

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ СТРУКТУРИ ВОЛОКНИСТИХ ПРОДУКТІВ

Проаналізовані існуючі методи та засоби дослідження структурних показників, визначені їх особливості та недоліки. Запропонований експресний резонансний метод оцінки структури волокнистих продуктів.

Ключові слова: розпрямленість волокон, орієнтація волокон, резонансний метод.

Known methods and facilities of research of structural indexes are analysed, features and failings of those methods are certified. The express resonance method of estimation of structure of fibred products is offered.

Keywords: straightforwardness fibers. orientation of the fibers, the resonance method.

Економічна ситуація в текстильній промисловості і надзвичайно гостра конкуренція змушують виробників текстильної продукції використовувати всі можливості зменшення витрат виробництва. В цьому контексті особливо важливу роль займає висока продуктивність на кожному етапі прядіння та контроль за доцільним використанням сировини, які вимагають детальних та точних розрахунків, а також уточнення кількості технологічних переходів. Багато з цих розрахунків враховують коефіцієнти розпрямленості та орієнтації волокон, проте їх визначення є досить складною та трудомісткою задачею.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями:

На сьогодні в прядильному виробництві немає достатньо простого і точного методу визначення коефіцієнту розпрямленості і орієнтації волокон у волокнистих продуктах, що ускладнює технологічні розрахунки. Тому є необхідність в розробці нових достатньо точних і експресних методів визначення цих показників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор:

Питанню вивчення розміщення волокон в волокнистих продуктах прядильного виробництва, оцінки їх форм, ступеня упорядкованості волокон займалось багато вчених [1-25], які довели значимість впливу цих структурних показників і необхідність розробки швидкого та точного методу їх визначення. Для характеристики розміщення волокон в структурі волокнистих продуктів були введені різні величини: розпрямленість, кут орієнтації, коефіцієнт орієнтації, коефіцієнт відносної паралелізації, коефіцієнт протяжності, наявність зігнутих кінчиків. Проте ці величини неідентичні хоча і корелюють між собою, тому при проведенні розрахунків важко визначити, який показник є більш доцільним.

Формулювання цілей статті (постановка задачі):

Метою даної роботи є: визначити найбільш простий, точний, експресний метод оцінки структури волокнистих продуктів на основі аналізу існуючих методів.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових даних:

Згідно класифікації методів визначення показників структури волокнистих продуктів [2] всі методи дослідження, залежно від особливостей дії на текстильний матеріал, поділяються на прямі та опосередковані.

Прямі методи дослідження полягають у безпосередньому вимірюванні розмірів та положення волокон щодо осі волокнистого продукту. До прямих методів дослідження відносяться метод промірювання волокон після витягування з зразка, проєкційні методи, методи мічених волокон (пофарбованих волокон, радіографії, люмінесцентний).

В роботі [3] найперше введено поняття коефіцієнтів орієнтації і розпрямленості волокон та визначено їх величини:

- ступінь орієнтації волокон у продукті, що характеризується коефіцієнтом орієнтації волокон,

v :

$$v = \cos \gamma \quad (1),$$

де $\cos \gamma$, косинус кута (рис. 1), що утворюється подовжньою віссю ox волокнистого продукту і лінією АВ, що сполучає найбільш віддалені точки волокна.

- ступінь розпрямленості волокон, що характеризується коефіцієнтом розпрямленості:

$$\eta = \frac{l_r}{l} \quad (2),$$

де l_r – протяжність волокон в продукті, відстань між найбільш віддаленими точками волокна; l – довжина волокна в розпрямленому вигляді.

Згідно цього методу волокна, що вилучені із відібраного волокнистого продукту зразка (прочісу, стрічки, рівниці) укладаються у вільному стані на чорну оксамитову дощечку, після чого вимірюється відстань між їх кінцями. Потім ці волокна розпрямлюються злегка зволоженими пальцями і за допомогою

лінійки вимірюється їх дійсна довжина. Значення розпрямленості і орієнтації волокон всього зразка визначаються як середньозважені значення всіх досліджуваних волокон.

