

НАХАЙЧУК ОЛЕГ

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

<https://orcid.org/0009-0003-0612-774X>e-mail: olvn@ukr.net**ЗАХАРОВА ЕЛІНА**

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

<https://orcid.org/0009-0008-6796-7415>e-mail: elya_prus@ukr.net**ГОРОБЧИШИНА ВАЛЕНТИНА**

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

<https://orcid.org/0009-0000-9945-5889>e-mail: kalakay142153@ukr.net**ЦИРУЛЬНИК ОКСАНА**

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

<https://orcid.org/0009-0005-5700-5106>e-mail: oksana.tsyrulnyk@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДЖЕННІ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКСТИЛЬНИХ НИТОК

Авторами статті розроблена методика дослідження міцності текстильних ниток, яким властива поперечна неоднорідність показників механічних властивостей з використанням математичного моделювання, що дозволяє, без проведення трудомістких експериментальних досліджень, прогнозувати її втрату. Розроблена класифікація показників механічних властивостей за ступенем впливу їх поперечних варіацій на значення розривного навантаження пучка текстильних ниток з розробленими відповідно моделями прогнозування. При виконанні досліджень був використаний метод статистичної імітації випробування на розтяг, застосовані методи математичного аналізу для випадку розтягу пучка текстильних ниток.

Розроблена математична модель дозволяє описувати вплив різних варіацій на розривне навантаження та класифікувати різні поперечні варіації властивостей за ступенем впливу на характеристики міцності пучка ниток.

Ключові слова: міцність, текстильні нитки, моделі прогнозування, розривне навантаження, коефіцієнти варіації.

NAKHAYCHUK OLEG, ZAKHAROVA ELINA, HOROBCHISHYNA VALENTINE, TSYRULNYK OKSANA
Vinnitsia Institute of designing of clothes and Entrepreneurship

USE OF MODERN TECHNOLOGIES IN THE RESEARCH OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF TEXTILE THREADS

This work is devoted to the study of mechanical characteristics of textile fabrics in the process of their manufacture and processing, which is characterized by a phenomenon of heterogeneity (heterogeneity of properties in longitudinal and transverse directions). This phenomenon is due to the heterogeneity of physical, temperature, concentration, hydrodynamic, rheological and other factors. This heterogeneity increases with increasing the number of threads.

Modern methods of studies of the influence of transverse uneven properties on the processes of deformation and destruction of a bundle of textile threads are generally time consuming, and they do not give quantitative information the influence of its components on the mechanical characteristics of products. Therefore, the implementation of studies regarding the study of the degree of influence of the transverse heterogeneity of the mechanical properties of textile threads on the peculiarities of the mechanics of their deformation and destruction, while with the development of forecasting methods are relevant and useful for the production of products.

The authors of the article have developed a method of studying the strength of textile threads, which is characterized by the transverse heterogeneity of indicators of mechanical properties using mathematical modeling, which allows, without conducting labor intensive experimental studies, to predict its loss. The classification of indicators of mechanical properties by the degree of influence of their cross variations on the value of a break loading of a bundle of textile threads with developed prediction models developed respectively. The method of statistical imitation of tensile test was used, methods of mathematical analysis were used for the case of tightening of a bundle of textile threads. The developed mathematical model allows you to describe the influence of different variations on the break load and to classify different transverse variations of properties by the degree of influence on the characteristics of the strength of the thread bundle. The relationship between the strength realization coefficient and different transverse variations of mechanical properties is established, which made it possible to quantify the effect of heterogeneity of mechanical properties on the strength of textile filaments.

Keywords: strength, textile threads, prediction models, breaking load, coefficients of variation.

Постановка проблеми

Дослідження механічних характеристик текстильних тканин в процесі їх виготовлення та переробки виявили явище гетерогенності (неоднорідності властивостей в поздовжніх та поперечних напрямках) [1, 2, 3], яке обумовлене неоднорідністю фізичних, температурних, концентраційних, гідродинамічних, реологічних факторів. При збільшенні кількості ниток ступінь поперечної гетерогенності також зростає [4] що, в свою чергу, можна пояснити різними лінійними розмірами складових пучка текстильних ниток.

Аналіз останніх джерел

Відомо [1, 2], що сучасні методи досліджень впливу поперечної нерівномірності властивостей на процеси деформування та руйнування пучка текстильних ниток в цілому досить трудомісткі, при цьому вони

не дають кількісної інформації впливу його складових на механічні характеристики виробів.

