

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ЛИСТОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Одержані явні залежності для призначення умов проведення експериментів для визначення механічних характеристик листових матеріалів, що забезпечують проведення експериментів з мінімальними похибками і передбачають неможливість появи поперечних хвиль втрати стійкості, що може використовуватись для вдосконалення існуючих стандартів.

Ключові слова: механічні характеристики, листові матеріали.

G.V. SHCHUTSKA

Kyiv National University of Technologies and Design

FEATURES OF ORGANIZATION OF EXPERIMENTS OF SHEET MATERIALS

Abstract – The explicit dependence to determine the experimental conditions for studying the mechanical properties of sheet materials to ensure that the tests with minimal errors are developed. These conditions include the impossibility of the appearance of transverse waves of instability. This technique can be used to improve existing standards.

Keywords: mechanical properties, sheet materials.

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

В процесах обробки листових, зокрема текстильних матеріалів, одними з важливих показників є механічні характеристики, що визначають міцність, пружність, еластичність даних матеріалів. У ряді нормативних документів [1-5] визначаються вимоги до визначення подібних характеристик шляхом проведення механічних випробувань, основна схема яких показана на рисунку 1. При цьому зразок матеріалу, що уявляє собою прямокутну плоску пробу малої товщини, підлягає розтягненню, або іншим видам деформацій, при цьому фіксується навантаження, подовження, скорочення і інші характеристики. У наявних стандартах наведені також рекомендації по вибору розмірів проб.

У той же час в деяких публікаціях [6-7] відзначені явища, що на наш погляд не враховуються наявними нормативними документами. Зокрема, описується ефект появи ефект поперечної втрати стійкості, що може в значній мірі вплинути на результати випробувань. Врахування вказаних ефектів дасть змогу більш адекватно визначати результати експериментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.

В існуючих стандартах наведені рекомендації щодо вибору розмірів проб текстильних і інших листових матеріалів. Зокрема, в [1] рекомендуються розміри 200?200 мм, в [2] визначаються вимоги до проб розміром 250?250 мм, в [3-4] - 50?200 мм. В [5] описані очікувані результати, які, однак не пов'язуються з реальними розмірами і величиною навантажень.

У той же час в [6] описаний ефект появи поперечних хвиль втрати стійкості, що в значній мірі впливає на характеристики деформування і навантаження. Реальних рекомендацій і співвідношень не наведено. Спроба визначити вплив цього ефекту зроблена в [7], однак наведені тільки загальні залежності без реальних висновків.

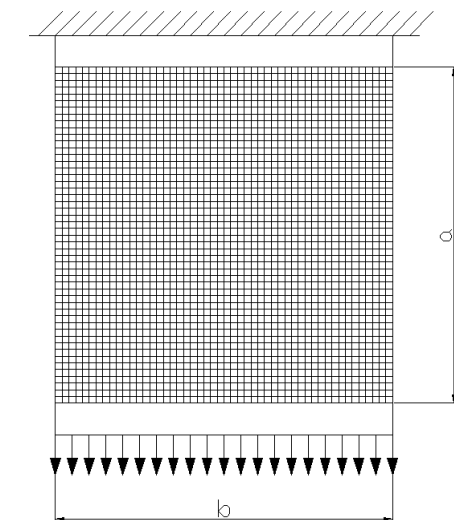


Рис. 1. Схема проведення механічних випробувань текстильних матеріалів

В роботі [8] зроблена спроба обґрунтувати вимоги до параметрів випробування, однак це зроблено в описовому вигляді без математичного обґрунтування.

Мета роботи – розробити загальну методику обґрунтування основних параметрів випробування текстильних матеріалів з врахуванням ефектів тонколистових зразків, пов'язаних, зокрема з поперечною втратою стійкості.

Обґрунтування отриманих наукових результатів

Всі умови навантаження і деформування листових матеріалів свідчать про плоске навантаження, хоча традиційно при випробуваннях розглядається одновісний напружений стан. Зокрема, поздовжні σ_x напруження визначаються відношенням сили, що розтягує зразок до його поперечного перерізу, поперечні напруження σ_y вважаються нульовими, поздовжні деформації ϵ_x визначаються законом Гука, відношенням

напружень σ_x до модуля повздовжньої пружності E . Поперечні деформації ε_x у більшості випадків не розглядаються зовсім, у деяких випадках визначаються коефіцієнтом Пуассона μ .