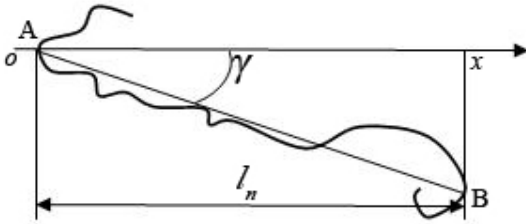


Рис. 1. Визначення коефіцієнта розпрямленості і орієнтації волокон: ox -подовжня вісь волокнистого продукту; AB – лінія, що сполучає найбільш віддалені точки волокна; l_n – протяжність волокон в продукті

Основний недолік цього методу полягає у тому, що він не визначає фактичної розпрямленості волокон, які знаходяться у зразку, так як розпрямленість визначається тільки після того як волокна вилучені із зразка і дія сил тертя і щеплення зі сторони сусідніх волокон усунена. Також не виключена можливість деформації волокон при їх витягуванні із зразка, що знижує точність визначення показників розпрямленості і орієнтації волокна.

Удосконалення і раціоналізація цього методу представлена у роботі [4], де запропоновано виготовити спеціальний штамп з набором паралельних смуг шириною 4 мм, кожна з яких забарвлювалася в свій колір. Фарба

набивалася на зразку спеціальним штампом, який прикладався до зразка так, щоб подовжня вісь продукту була перпендикулярна до смужок. Застосування такого штамп дозволило з більшою точністю відтворювати розміщення волокон після їх витягування із зразка. Недоліком цього методу є те, що фарбування зразку представляє суттєві труднощі. Чітких меж між ділянками різного кольору не досягається, що також ускладнює визначення розпрямленості волокон.

Спроби усунути вищезазначені недоліки представлені у роботах [5-7], де запропоновано так званий метод «проекційного ліхтаря». На екрані проекційної апаратури отримують зображення зразка і фіксують форму та розміщення волокон в ньому, а також розраховують значення структурних показників за вищенаведеними формулами (1, 2). Цей метод дозволяє більш точно, визначити розпрямленість і орієнтацію волокон, однак він придатний тільки для дослідження зразка незначної товщини. Зафіксувати всю довжину волокон не завжди вдається, і судити про ступінь розпрямленості доводиться лише по видимій частині волокна в зразку

До прямих методів дослідження відноситься також група методів «мічених» волокон. Сутність цих методів полягає у наступному: попередньо пофарбована або оброблена спеціальним розчином група волокон підмішується в суміш досліджуваної волокнистої маси та переробляється на технологічному устаткуванні. Оброблені волокна виділяються у зразку окремо від загальної маси досліджуваного зразка і їх конфігурація дозволяє судити про їх розпрямленість, протяжність і орієнтацію.

Наприклад, у роботі [8] використаний метод «мічених» волокон, при якому забарвлені в чорний колір волокна вводилися в зразок-стрічку, який занурювався в імерсійну рідину з показником заломлення, близьким до показника заломлення нефарбованого волокна. Потім зразок розглядався під мікроскопом, з'єднаним з пантографом, який викреслював на папері збільшене зображення волокон. За цим методом визначався ступінь паралелізації волокон в зразку:

$$\eta_r = \frac{l_{n\delta}}{l_a}, \quad (3)$$

де $l_{n\delta}$ – протяжність волокна в структурі продукту спроекована на вісь зразка; l_a – довжина волокна в розпрямленому стані.

Цей метод не усуває недоліків вищеписаних методів, адже при зануренні зразка в імерсійну рідину не виключена можливість деформування самого зразка та зміщення розташування волокна в ньому, що спотворює значення досліджуваних показників.

Ще одним методом «мічених» волокон є люмінесцентний (флюорисцентний) метод [9], за яким волокна виварюють в оптичному відбілювачі або витравному барвнику, віджимають і висушують. Отримані таким чином «мічені» волокна вводять у настил – 0,5 % від його маси. Оброблені волокна мають білий колір і їх важко відрізнити на поверхні зразка настилу, тому їх вводять у зразок за допомогою спеціального шаблону. Зразок, який містить мічені волокна переробляється на технологічному устаткуванні. Отриманий зразок – настилу розміщується на спеціальних скельцях і фотографується в ультрафіолетових променях. Для зручності фотографування був розроблений і сконструйований спеціальний пристрій, який дозволив із всієї маси волокон зразка прочосу фотографувати лише мічені волокна.

