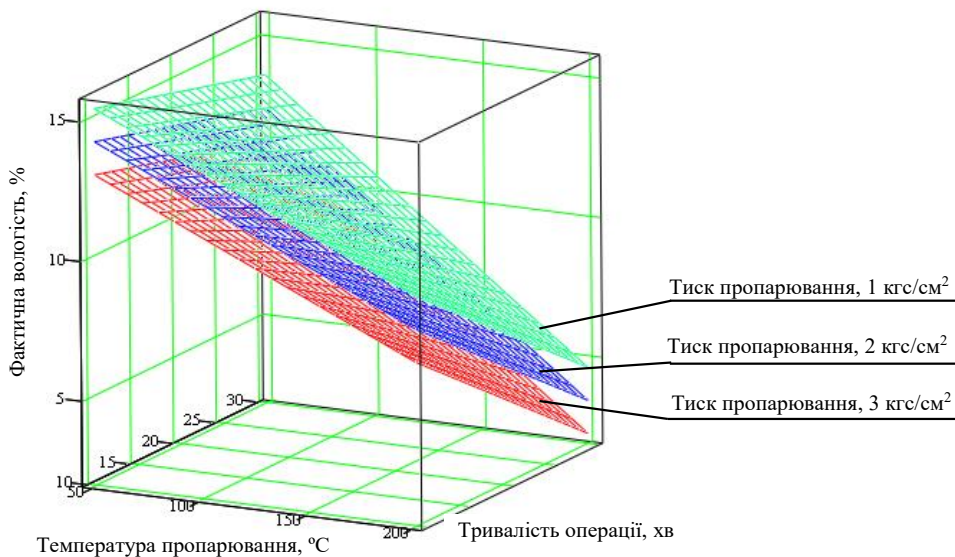


Рис. 7. Вплив режимів пропарювання на фактичну вологість котонізованого волокна

Аналіз результатів досліджень, а саме отриманих регресійних рівнянь і поверхонь відгуків виявив, що найбільш вагомими чинниками впливу на формування досліджуваних властивостей котонізованого волокна в режимах пропарювання є тиск та температура пропарювання, що й виявлено під час експериментальних та теоретичних досліджень.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що за рахунок пропарювання конопляного котоніну механічного способу модифікації при певних режимах можливо забезпечити зменшення розривного подовження, що дасть можливість покращити формостійкість майбутніх взуттєвих товарів під час їх експлуатації. Таким чином, можна зробити висновок, що використання в легкій промисловості України високоякісного конопляного котоніну може сприяти виходу вітчизняної економіки із кризового стану. Створення власної сировинної бази дозволить підприємствам галузі виготовляти конкурентоспроможні текстильні та взуттєві товари.

Список використаної літератури

1. Бойко Г.А., Мандра О.М., Тіхосова А.О. Унікальні споживні властивості технічних конопель. The 6th International scientific and practical conference “Dynamics of the development of world science” (February 19-21, 2020) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2020. P. 382-386.
2. Жалдак, М. П. & Мокроусова, О. Р. Стан ринку дитячого взуття та натуральних шкір для його виготовлення. Перспективні матеріали та інноваційні технології: біотехнологія, прикладна хімія та екологія : колективна монографія, 2020, С. 441-458.
3. Байдакова І. М. Методи оцінки якості взуття і шкір для верху взуття. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2009, № 2, С. 134-137.
4. Коновал В. П., Свістунова Л. Т., Олійникова В. В. Технологія взуттєвого виробництва: підручник. Київ : Либідь, 2003. 366 с.
5. Бойко Г. Донцова В. Формування властивостей волокон технічних конопель. Технічні культури для цілей сталого розвитку: пріоритетні напрями наукових досліджень в умовах сучасних викликів і загроз, матеріали між-нар. наук.-практ. конф. (м. Глухів, 22-23 бер. 2023 р.). Глухів: ІЛК НААН. С. 67-69.
6. Бойко Г.А., Головенко Т.М. Вплив технологій збирання на якісні показники луб'яних культур. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: International research and practice conference. (27-28 December 2017). Poland. 2017. P. 174-178.
7. ДСТУ ГОСТ 3274.5:2009 (ИСО 4913-81) Волокно бавовняне. Методи визначення довжини. Київ : Держ-стандарт України, 2009. 25 с.
8. João P. Manaia, Ana T. Manaia, Lúcia Rodrigues. *Industrial Hemp Fibers: An Overview*, 2019, *Fibers*, 7(12), 106, P. 111-113.
9. Пилипчук В. О., Ковальова Н. О. Технологія прядіння та виробництва пряжі, Київ: УНТІ, 2015, с. 320.
10. Гордійчук А. І., Власенко В. М. Коноплі: використання та обробка: Київ: Наукова думка, 2015, с. 180.
11. Смирнов В.А. Технологія текстильного виробництва. *Текстильна промисловість*, 2008, с. 45-120.