Виконання досліджень стосовно вивчення ступеню впливу поперечної гетерогенності показників механічних властивостей текстильних ниток на особливості механіки їх деформування та руйнування, при цьому з розробкою методів прогнозування є актуальними та корисними для виробництва виробів.

Виклад основного матеріалу

В даних дослідженнях був використаний метод статистичної імітації напівциклового випробування на розтяг [3, 4], виконувався аналіз для загального випадку випробування на розтяг пучка текстильних ниток. В даному випадку для кожної i -ї нитки в пучку із m елементів випадковими величинами є не тільки характеристики діаграми розтягу, а також ступінь їх неоднорідності (відмінність лінійних розмірів).

В якості структурного елементу деформування нитки пучка в координатах «навантаження – абсолютне видовження» є можливим використання математичної моделі [3]:

$$P_j = \frac{\ell_j}{C_{0i} + C_{2i}\ell_j^2} + C_{2i}\ell_j^2; \quad C_{0i} = \frac{\ell_{pi}\gamma}{\sigma_{yi} \cdot T_i \cdot 10^3}; \quad C_{1i} = \left(\frac{1}{\sigma_{ni}} - \frac{1}{\sigma_{yi}} \right) \cdot \frac{\gamma}{T_i \cdot 10^3}; \quad C_{2i} = \frac{(\sigma_{pi} - \sigma_{ni}) \cdot T_i \cdot 10^3}{\ell_{pi}^2 \cdot \gamma}; \quad (1)$$

де P_j – поточне значення сили розтягу, Н; ℓ_j – текуче значення абсолютного видовження нитки, м; ℓ_{pi} – текуче значення абсолютного видовження при розриванні i -ї нитки пучка текстильних ниток, м; γ – густина матеріалу нитки, кг/м³;

T_i – лінійна густина i -ї нитки пучка, текс;

σ_{ni} – умовна межа пластичності i -ї нитки пучка, Па;

σ_{yi} – умовна межа пружності i -ї нитки пучка, Па;

σ_{pi} – розривне навантаження i -ї нитки пасма, Па.

Випадковими змінними величинами для кожної i -ї нитки пучка будуть значення: ℓ_{pi} , T_i , σ_{ni} , σ_{yi} , σ_{pi} та ΔL_i .

На початковому етапі імітаційного моделювання генератор випадкових чисел у відповідності до закону розподілення генерує m (за кількістю ниток в пучка) випадкові значення ℓ_{pi} , T_i , σ_{ni} , σ_{yi} , σ_{pi} та ΔL_i . Потім визначаються математичні моделі (1) C_{0i} , C_{1i} , C_{2i} , P_{pi} . Із всіх ниток вибирається нитка, яка має мінімальну довжину L_{min} , тоді кожній нитці, що залишилася, буде відповідати залишок довжини ΔL_i , який можна визначити як $\Delta L = L_i - L_{min}$. Отримані значення параметрів запам'ятовуються.

Імітаційне моделювання експерименту полягало в тому, що кожному зажиму розривної машини послідовно надається на кожному кроці переміщення, що викликає видовження Δl . Тоді видовження на i -му кроці моделювання ℓ_j відповідно буде визначатися як $\ell_j = j \cdot \Delta l$. На кожному j -му кроці для кожної i -ї нитки розраховується абсолютне видовження ℓ_{ij} та прикладене до даної нитки навантаження P_{ij} :

$$\ell_{ij} = \ell_j - \Delta L_i = j \cdot \Delta l - \Delta L_i; \quad P_{ij} = \frac{\ell_{ij}}{C_{0i} + C_{2i}\ell_{ij}^2} + C_{2i}\ell_{ij}^2; \quad (2)$$

При виконанні однієї із умов: $\ell_{ij} \leq 0$ (коли $\Delta L_i \leq j \cdot \Delta l$) або $\ell_{ij} \geq \ell_{pi}$ або $P_{ij} \geq P_{pi}$, відповідна нитка вважається розірваною і надалі текуче значення навантаження, що прикладене до i -ї нитки P_{ij} приймається рівним нулю.

На рис. 1 наведені результати імітаційного моделювання, які представлені у вигляді діаграм розтягу пучка ниток в координатах «навантаження-абсолютне видовження».