Недоліком цього методу є те, що ультрафіолетові промені не дають можливості проглядати окремі волокна в зразках наскрізь і «мічене» волокно видно не за всією довжиною, а лише на його поверхні продукту.

Метод «мічених» волокон згодом розвинувся в роботах [10, 11, 12, 13], він заснований на застосуванні радіоактивних ізотопів і отримав назву методу радіографії. Цей метод ґрунтується на отриманні фотографічних знімків у результаті дії на фотопластину випромінювань радіоактивних елементів.

Перевагою методу радіографії є те, що радіографи волокон точно відображають їх форму і розміщення у зразку не тільки на поверхні, а й у його середині. Основним недоліком практичного використання методів радіографії є застосування радіоактивних ізотопів, що характеризуються високою небезпечністю. Це призводить до необхідності розробки заходів техніки безпеки, як в процесі мічення волокон, так і в процесі переробки на технологічному устаткуванні.

Аналізуючи розглянуті прямі методи дослідження структурних характеристик волокнистих продуктів можна сказати, що основна частина з них надає детальну інформацію про форму та розташування окремих волокон.

Найбільш точними з існуючих прямих методів є методи визначення розпрямленості волокон для деякої групи попередньо оброблених волокон – методи «мічених» волокон [1].

До недоліків прямих методів дослідження слід віднести значні затрати часу, адже для визначення структурних показників зразка волокнистого продукту необхідно отримати характеристики великої кількості окремих волокон. Деякі прямі методи потребують попередньої обробки і доведення оброблених волокон до відповідного продукту прядильного виробництва, в якому потрібно визначити їх розпрямленість. Ряд методів радіографії [10-13] є небезпечними для здоров'я людини і потребують розробки спеціальних заходів техніки безпеки, наявності спеціальних приміщень, що вимагає значних капіталовкладень.

В опосередкованих методах визначення орієнтації і розпрямленості волокон в структурі зразків волокнистих продуктів здійснюють на підставі залежності структури волокнистого продукту і деякої фізичної величини. Залежно від того, зміна якої фізичної величини фіксується, опосередковані методи дослідження поділяються на чотири групи: механіко-вагові, механічні, оптичні, капілярні.

Найбільш поширеним з опосередкованих методів є механіко-ваговий метод визначення розпрямленості і орієнтації волокон в прядильному виробництві – метод розчісування волокон зразка у спеціальному затиску [14]. Метод полягає в оцінці повздовжньої орієнтації волокон шляхом попереднього обрізання кінчика зразка досліджуваного волокнистого продукту у місці його затиску, вивільнення визначеної його довжини, вичісування і зважування із нього незатиснутих частин волокон, відрізання і зважування розпрямлених кінчиків волокон, що вийшли за лінію початкового затиску за рахунок розпрямлення при прочісуванні і, нарешті, відрізання і зважування кінчиків волокон, що залишились на ділянці, вивільненої від затиску.

В роботах [15, 16] удосконалено і раціоналізовано зазначений механіко – ваговий метод шляхом внесення деяких змін в методику визначення орієнтації волокон та рекомендовано для практичного застосування пристрій, що відрізняється конструкцією затискачів (рис. 2). Зміна пристрою полягає в наявності двох знімних пластинок, що дозволяє здійснювати двосторонній відбір зразків у прямому і зворотному напрямку.

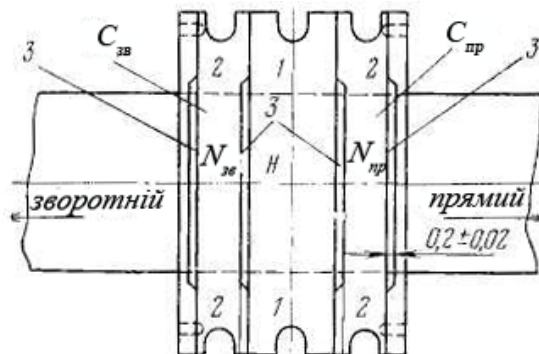


Рис. 2. Схема розміщення верхніх пластинок затискового пристрою і частини зразка, затиснених цими пластинами
1 – середня пластинка; 2 – з'єднані пластинки; 3 – прорізи.