У той же час при розтягуванні плоских зразків можна передбачити стискування середньої частини проби при утриманні граничних зон без деформацій за рахунок жорсткого закріплення. Внаслідок цього напружений стан перестав бути рівномірним і перетворюється у двовісний, при цьому цілком ймовірна поява значних поперечних напружень і деформацій.

Рівняння плоскої задачі пружності для матеріалів з лінійними співвідношеннями напружень і деформацій може бути записане у вигляді бігармонічного рівняння

$$\nabla^2 \nabla^2 \varphi = 0, \tag{1}$$

Де φ – функція напружень, для якої можуть бути виписані співвідношення

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}. \tag{2}$$

На вільних границях зразка повздовжні і поперечні напруження відсутні, таким граничним умовам може задовольняти тригонометрична функція, тому шукану функцію напружень уявимо у вигляді

$$\varphi = \frac{f(x) \sin \pi y}{b}, \tag{3}$$

Підставивши в бігармонічне рівняння, одержимо рівняння

$$f^{IV} - 2 \frac{\pi^2}{b^2} f'' + \frac{\pi^4}{b^4} f = 0, \tag{4}$$

Розв'язком якого буде вираз з чотирма невідомими константами

$$f(x) = C_1 \sinh \frac{\pi x}{b} + C_2 \cosh \frac{\pi x}{b} + C_3 \cdot x \cdot \sinh \frac{\pi x}{b} + C_4 \cdot x \cdot \cosh \frac{\pi x}{b}. \tag{5}$$

Врахувавши граничні умови по повздовжній осі, геометричні співвідношення між переміщеннями і

деформаціями, співвідношення для закону Гука $\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu \sigma_y)$, $\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \mu \sigma_x)$, можна визначити константи рівняння.

Граничні умови по повздовжній осі задамо у вигляді геометричних відношень, на початку координат повздовжні і поперечні переміщення дорівнюють нулю, на кінці листа поперечні переміщення дорівнюють нулю, повздовжні – заданому переміщенню Δ .

Після розв'язку можна одержати розподілення напружень, деформацій і переміщень по площині зразка.

На рисунку 2, зокрема, показана зміна поперечних переміщень по площині матеріалу. Можна відзначити, що, якщо повздовжні переміщення не сильно змінюються, градієнти поперечних параметрів досить помітні.

На рисунку 3 показна зміна дотичних напружень τ_{yx} по довжині, яка демонструє майже лінійну залежність напруження від обох координат.

