

УДК 677.07.017

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ, СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ
ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ**

А.М. СЛІЗКОВ

Київський національний університет технологій та дизайну

Методи оцінки структури волокнистих продуктів досить різноманітні і мають значний перелік показників, які характеризують різні особливості їх будови. Для упорядкованості показників структури волокнистих продуктів потрібно провести їх детальний аналіз, що в подальшому дозволить комплексно оцінювати їх структур, а також усунути вірогідність дублювання

Властивості пряжі та текстильних виробів значною мірою залежать від того, як були розташовані волокна щодо осі волокнистих продуктів, а також і від того, як ці волокна розпрямлені. У зв'язку з цим доцільно розрізнити дві основні групи показників: показники орієнтації, що характеризують розташування волокон у продукті, і показники розпрямленості, що характеризують форму волокон. Для реальних стрічкоподібних волокнистих продуктів показники розпрямленості та орієнтації залежні між собою і можуть бути виражені один через одного.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами дослідження є волокнисті продукти прядильного виробництва, показники структури та методи їх оцінювання.

Постановка завдання

Перші спроби кількісно оцінити такі структурні показники продуктів прядильного виробництва (прочосу, стрічок, рівниці, пряжі) як розпрямленість волокон, належать приблизно до тридцятих років минулого століття. Вчені-дослідники зазначали, що відхилення орієнтації волокна від прямолінійної і вигнутість волокон у волокнистих продуктах та наявність заломлених кінців (гачків) волокон призводять до погіршення структури та властивостей пряжі, а також виробів з неї.

Існує багато методів оцінки структури волокнистих продуктів (прочосу, стрічки, рівниці, пряжі). Кожен метод має певні показники структури, які відображають ті або інші підходи до оцінки структури волокнистого продукту. Без певної упорядкованості ці показники можуть бути дубльовані в розробці нових методів і не нести певного смислового навантаження. Тому для комплексного оцінювання структури та уникнення відповідних недоречностей потрібен їх аналіз.

Результати та їх обговорення

Методи визначення розпрямленості та орієнтації волокон у волокнистих продуктах залежно від особливостей дії на текстильний матеріал поділяються на прямі та непрямі [1, 2].

Прямі методи дослідження структури волокнистих продуктів полягають у безпосередньому контакті з досліджуванним матеріалом. Вони визначаються в лабораторних умовах. Так Зотіков В. Е ввів поняття коефіцієнта розпрямленості і визначив його величину η [1].

Згідно з цим визначенням коефіцієнт розпрямленості для волокон є відношенням відстані між кінцями волокна l' до повної його довжини l :

$$\eta = l' / l, \quad (1)$$

Моїсеєнко М.М. ввів інший показник – коефіцієнт протяжності v , який визначався таким співвідношенням:

$$v = l_y / l, \quad (2)$$

де l_y – відстань між найбільш віддаленими точками волокна.

Для всього зразка величини $\bar{\eta}$ і \bar{v} визначалися як середньозважені значення за всіма вимірюваними волокнами:

$$\bar{\eta} = \sum l'_i / \sum l_i \quad \text{та} \quad \bar{v} = \sum l_{yi} / \sum l_i, \quad (3)$$

де i – номер волокна.

До недоліків вищезазначених методів можна зарахувати те, що при витягуванні волокон не виключена можливість їх деформації, а отже, спотворення значень величин η і v . Крім того, при витягуванні втрачається інформація про розташування волокна в структурі зразка.

Метод заснований на підрахунку кількості волокон у перетині стрічки запропонував Журек В. [1]. У його роботі статистичними методами показано, що відношення протяжності $v(y)$ волокон у деякому напрямку y до протяжності $v(0)$ волокон у напрямку осі $y=0$ може бути виражено у такому вигляді:

$$v(y)/v(0) = n(y)/n(0), \quad (4)$$

де $n(0)$ – кількість волокон на одиниці ширини стрічки в перетині, перпендикулярному осі напівфабрикату; $n(y)$ – кількість волокон на одиниці ширини стрічки в перетині, нормаль до якої нахилена до осі стрічки під кутом y .

Яковлев В. В. обґрунтував теоретично і реалізував можливість практичної побудови гістограми кутового розподілу волокон [1]. За згрупованими даними будувалася гістограма кутового розподілу відрізків волокон у зразку, а за нею розраховувався середній кут орієнтації волокон.