За цим методом визначались такі показники структури зразків волокнистих продуктів, як: частка загнутих кінчиків ρ і коефіцієнт відносної паралелізації $K_{оп}$.

$$\rho_{np} = \frac{E_{np}}{E_{np} + N_{np}}; \quad \rho_{зв} = \frac{E_{зв}}{E_{зв} + N_{зв}} \quad (4)$$

$$K_{он_{np}} = \frac{C_{np}}{C_{np} + N_{np} + E_{np}}, \quad K_{он_{звор}} = \frac{C_{звор}}{C_{звор} + N_{звор} + E_{звор}} \quad (5)$$

де C_{np} і $C_{зв}$ – частка волокон, вичесаних після вивільнення із затискача частини довжини напівфабрикату; E_{np} і $E_{зв}$ – частка кінців волокон, що вийшли за лінію, по яку спочатку відрізували зразок в результаті розпрямлення чи розчісування; N_{np} і $N_{зв}$ – частка розпрямлених волокон, що залишились під середньою пластинкою 1;

У роботі [17] розглянуто механічний метод, в якому ступінь розпрямленості волокон визначається на основі подовження досліджуваного зразка стрічки при навантаженні. До кожного з двох кінців зразка стрічки, що вийшла з витяжного пристрою, закріплювали затискач з таким розрахунком, щоб більшість волокон, які склали зразок, була одночасно затиснена в обох затискачах. Потім до одного із затискачів (рухомого) прикладали силу P , затискачі розсували, а зразок отримував деяке подовження. Для оцінки розпрямленості волокон користувались емпіричною формулою залежності між подовженням довжини зразка під навантаженням і показником розпрямленості, що була знайдена експериментальним шляхом:

$$\eta = 90,55 - 0,16a + 0,00016a^2 \quad (6)$$

α – показник подовження зразка стрічки, мм²

Запропонований метод достатньо простий, швидкий, має велику чутливість навіть при великих подовженнях та дозволяє визначати розпрямленість волокон без їх витягування із зразка. Проте цей метод не достатньо точний, що в свою чергу призводить до необхідності збільшення кількості вимірювань для отримання достовірного результату.

В оптичних методах [1, 18, 19], показники паралелізації, розпрямленості і орієнтації волокон визначали залежно від дзеркальної складової розсіяного випромінювання, поляризації падаючого потоку випромінювання, рівнобіжного пучка світлових променів, інтенсивності пропущеного світла тощо.

Цікавим є оптичний метод [20-22] визначення ступеня паралелізації волокон у волокнистих зразках, заснований на несиметричному розподіленні у просторі світла, розсіяного орієнтованими волокнами. На цьому принципі сконструйований спеціальний пристрій [20] за допомогою якого визначення коефіцієнта паралелізації волокон практично зводиться до вимірювання інтенсивності розсіяного світла при вказаних кутах падіння і його розсіювання при двох положеннях зразка. Ступінь паралелізації волокон K визначався за формулою:

$$K = \frac{I_1 - I_2}{I_2} \quad (7)$$

де I_1 – кількість енергії світла, розсіяних світлових потоків при положенні зразка коли вісь орієнтації волокон перпендикулярна площині падіння світла; I_2 – кількість енергії світла, розсіяних світлових потоків при положенні зразка коли вісь орієнтації волокон паралельна площині падіння світла. Коефіцієнт паралелізації K дорівнює нулю, при повністю хаотичному розміщенню волокон і зростає при поступовій їх паралелізації.