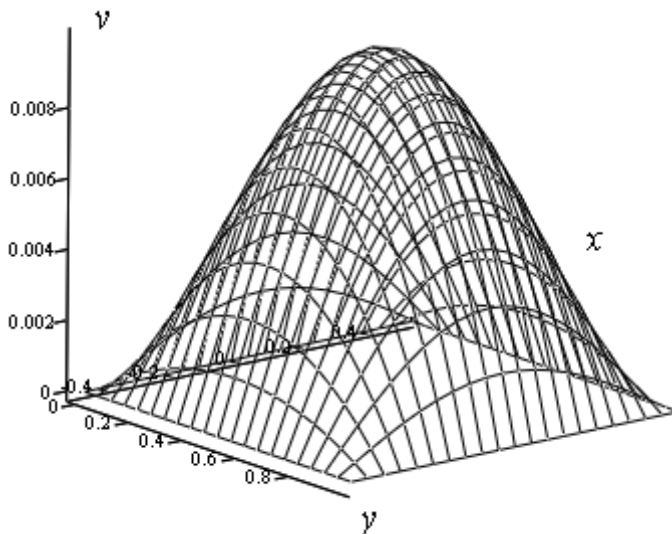


Рис. 2. Поверхня зміни поперечних деформацій

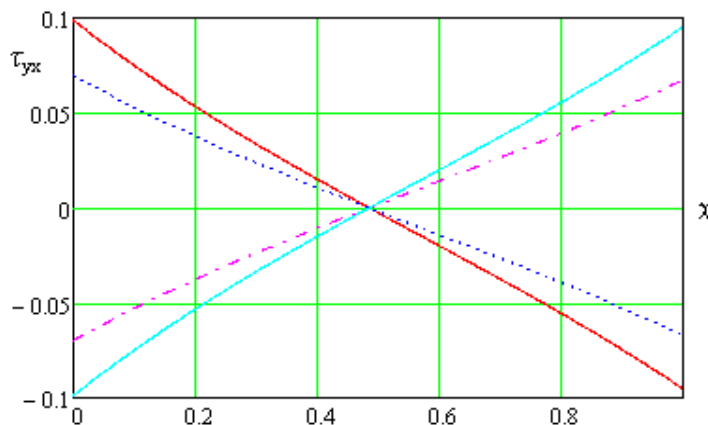


Рис. 3. Зміна дотичних напружень τ_{yx} по довжині

Найбільш ефектною є залежність поперечних напружень по площині листового матеріалу (рис. 4), в якій присутня явно виражена не лінійність в обох напрямках.

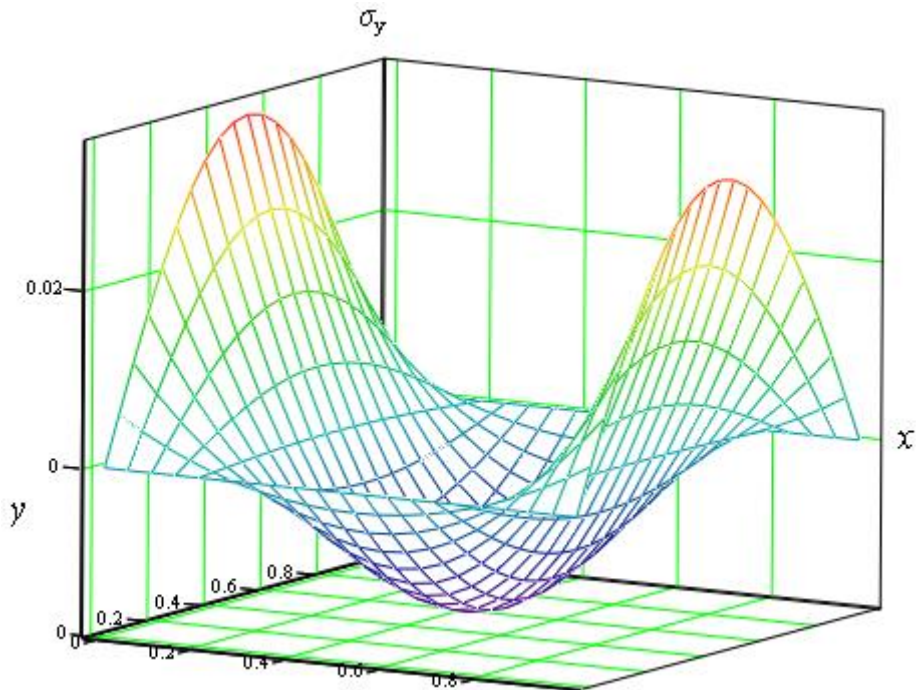


Рис. 4. Просторове розподілення поперечних напружень

Графік демонструє наявність як розтягувальних на границях, так і стискувальних в середній частині напружень. Нагадаємо, що справа йдеться про досить тонкі матеріали, для яких стискувальні напруження, навіть невеликі, можуть вести до втрати стійкості, що ззовні буде виражатися у появі поперечних хвиль на матеріалі, а для експериментів – появу значних похибок у вимірюванні.