Грудневський М. С. використовував аналогічний підхід для дослідження орієнтації волокон між валиками витяжного приладу, але в дещо іншому технічному виконанні. Гістограма кутового розподілу ділянок волокон виходила така сама, як і в роботі Яковлева. За гістограмою розраховувалося середнє значення кута орієнтації волокон:

$$\varphi = 1 - s / s_u, \quad (5)$$

де s – середньоквадратичне значення кута орієнтації в досліджуваному зразку; $s_u = \pi / (2\sqrt{3})$ – середньоквадратичне значення кута орієнтації за відсутності переважної орієнтації.

У непрямих методах про орієнтацію і розпрямленість волокон у волокнистих продуктах судять за зміною певної фізичної величини: маси, сили, інтенсивності світла тощо.

Згідно з механічним методом визначення розпрямленості волокон Жоховського В. В. за величиною подовження судять про ступінь розпрямленості волокон.

Навантаження P підбирається таким чином, щоб сила, яка діє на кожне волокно зразка (у припущенні, що воно повністю розпрямлене), була постійною:

$$PN_{\bar{y}} / N_B = K = const , \quad (6)$$

де $N_{\bar{y}}$ – номер (лінійна густина) досліджуваного продукту; N_B – номер (лінійна густина) волокна.

За цієї умови сила P , що діє на одне нерозпрямлене волокно, буде обернено пропорційна розпрямленості:

$$P = K / \eta , \quad (7)$$

Оскільки подовження пов'язане з величиною сили P , то величина розпрямленості визначатиметься подовженням зразка. У цьому разі сила P , а отже, і розпрямленість η будуть залежати від сил зчеплення між волокнами, які у свою чергу пов'язані зі ступенем ущільнення зразків. Така залежність може призвести до систематичних помилок, тим більше, що ступінь ущільнення об'єктивно не контролюється. Крім того, на величину P , а отже, й на значення η впливає пружність волокна, а вона залежить від вологості і температури.

Шляхтенко П. Г. і Труєвцев Н. Н. [3] запропонували механічний метод оцінки структури стрічок і прилад для визначення комплексного показника розпрямленості волокон - відносної роботи розриву. Після розриву зразка стрічки знімаються показання інтегратора і визначається лінійна густина і відносна робота її розриву A_0 :

$$A_0 = \frac{A}{T} , \quad (8)$$

де A – робота розривання, мДж; T – лінійна густина стрічки, ктекс.

Фоглер Г. аналізує механіко-ваговий метод визначення розпрямленості на приладі «Параллекс» [1]. Частини волокон, які вичесали з обох боків зразка, поміщали на спеціальні ваги, на шкалі яких можна було прочитувати величину відношення маси частини волокон, що залишилася під затискачем, до маси всього зразка. За величиною цього відношення і довжиною зразка розраховувався показник L_x , який за своїм фізичним змістом представляв середнє значення довжини проекції волокна на напрямок осі продукту. Вага частини вичесаних волокон, а отже, і значення L_x залежатимуть від розподілу волокон за довжиною.

У механіко-ваговому методі Ліндслей К. Х. [4] пропонує враховувати показник у формі відношення ваги порції CR , що вичесала і залишилася (*combed out ratio*). При цьому визначають масу частини волокон C (*combed out*). Частину волокон E (*extended*), що виступили при вичісуванні за межу планки, обрізають і також зважують.

Частину розпрямлених волокон N (*normal*) також обрізають і зважують:

$$CR = CI(N + E) , \quad (9)$$

З поліпшенням паралелізації і розпрямленості волокон величина показника CR зменшується. Величина параметра E визначається вмістом або зігнутих, скручених волокон, або прямих волокон, але нахилених під деяким кутом до осі зразка. До цього слід було б додати, що величина E визначається також кількістю гачків і петель, що є у волокнах. Характеристика, пов'язана з величиною E , вводиться у вигляді безрозмірного показника орієнтації OI (*orientation index*):

$$OI = I - E / N, \quad (10)$$

В ідеальному випадку повного паралелізування волокон величина E наближається до нуля, а OI – до одиниці. Зіставляючи показники OI і CR , необхідно зазначити, що фізичний сенс першого показника задовільний. Фізичну ж сторону зв'язку параметра CR з орієнтацією і розпрямленістю волокон простежувати досить важко. Одна з серйозних проблем цього методу пов'язана з вибором ширини знімної планки.