Інший оптичний метод [23] також використовує явище розсіювання світла для визначення орієнтації волокон в зразку. В цьому методі використовується явище розсіювання світла під кутом до напрямку падаючого випромінювання. При нормальному падінні світла на волокно промені розсіюються в площині, що перпендикулярна осі волокна. Оптична система реєструє розсіяні промені, які складають визначений кут з напрямком падаючого випромінювання (в даній роботі – 30°). Чим більша кількість волокон у зразку буде перпендикулярна падаючому променю при даному куті падіння, тим більшу інтенсивність випромінювання зареєструє приймач.

Зазначені оптичні методи достатньо прості, мають невелику трудомісткість, однак залежність величин показників, які характеризують орієнтацію волокон, залежить від стану поверхні волокон зразка, що ускладнює інтерпретацію результатів або вимагає проведення досить трудомісткого градування для кожного виду волокон. Враховуючи залежність показників від товщини зразка, оптичні методи рекомендується для достатньо товстих [20] або ж навпаки достатньо тонких зразків [19], що обмежує можливості їх використання. До того ці методи дозволяють визначати паралелізацію, розпрямленість та орієнтацію волокон тільки поверхневих шарів зразка і не можуть визначати його внутрішню структуру.

В капілярних методах дослідження ступеня розпрямленості волокон у волокнистих продуктах полягає у визначенні істинної рухливості барвника при прямолінійному русі його в капілярі [1]. На зразок волокнистого продукту наносять мітки барвника (чорнило, туш, бензин) та одночасно приєднують два електроди, які перебувають під постійною напругою джерела постійного струму, що фіксується вольтметром. За час спостереження смуга барвника переміщується у зразку на деяку видиму відстань. Визначення ступеня розпрямленості волокон у зразках зводиться до визначення довжини переміщення мітки за визначений час.

Існує також інший варіант капілярних методів, де використовується рух розчину в капілярах зразка волокнистого продукту для визначення розпрямленості волокон [1]. Цей спосіб полягає у наступному: випробований зразок визначеної довжини зважують і визначають масу сухого зразка. Потім змочують буферним розчином, видаляють зайву вологу і визначають масу вологого зразка. Об'єм буфера V , що знаходиться в капілярах зразка, визначають за різницею мас сухого і вологого зразка. Вологий зразок закріплюють на діелектричній пластині в горизонтальному положенні. Одночасно до зразка приєднують два електроди, пропускають електричний струм і вимірюють опір R зразка. Ступінь розпрямленості r волокон оцінюють за виміром об'єму буферного розчину в капілярах зразка і його електричного опору.

$$r = \frac{l^2}{\sqrt{R \cdot x \cdot V}} \quad (8)$$

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

Розглянуті капілярні методи дуже трудомісткі і мають невисокий ступінь точності виміру точки положення барвника в капілярах досліджуваного волокнистого зразка, що спотворює значення досліджуваних показників.

Основною перевагою опосередкованих методів дослідження структури зразків волокнистих продуктів є значне зниження трудомісткості, у порівнянні з прямими методами. Проте недоліком цих методів дослідження є те, що вони не надають повної інформації про розташування та форму волокон у

структурі зразку. Ці методи призначені для отримання порівняльних, відносних характеристик структури волокнистих продуктів, які залежать не лише від розпрямленості та орієнтації волокон, а й від ряду побічних чинників. Наприклад, визначення коефіцієнта паралелізації волокон згідно з оптичним методом [19] залежить від товщини, форми поверхні зразка, кольору, блиску, звивистості волокон в ньому. Це значно обмежує область використання опосередкованих методів та вимагає детального їх доопрацювання. До того ж, більшість опосередкованих методів дослідження не можуть бути використанні в умовах виробництва і лише [19, 21] не виключають можливість такого використання.

Виходячи із проведеного аналізу прямих і опосередкованих методів визначення структурних особливостей розташування волокон в волокнистих продуктах прядильного виробництва, можна зробити висновок, що вони не знайшли широкого застосування через велику трудомісткість, складність використання та недостатньо точне визначення даних.