З метою дослідження цього ефекту запишемо рівняння згину листового матеріалу у вигляді диференційного рівняння Софі Жермен

$$\frac{E\delta^2}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial^2 x \partial^2 y} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = \sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad (6)$$

Аналізуючи зміну функцій поздовжніх і поперечних напружень, можна зробити висновок про можливість їх описання простими ступеневими функціями. Якщо початок координат взяти в точці перетинання осей симетрії посередині зразка, запропоновані функції можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} \sigma_y &= (k_2 x^2 - k_1) \cos \frac{\pi y}{b}, \\ \sigma_x &= (k_3 - k_4 x^2). \end{aligned} \quad (7)$$

Розв'язок рівняння втрати стійкості будемо шукати у вигляді тригонометричних функцій, наприклад у вигляді

$$w = C \sin \frac{\pi x}{a} \cos \frac{j\pi y}{b}. \quad (8)$$

Підставивши в вихідне рівняння, одержуємо

$$\frac{\pi^4 \delta^2}{12b^4(1-\mu^2)} \left[\frac{b^4}{a^4} + 2j^2 \frac{b}{a^2} + j^4 \right] = a \left(\frac{b^2}{a^2} (k_3 - k_4 x^2) - (k_2 x^2 - k_1) \cos \frac{\pi y}{b} \cdot j^2 \right). \quad (9)$$

Означимо надалі

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{b}{a}, \\ \lambda &= \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2}, \\ \vartheta &= \frac{\Delta \alpha}{\delta^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Використавши означення, можна одержати бікватратне рівняння відносно кількості хвиль. Умовою втрати стійкості буде можливість реального розв'язку, що забезпечується позитивністю значення дискримінанту рівняння

Дискримінант рівняння

$$Dl = \frac{\lambda\theta}{4\beta} (k_2x^4 - 2k_1k_2x^2 + k_1^2) \cos \frac{\pi y^2}{b} - k_3 + k_4x^2 \quad (11)$$

$$\lambda\beta^2\theta(0,25\lambda\theta k^2 - \beta) > 0$$

Таким чином, якщо нерівність виконується, відбувається поперечна втрата стійкості листового матеріалу, яка може призвести до порушень умов дослідження матеріалу. Зона втрати стійкості може бути визначена шляхом розв'язку нерівності. Для різних параметрів зона втрати стійкості показана на рисунку 5.

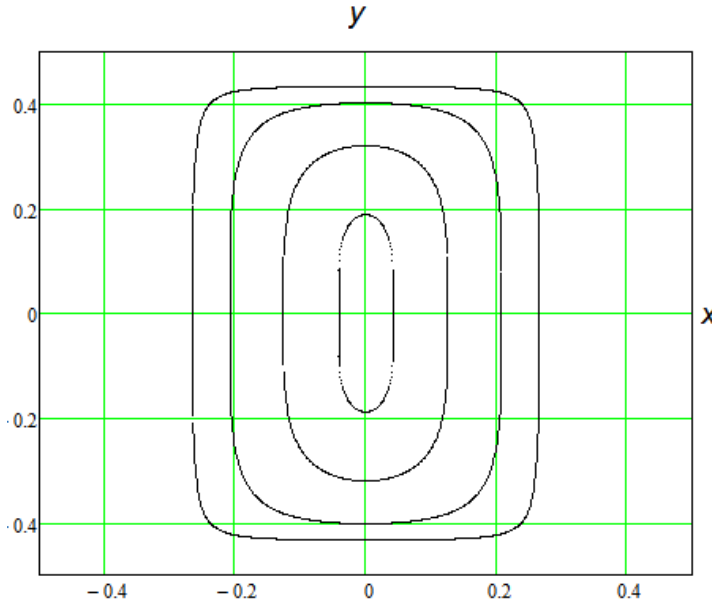


Рис. 5. Зона поперечної втрати стійкості для листового матеріалу

Кількість хвиль втрат стійкості визначається з розв'язку бікватратного рівняння, форма досліджуваного матеріалу бути мати вигляд (рис.6), що свідчить про значні порушення у формі представлення навантаження в процесі знаходження реальних механічних характеристик. Умовою не появи цього ефекту буде недопущення позитивного значення дискримінанту бікватратного рівняння.