References

1. Boyko G.A., Mandra O.M., Tikhosova A.O. (2020) Unikalni spozhivni vlastivosti tehnicnih konopel [Unique consumer properties of technical hemp]. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference “Dynamics of the development of world science” (Vancouver, Canada, February 19-21, 2020), Canada: Perfect Publishing, pp. 382-386.
2. Zhaldak, M. P., Mokrousova, O. R. (2020) Stan rinku dityachogo vzuttya ta naturalnih shkir dlya jogo vigotovlennya [State of the market for children's shoes and natural leather for their manufacture]. *Perspektivni materialy ta innovacijni tehnologiji: biotekhnologiya, prikladna himiya ta ekologiya: kolektivna monografiya* [Promising materials and innovative technologies: biotechnology, applied chemistry and ecology: collective monograph], 2020, pp. 441-458.
3. Baidakova I. M. (2009) Metodi ocinki yakosti vzuttya i shkir dlya verhu vzuttya [Methods for assessing the quality of shoes and leather for shoe uppers]. *Measuring and computing technology in technological processes*. 2009, no. 2, pp. 134-137.
4. Konoval V. P., Svistunova L. T., Oliynykova V. V. (2003) *Tekhnologiya vzuttyevogo virobnictva* [Shoe production technology]. Kyiv: Lybid, 2003, p. 366.
5. Boyko G. Dontsova V. (2023) Formuvannya vlastivostej volokon tehnicnih konopel [Formation of properties of technical hemp fibers]. Proceedings of the international scientific and practical conference *Technical crops for sustainable development: priority areas of scientific research in the context of modern challenges and threats* (Hlukhiv, March 22-23, 2023). Hlukhiv: ILK NAAS, pp. 67-69.
6. Boyko G. A., Golovenko T. M. (2017) Vpliv tehnologij zbirannya na yakisni pokazniki lub'yanich kultur [The influence of harvesting technologies on the qualitative indicators of bast crops]. Proceedings of the *International research and practice conference. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences* (Poland, December 27-28, 2017). Poland, pp. 174-178.
7. DSTU GOST 3274.5:2009 (ISO 4913-81) (2009) Volokno bavovnyane. Metodi viznachennya dovzhini. [Cotton fiber. Methods for determining length]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 25 p.
8. João P. Manaia, Ana T. Manaia, Lúcia Rodrigues (2019) *Industrial Hemp Fibers* [Industrial Hemp Fibers] *An Overview*, vol. 7(12), no. 106, pp.111-113.
9. Pylypchuk V. O., Kovaleva N. O. (2015) *Tekhnologiya pryadinnya ta virobnictva pryazhi* [Technology of spinning and yarn production], Kyiv: UNTI, p. 320.
10. Gordiychuk A. I., Vlasenko V. M. (2015) *Konopli: vikoristannya ta obrobka* [Hemp: use and processing], Kyiv: Naukova Dumka, p. 180.
11. Smirnov V. A. (2008) *Tekhnologiya tekstilnogo virobnictva* [Technology of textile production]. *Textile industry*, pp. 45-120.