Вищенаведений аналіз прямих і опосередкованих методів оцінки структури волокнистих продуктів показав, що не існує єдиних уніфікованих показників їх структури. Для характеристики розміщення волокон в різних роботах були введені різні величини: коефіцієнт розпрямленості, кут орієнтації, коефіцієнт орієнтації, коефіцієнт відносної паралелізації, коефіцієнт протяжності, наявність зігнутих кінчиків тощо. Часто в роботах використовуються показники, які близькі за сутністю проте відрізняються за назвою. Наприклад, в деяких літературних джерелах [20-22] часто зустрічається термін «паралелізація», з близьким фізичним змістом терміну «орієнтація». Поняття «паралелізація» характеризує певний ступінь впорядкованості волокон один відносно одного, тоді як «орієнтація» характеризується мірою впорядкованості волокон щодо осі волокнистого продукту. У волокнистому продукті в якому волокна розташовані хаотично, проте вже спостерігається переважна орієнтація волокон у напрямку осі продукту визначати паралелізацію не має сенсу, хоча визначення показника орієнтації є доцільним. Термін «паралелізація» є вужчим ніж термін «орієнтація» і тому доцільніше застосовувати термін «орієнтація».

Також в літературі зустрічається термін «протяжність», що має подібну сутність з терміном «розпрямленість». Обидва показники характеризують форму і стан волокна у волокнистому продукті, наявність заломлених кінчиків або звивистості. Тому можна сказати, що термін «протяжність» є лише аналогом терміну «розпрямленості».

Найбільш доцільним є визначення комплексних показників оцінки структури волокнистих продуктів, які характеризують одночасно і ступінь впорядкованості волокон відносно осі волокнистого продукту так і їх форму.

Враховуючи аналіз наведених вище методів нами запропоновано новий опосередкований експресний резонансний метод, що відноситься до групи електрохвильових методів та пристрій для визначення комплексного коефіцієнта розпрямленості та орієнтації волокон у волокнистих продуктах [24-26]. Згідно цього методу визначення структури волокнистого продукту може здійснюватись на основі оцінки зміни резонансної частоти електромагнітної хвилі та добротності резонатора при її проходженні крізь зразок волокнистого продукту вздовж та перпендикулярно його осі. Волокнистий зразок закріплюють на рамці з попереднім навантаженням для його часткової орієнтації. Рамку з зразком розміщують між двома резонаторами, в яких збуджуються надвисокочастотні коливання. Один з цих резонаторів є опорним, об'єм другого контактує з зразком. Величина зміни резонансної частоти або добротності резонатора, який контактує з зразком визначається шляхом порівняння з резонансною частотою та добротністю опорного резонатора. Діелектричні параметри зразка є не однаковими в різних напрямках і залежать від розміщення волокон в ньому, тому волокнистий зразок розміщують спочатку вздовж резонатора, що контактує з ним а потім під кутом 90°. Комплексний показник розпрямленості і орієнтації волокон у зразку визначають за формулами:

$$\eta_f = 1 - \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} \quad (9)$$

$$\eta_Q = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} \quad (10)$$

де f_1 та Q_1 – резонансна частота і добротність резонатора під час контакту з волокнистим зразком вздовж його осі; f_2 та Q_2 – відповідні параметри резонатора, що перебуває в контакті з волокнистим зразком перпендикулярно його осі.

Висновки:

1. Прямі методи визначення показників структури волокнистих продуктів є найбільш трудомісткими і тому не можуть бути використані для експресного оцінювання їх структури в умовах виробництва.

2. Опосередковані методи визначення показників структури волокнистих продуктів є недостатньо точні та залежать від багатьох різних побічних факторів, що обмежує область їхнього використання в умовах виробництва.

3. Запропоновано експресний резонансний метод оцінки структури волокнистих продуктів, який базується на оцінці зміни частоти електромагнітної хвилі при її проходженні крізь волокнистий продукт.