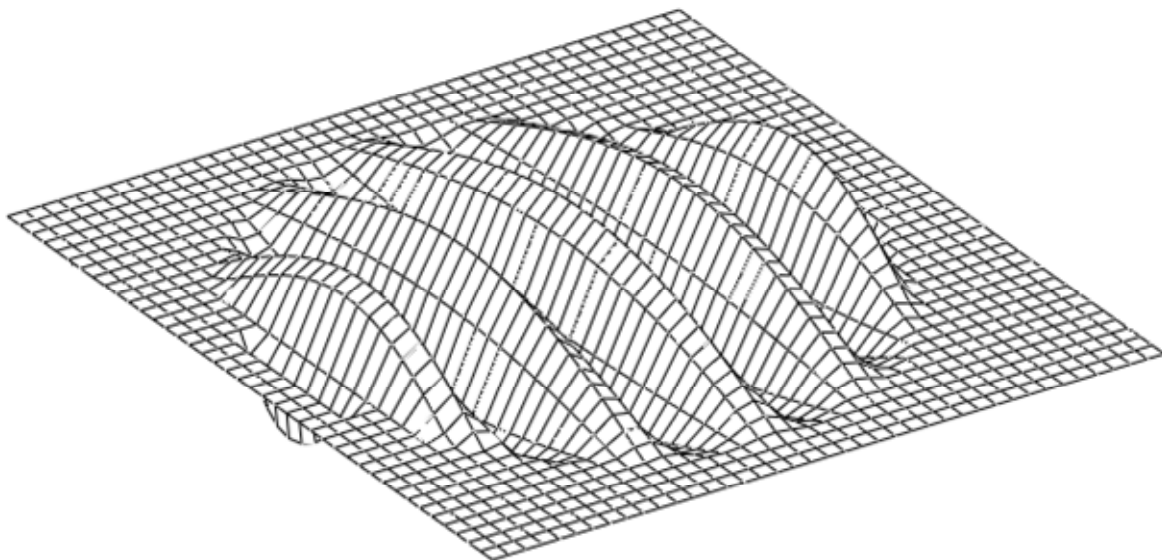


Рис. 6. Форма зразка листового матеріалу в процесі дослідження

Умова недопущення появи поперечних хвиль втрати стійкості

$$0,25\lambda\theta k^2 - \beta < 0$$

У разі порушення цієї умови, кількість хвиль втрати стійкості визначається рішенням бікватратних рівняння

$$j = \sqrt{0,5\beta\lambda\theta k - \sqrt{0,25(\beta\lambda\theta k)^2 - \beta^3\lambda\theta}} \quad (12)$$

Залежність від кількості хвиль втрати стійкості показана на рисунку 7.

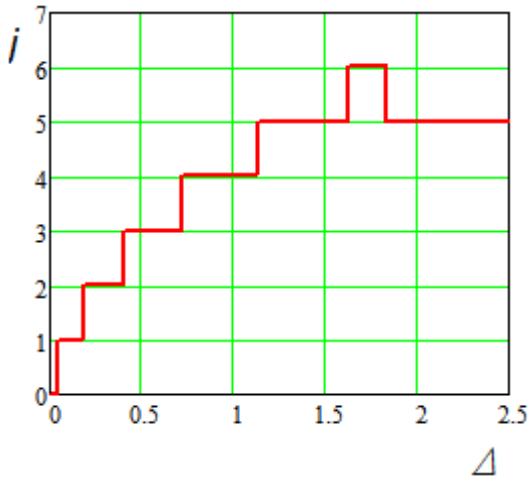


Рис. 7. Залежність кількості хвиль втрати стійкості від звуку кордону листового матеріалу

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розробок

В результаті роботи одержані явні залежності для призначення умов проведення експериментів для визначення механічних характеристик листових матеріалів, що забезпечують проведення іспитів з мінімальними похибками і передбачають неможливість появи втрат поперечних хвиль втрати стійкості, що може використовуватись для вдосконалення існуючих стандартів.

Отримані явні залежності між конструктивними параметрами листового матеріалу (довжина, ширина, товщина), технологічними (зусилля натягу, технологічне зміщення кордону), механічними характеристиками і параметрами втрати стійкості, які можуть передбачати побічні ефекти і рекомендувати параметри процесів для їх запобігання.