Крім того, Леонтьєва І. С. [5] запропонувала нові показники орієнтації і розпрямленості волокон – коефіцієнт відносного паралелізування K_{II} і коефіцієнт ρ , які визначалися такими співвідношеннями:

$$K_{II} = l - c / (N + E + C) \quad \text{та} \quad \rho = E / (N + E), \quad (11)$$

де C – частка вичесаних гребенем волокон; E – частка кінців волокон, що вийшли за лінію планок; N – частка розпрямлених волокон, що залишилися під середньою пластинкою; H – частка волокон, що залишилися під середньою пластиною.

Величина коефіцієнта ρ залежить від довжини нерозпрямлених частин волокон і від довжини гачків на кінцях волокон, а також від кута нахилу волокон до осі зразка, що впливає з наведеного вище аналізу величини E .

Будников В. І. [6] зазначив, що показники K_{II} і ρ пов'язані з показниками Ліндслея CR і OI : K_{II} виражається через CR , а ρ – через OI . Але показники, запропоновані Леонтьєвою І. С., мають більшу наочність.

Яковлев В. В. запропонував оптичний метод визначення паралелізації волокон [1, 7]. Властивість випромінювання розсіюватися і використовується для визначення характеристик орієнтації волокон у зразку. На цьому ж принципі ґрунтується створена Джеффісом Р. установка для дослідження блиску текстильних виробів [1, 8].

Експериментальна установка Яковлева В. В. та Цитовича І. А. включає джерело і приймач випромінювання [1]. При обертанні зразка інтенсивність світла, що реєструється приймачем, змінюється, приймаючи максимальне I_{MAX} і мінімальне I_{MIN} значення через кожні 90° повороту. Співвідношення між I_{MAX} і I_{MIN} залежить як від кута падіння променів на зразок, так і від кута спостереження, визначуваного напрямком променів від зразка до приймача випромінювання. Кути підбираються дослідним шляхом таким чином, щоб забезпечити максимальну величину відношення

I_{MAX} / I_{MIN} і максимальну чутливість. Мірою впорядкованості і розпрямленості волокон пропонується коефіцієнт паралельності волокон, який має такий вигляд:

$$K_1 = (I_{MAX} - I_{MIN}) / I_{MAX} \quad \text{та} \quad K_2 = (I_{MAX} - I_{MIN}) / I_{MIN} , \quad (12)$$

Теоретично можливий діапазон зміни першого коефіцієнта K_1 від 0 до 1. Для другого коефіцієнта K_2 цей діапазон ширший від 0 до ∞ . Проте визначення першого коефіцієнта представляється більш наочним з фізичної точки зору. Проведений Яковлевим В.В. аналіз показав, що величина коефіцієнта паралельності залежить від товщини досліджуваного волокнистого продукту (при її малій величині). Тому цей метод може бути рекомендований для достатньо товстих і щільних зразків, де ця залежність не проявляється.

Метод Яковлева в подальшому вдосконалив Уно М. На відміну від робіт Яковлева, в цьому випадку використовувалася дзеркальна складова розсіяного випромінювання, яка виділялася шляхом поляризації падаючого потоку випромінювання і пропускання розсіяного випромінювання через аналізатор. Використання поляризованого світла дало можливість підвищити чутливість оптичного методу.

Уно М. [1] запропонував застосовувати показник орієнтації волокон DO (*degree of fibers orientation*), який визначається за виразом:

$$DO = M_1 / (M_1 + M_2) , \quad (13)$$

де M_1 і M_2 – інтенсивність дзеркальних компонент випромінювання, розсіяних у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Уно М. розглядав вплив на величину DO виду волокон. Для синтетичних волокон цей вплив був незначний. Істотніший він для скловолкна. До того ж цей метод дозволяє визначати розпрямленість та орієнтацію волокон тільки поверхневих шарів зразка і не може визначати внутрішню структуру волокнистих продуктів.

Корнюхін І. П. та Корнюхіна Т. А. запропонували оптичний метод дослідження структури волокнистих матеріалів [1]. За критерій оцінки розпрямленості та ступеня орієнтації волокон приймалася анізотропія розсіювання світла η , яка визначалася таким виразом:

$$\eta = 1 - \zeta = 1 - (U_{\min} / U_{\max}) , \quad (14)$$

де $\zeta = U_{\min} / U_{\max}$ – ступінь ізотропності розсіювання світлового потоку; U_{\min} – мала піввісь еліпса розсіювання; U_{\max} – величина великої півосі розсіювання.