4. Для характеристики структури волокнистих продуктів доцільно застосовувати комплексний

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. Кострицкий В.В. Класифікація методів оцінки структурних показників волокнистих продуктів / В.В. Кострицкий, А.М. Слізков // Вісник КНУТД. – 2010. – № 6. С. 97– 102.
3. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности: Учебник для вузов текстил. пром-ти. / А.Г. Севостьянов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 392 с.
4. Жуков В. Н. Расположение волокон в ленте / В.Н. Жуков // Бюллетень ИвНИТИ. 1937. – № 11–12. – С.67-69.
5. Будников В.И. О расположении волокон в волокнистых продуктах / В.И. Будников // Сб. Научно-исследовательских работ Ташкентского текстильного института. – Ташкент, 1953. – С. 278– 281
6. Севостьянов А.Г. Применение радиоактивных излучений для контроля, регулирования и исследования в прядильном производстве / А.Г. Севостьянов. – М.: Гизлегпром, 1958. – 59 с.
7. Hummel G. Messverfahren zur Ermittlung der Langenänderung von Textilfasern. Textil-Praxis // Textil-Praxis. 1952-N 10, 813-821.
8. Morton W.E., Yen K.C. Fiber Arrangement in Cotton Sliver and Laps // Journal Textile Institute. 1952, V. 43, N 9, -p. T463-T477.
9. Ковачева М. В. Метод определения расположения отдельных волокон в прочесе и в мычке / М. В. Ковачева, Ю. Н. Воложенинов, В. П. Радовицкий. // Текстильная промышленность. – 1966. – № 12. – С. 29-30.
10. Протасова В.А. Определение распрямленности волокон методом радиографии / В.А. Протасова. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1960. – № 4. – С. 69.
11. Taylor D. S. An investigation of fiber geometry in card webs // Journal Textile Institute. – 1956, – V. 47, N 3. – P. T141– 147.
12. Л.Я. Лысенко, З.И.Крейцберг. Применение радиоактивных изотопов для определения распрямленности и параллелизации волокон тонкой шерсти // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1961. – № 6. – С. 62.
13. Ангаров Э.И. Исследование продуктов хлопкопрядения методом автордиографии / Э.И. Ангаров и др. // Текстильная промышленность. 1973. – № 5. – С. 73.
14. Lindsley C. H. Measurement of fiber orientation // Textile Research Journal. – 1951. – V. 21, N 1. – P.279– 282.
15. Леонтьева И.С. К вопросу распрямления волокон в процессе подготовки полуфабриката / И.С. Леонтьева. // Текстильная промышленность. – 1963. – № 2. – С. 34.
16. Будников В. И. Взаимосвязь показателей продольной ориентации волокон по Линдслею и Леонтьевой / В. И. Будников // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1966. – № 4. – С. 59-60.
17. Жоховский В.В. Прибор для определения распрямленности волокон в ленте и ровнице / В.В. Жоховский // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1960. – № 2. – С. 46.
18. Uno M. Of fiber an investigation geometry in card webs // Journal Tex tile Machinery Society Japan. – 1964. – V. 10, N 1. – P.257– 263.
19. Пат. 2509068 США, МПК G 01 N 33/36. / MacMahon W., № 2509068 – 1950.
20. Яковлев В.В. Исследование оптического метода определения степени параллелизации волокон / В. В. Яковлев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1967. – № 1. – С. 56– 63.
21. Яковлев В.В. Об оптическом методе определения степени параллелизации волокон / В. В. Яковлев. // Текстильная промышленность. – 1967. – № 3. – С. 47– 49.
22. Яковлев В.В. Прибор для измерения коэффициента параллелизации волокон в полуфабрикатах / В. В. Яковлев. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1966. – № 1. – С. 170– 173.
23. Orchard G.A. J. The method of fiber orientation in card webs // Journal of textile institute. – 1953. – V. 3, N. 44. – P.380– 385.
24. 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.
25. Патент на корисну модель № 37282, Резонансний пристрій для визначення властивостей текстильних матеріалів / Потапов А.О., Слізков А.М., Щербань В.Ю., Краснитський М.С., зареєстровано 25.11.2008. Бюл.№ 22. 2008.
26. Патент на корисну модель № 46827, Спосіб визначення структурних характеристик текстильних матеріалів / Скрипник Ю.О., Шевченко К.Л., Слізков А.М., зареєстровано 11.01.2010. Бюл.№ 1.2010.

Надійшла 28.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Супрун Н.П.