Література

- ГОСТ Р ИСО 3759-99 – Материалы текстильные. Подготовка, нанесение меток и измерение проб текстильных материалов и одежды при испытании по определению изменений линейных размеров. Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2011. – 4 с.
- ГОСТ 29104.9-91 – Ткани технические. Метод определения изменения размеров в горячем воздухе. Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1991. – 7 с.
- ГОСТ 15902.3-97 – Полотна нетканые. Методы определения прочности. Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 6 с.
- ГОСТ 29104.22-91 – Ткани технические. Метод определения компонентов полного удлинения при растяжении нагрузкой, меньше разрывной. Межгосударственный стандарт. М.: ИПК Издательство стандартов, . –1991. – 4 с.
- ГОСТ 29104.4-91 – Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве Межгосударственный стандарт. М.: ИПК Издательство стандартов, 1991. – 7 с.
- А.А. Бизюков, Вакуум-плазменное нанесение покрытий на рулонные материалы / А.А. Бизюков, В.В. Бобков, Д.Л. Рябчиков, Н.Л. Рябчиков, А.Ф. Целуйко, Н.Н. Юнаков // Вопросы атомной науки и техники. Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 1998. – Выпуск 4(5), 5(6). – С.93-95.
- Рябчиков Н.Л. Система подготовки требований к качеству намотки рулонов / Н.Л. Рябчиков, С.В. Чельшева // Информационные технологии. Наука, техника, технология, образование, здоровье. – Харьков: Министерство образования Украины, ХГПУ, 1998. – С. 303-306.
- Толкунова Н.М. Испытание текстильных материалов / Н.М. Толкунова, Е.Н. Чернов, И.Е. Гончарова. – М.: Легпромбытиздат, 1993г. – 224 с.

References

- GOST R ISO 3759-99 – Materialy \ teksil \ ny \ e. Podgotovka, nanesenie metok i izmerenie prob tekstil \ ny \ x materialov i odezhdy \ pri ispy \ tanii po opredeleniyu izmenenij linejny \ x razmerov. Mezhgosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 2011. 4 p.
- GOST 29104.9-91 – Tkani texnicheskie. Metod opredeleniya izmeneniya razmerov v goryachem vozduxe Mezhgosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 1991. 7 p.
- GOST 15902.3-97 – Polotna netkany \ e. Metody \ opredeleniya prochnosti. Mezhgosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 1997. 6 p.
- GOST 29104.22-91 – Tkani texnicheskie. Metod opredeleniya komponentov polnogo udlineniya pri rastyazhenii nagruzkoj, men \ she razry \ vnoj. Mezhgosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 1991. 4 p.
- GOST 29104.4-91 – Tkani texnicheskie. Metod opredeleniya razry \ vnoj nagruzki i udlineniya pri razry \ ve. Mezhgosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 1991. 7 p.
- A.A. Bizyukov, V.V. Bobkov, D.L. Ryabchikov, N.L. Ryabchikov, A.F. Celujko, N.N. Yunakov. Vakuum-plazmennoe nanesenie pokry \ tij na rulonny \ e materialy \ // Voprosy \ atomnoj nauki i tehniki. Vakuum, chisty \ e materialy \ , sverxprovodniki. – Har \ kov: NNC XFTI. – 1998. – Vy \ pusk 4(5), 5(6). – pp.93-95.
- Ryabchikov N.L., Chely \ sheva S.V. Sistema podgotovki trebovanij k kachestvu namotki rulonov // Informacionny \ e tehnologii. Nauka, texnika, tehnologiya, obrazovanie, zdorov \ e. – Har \ kov: Ministerstvo obrazovaniya Ukrainy \ , XGPU, – 1998. – pp. 303-306.
- Tolkunova N.M., Chernov E.N., Goncharova I.E. Ispy \ tanie tekstil \ ny \ x materialov – M.: Legpromby \ tizdat, 1993. – 224 p.

Рецензія/Peer review : 24.4.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Романкевич О.В.