Дж. Очард Г. А. запропонував інший оптичний метод, що також використовує явище розсіювання світла [1].

Макмагон У. запропонував поляризаційний метод дослідження ступеня орієнтації волокон [1]. В основу методу покладено зв'язок між інтенсивністю пропущеного світла і розміщенням волокна:

$$I = I_{MAX} \sin^2 2\gamma, \quad (15)$$

де γ – кут між напрямом волокна і площиною коливань плоскополяризованого світла, що пройшло через поляризатор; I_{MAX} – максимальне значення інтенсивності світла, що пройшло через систему при $\gamma = \pi/4$.

Коли між поляризатором і аналізатором розміщується волокнистий зразок, що складається з великої кількості волокон, кутовий розподіл інтенсивності Макмагон пропонує апроксимувати наступною формулою:

$$I(\gamma) = A + B \sin^2 2\gamma, \quad (16)$$

Параметри A і B визначаються за виглядом експериментальної кривої $I(\gamma)$. Через ці параметри Макмагон виражає коефіцієнт орієнтації волокон такою формулою:

$$F = (A + B) / A, \quad (17)$$

Описаний метод представляється недостатньо коректним фізично. Розглядаючи рівняння (15), неважко зазначити, що функція I має період, рівний $\pi/2$. Так, волокно, орієнтоване під кутом γ і перпендикулярне до нього волокно, орієнтоване, наприклад під кутом $\gamma + \pi/2$, може дати однакові значення інтенсивності.

Інший спосіб оцінки ступеня розпрямленості волокон у волокнистих продуктах запропоновано Стрельцовим Б. М. [1]. Він полягає у визначенні істинної рухливості барвника при прямолінійному русі його в капілярі. За час спостереження t смуга барвника переміщується на деяку видиму відстань d . Визначення ступеня розпрямленості волокон r у волокнистих продуктах зводиться до визначення довжини переміщення лінійної мітки за визначений час при відомому градієнті потенціалу при $U = E/I$ за такою формулою:

$$r = \sqrt{K/K^1}, \quad (18)$$

де K – видима рухливість барвника у зразку; K^1 – істинна рухливість барвника у вільному розчині.

Істинне положення мітки визначається по координаті x , що відповідає мінімальному значенню коефіцієнта відображення. Видима рухливість барвника K розраховується за такою формулою:

$$K = \frac{d}{U \cdot t}, \quad (19)$$

де $\frac{d}{t}$ – швидкість переміщення мітки фарбника; U – градієнт потенціалу.

Таким чином, визначення розпрямленості r волокон у продуктах прядіння зводиться до виміру опору R і обсягу буфера V у капілярах зразка довжиною l при визначеній електропровідності електроліту x :

$$r = \frac{l^2}{\sqrt{R \cdot x \cdot V}}, \quad (20)$$

де R – електричний опір зразка, Ом; x – електропровідність буферного розчину, Ом⁻¹ м⁻¹; V – об'єм буферного розчину у капілярах зразка, м³.

Розглянутий капілярний метод досить трудомісткий і має невисокий ступінь точності виміру точки положення барвника в капілярах досліджуваного волокнистого зразка.

Для визначення ступеня розпрямленості та характеру орієнтації волокон які рухаються в повітряному потоці при виготовленні пряжі безверетеними способами прядіння, застосовують метод швидкісного кіно- та імпульсного фотознімання [1, 9]. За двома проекціями знаходять координати кінців волокон x_1, y_1, z_1 та x_2, y_2, z_2 і розраховують відстань між кінцями волокон за відомим співвідношенням:

$$l' = \left[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 \right]^{1/2}, \quad (21)$$

У подальшому визначають коефіцієнт розпрямленості волокон за формулою (1). Розглянутий метод також досить трудомісткий і вимагає спеціальної підготовки для роботи кіно- або фотокамер.

Також запропоновано електрохвильовий метод оцінки структури волокнистого продукту [10, 11]. Принцип його дії базується на зміні резонансної частоти електромагнітної хвилі при її проходженні крізь текстильний матеріал. Відносна зміна резонансної частоти і добротність резонатора залежать від діелектричних параметрів контрольованого середовища наступним чином:

$$\frac{f_0 - f}{f_0} = \frac{K_1}{2} \cdot (\varepsilon - 1) \quad \text{або} \quad \frac{Q_0 - Q}{Q_0} \cdot \frac{1}{Q} = K_2 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (22)$$

де f_0 та Q_0 – резонансна частота і добротність «пустого» резонатора; f та Q – відповідні параметри резонатора, що перебуває в контакті з контрольованим середовищем; K_1 і K_2 – коефіцієнти, які залежать від форми резонатора і типу коливань у ньому; ε – дійсна частина діелектричної проникності; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс кута діелектричних втрат контрольованого середовища

При цьому визначають комплексні показники розпрямленості та орієнтації волокон, які мають більш універсальне визначення для структури волокнистого продукту:

$$\eta_f = 1 - \frac{\Delta f_1 / f_{01}}{\Delta f_2 / f_{02}} \approx \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2}; \quad \text{або} \quad \eta_Q = 1 - \frac{\Delta Q_1 / Q_{01} \cdot Q_1}{\Delta Q_2 / Q_{02} \cdot Q_2} \quad (23)$$

Виходячи з вищезазначеної інформації про методи дослідження структури волокнистих продуктів, показники, які визначають їх структуру, можна розподілити за такими трьома групами: орієнтації, розпрямленості та комплексні.

Показники орієнтації волокон розподіляються на дві підгрупи: показники-розподілу та інтегральні показники. Показники-розподілу були використані Троттом, Яковлевим та Грудневським. Отримані за цими показниками значення розподілу досліджуваної величини дають частоту та вірогідність, з якою спостерігається орієнтація ділянок волокон у певному інтервалі кутів.

Інтегральні показники включають середній кут орієнтації $\langle \beta \rangle$ волокон і середній косинус кута орієнтації $\overline{\cos \beta}$. Кут β і косинус кута орієнтації $\cos \beta$ визначаються за нахилом до осі зразка прямої, яка сполучає кінці волокон. Корнюхіним І. П. [1] наводяться два способи усереднювання, на основі яких розраховувався вищезазначений показник для всього зразка:

$$\bar{x} = \sum x_i / n \quad \text{та} \quad \bar{x} = \sum x_i l_i / \sum l_i, \quad (24)$$

де \bar{x} – усереднений показник при усереднюванні $|\beta|$ або $\cos \beta$; i – номер волокна; n – загальна кількість волокон; l_i – довжина волокна.

Спосіб визначення показників орієнтації за кутом нахилу волокон до осі продукту прямої, що сполучає кінці волокон, має істотний недолік. Він враховує положення лише кінців волокон, а решта частини волокна випадає з розгляду. Так, залишаючи незмінним положення кінців волокна, отримаємо однакові середні значення $|\beta|$ і $\cos \beta$ незалежно від того, як орієнтована решта частини волокна. Під цим кутом зору більш представницьких значень середніх показників орієнтації можна набути, враховуючи орієнтацію достатньо малих ділянок, на які розбиваються волокна. Тоді, використовуючи гістограму кутового розподілу, отримаємо:

$$\bar{x} = \sum x_i z_i, \quad (25)$$

де z_i – знайдена по гістограмі кутового розподілу частота для i -го інтервалу; x_i – значення $|\beta_i|$ або $\cos \beta_i$ в i -му інтервалі.

До інтегральних показників орієнтації можна також зарахувати середньоквадратичне s_β значення кута орієнтації:

$$s_\beta = [\sum \beta_i^2 z_i]^2. \quad (26)$$

Показники розпрямленості волокон також можна розділити на дві підгрупи: показники-визначення та інтегральні. До першої підгрупи належать розподіл волокон за протяжністю і більш інформативний двовимірний розподіл за розпрямленістю і довжиною волокон. Сюди ж можна зарахувати розподіл волокон за формою з визначенням частоти, з якою зустрічається кожна з форм.

Серед інтегральних показників розпрямленості слід, в першу чергу, згадати визначені раніше коефіцієнт розпрямленості η , коефіцієнт протяжності ν , а також частку довжин заломлених кінців волокон (частку гачків) ε , що визначається для одного волокна співвідношенням

$$\varepsilon = l_K / l, \quad (27)$$

де l_K – довжина гачка, відлічена від його вершини до найближчого кінця волокна; l – довжина волокна.

Ці показники рекомендується усереднювати згідно з другим способом усереднювання за формулою (3), використовуючи довжину волокна як вагомий множник.

До інтегральних показників розпрямленості можна віднести показники: коефіцієнти гачкуватості і сукупної гачкуватості; коефіцієнти зігнутості гачків і середньої частини волокна; показник, що характеризує розпрямленість окремих ділянок волокон CF ; показники MSD і I_x , що є розмірними аналогами коефіцієнта розпрямленості; показник MPD , що характеризує максимальний прогин волокна; частка гачків p ; ступінь паралелізації, що є коефіцієнтом протяжності уздовж осі продукту; подовження стрічки при розтягуванні.

До групи комплексних показників розпрямленості і орієнтації можна включити такі: коефіцієнт відносної паралелізації K_{ff} ; показник CR ; коефіцієнт паралельності K ; ступінь орієнтації DO ; розпрямленості та орієнтації η_{po} ; максимальна сила при розчісуванні стрічки P . Перші два показники K_{ff} та CR віднесено до цієї групи, оскільки їх значення залежать від кількості вичесаних волокон. Разом з тим ця кількість волокон у свою чергу залежить як від орієнтації, так і від розпрямленості волокон. Відношення другого, третього і четвертого показників, відповідно K , DO та η_{po} до цієї групи пов'язано з тим, що їх значення визначаються орієнтацією малих ділянок волокон. Величина як коефіцієнта паралельності, так і показника орієнтації для деякого волокна залежатиме від розташування окремих ділянок цього волокна. Показник P можна віднести до цієї групи з огляду на те, що сила опору руху гребеня залежить від кількості волокон, які контактують з гребенем, або від кількості волокон, що трапляються на шляху руху гребеня. Показники η_f та η_Q є комплексними і універсальними так як залежать як від розпрямленості, так і від розташування волокон.

Висновки

1. Проаналізовані методи та показники визначення розташування волокон у волокнистих продуктах та визначені їх особливості та недоліки.

2. Більш універсальними є комплексні показники розпрямленості та орієнтації волокон у непрямих методах. Запропонований електрохвильовий метод їх визначення є експресним і неруйнівним, а показник розпрямленості та орієнтації волокон, визначений за цим методом, є комплексним і досить точно визначає стан структури волокнистого продукту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корнюхин И. П. Методы рассеивания света в исследованиях волокнистых структур / И. П. Корнюхин, Т.А. Корнюхина – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006. – 208 с.
2. Капитанов А. Ф. Фрикционные процессы в прядении. Прядение и трибология : в 2 ч. / А. Ф. Капитанов – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2005. – Ч.1.– 2005. – 294 с.
3. Шляхтенко П. Г. Оптический метод измерения коэффициента распрямленности волокон в волокнистых лентах / П. Г. Шляхтенко, Н. Н. Труевцев, Ю. Н. Ветрова // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986 – №8. – С.9–10.
4. Lindsley C. H. Measurement of fiber orientation / C. H. Lindsley // Textile Research Journal. – 1951. – V. 21, N 1. – P.279–282.

5. Леонтьева И. С. К вопросу о распрямленности волокон в процессе подготовки полуфабриката / И. С. Леонтьева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1964. – № 2. – С. 58–65.
6. Будников В. И. Взаимосвязь показателей продольной ориентации волокон по Линдслею и Леонтьевой / В. И. Будников // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1966. – № 4. – С.14–15.
7. Яковлев В. В. Исследование оптического метода определения степени параллелизации волокон / В. В. Яковлев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1967. – № 1. – С.56–63.
8. Jeffries R. Measurement of extent of delustering of filament fabrics / R. Jeffries // Journal Textile Institute. – 1956. – V. 47, N 6. – P.319–324.
9. Гурусов В. М. Расположение волокон в ленте / В. М. Гурусов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1963. – № 1. – С. 67-72.
10. Слізков А. М. Теоретичні основи побудови фізичної моделі електромагнітного резонатора для оцінки структури стрічкоподібних волокнистих продуктів / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, А. О. Потапенко // Вісник КНУТД. – 2008. – № 2. – С. 24–29.
11. Слізков А. М. Наукові основи прогнозування властивостей текстильних матеріалів побутового призначення : автореферат дис... на здобуття вченого ступеня доктора техн. наук.: спец. 05.02.01 / Слізков Андрій миколайовия. – К.: 2010. – 45 с.