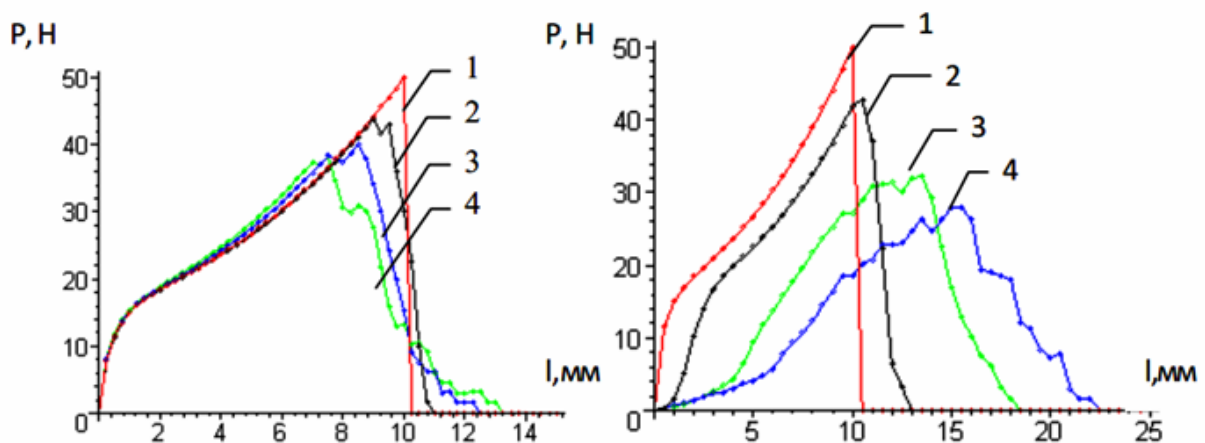


Рис. 1. Діаграми розтягу «навантаження-абсолютне видовження» пучка текстильних ниток, отримані при: а) різних значеннях коефіцієнтів варіації абсолютного видовження при розриванні ниток пучка 1 – $C_0 = 0\%$; 2 – $C_0 = 5\%$; 3 – $C_0 = 10\%$; 4 – $C_0 = 15\%$; б) різні значення ступеню варіації довжин ниток пучка $C_0 = 0\%$; 2 – $C_0 = 5\%$; 3 – $C_0 = 10\%$; 4 – $C_0 = 15\%$.

Аналіз залежностей, наведених на рис. 1 показує, що найбільший вплив на форму діаграми розтягу, приведеної до однієї нитки, чинять поперечні варіації розривного видовження C_{1p} і ступінь різномовжинності C_L пучка текстильних ниток. При збільшенні коефіцієнту варіації цих показників між нитками пучка змінюється не тільки форма діаграми розтягу, а й значення та положення її максимуму, а також значення повного видовження при розриванні. Отже, причиною виникнення правої частини діаграми розтягу можна

вважати існування поперечної гетерогенності механічних властивостей, що підтверджується результатами експериментальних досліджень.

На основі комплексного аналізу отриманих результатів [4] для кількісної оцінки впливу поперечної гетерогенності структури і показників механічних властивостей на значення розривного навантаження ниток пучка можна використовувати загальну модель:

$$P_p(C_j) = P_{po} \cdot \exp[-K_{pp} \cdot C_j] \quad (3)$$

де $P_p(C_j)$ – середнє значення розривного навантаження пучка нитки, Н; $P_p(C_j \rightarrow 0) = P_{po}$ – середнє значення розривного навантаження пучка нитки при відсутності поперечної гетерогенності механічних властивостей, Н; K_{pp} – параметр моделі, що характеризує інтенсивність зміни показника міцності при збільшенні коефіцієнту варіації властивості, яка досліджується, 1%.

Використання моделі (3) дозволяє не тільки достовірно описувати вплив різних варіацій на розривне навантаження, а й класифікувати різні поперечні варіації властивостей за ступенем впливу на характеристики міцності пучка ниток на кількісному рівні.

За результатами наведеного комплексу аналітичних досліджень встановлено, що збільшення показника поперечної варіації ступеню різнодовжинності C_L і абсолютного розривного видовження C_{1P} ниток пучка призводить до закономірного зменшення розривного навантаження P_p на одну нитку. Випадковий сумісний вплив даних варіацій не викликає зміну характеру залежності середнього значення розривного навантаження P_p від параметрів варіації. Асиметрія закону розподілення вихідних параметрів моделі (1) практично не чинить вплив на закономірність зменшення середнього значення розривного навантаження P_p пучка ниток.

На практиці для оцінки використання міцності складових ниток використовується поняття коефіцієнту реалізації міцності K_p . Аналіз результатів імітаційного моделювання процесу деформування та руйнування пучка ниток вказує на те, що числове значення коефіцієнту реалізації міцності визначається гетерогенністю показників властивостей складових пучка компонентів і не залежить від характеристик міцності:

$$K_p = \frac{\overline{P_p(C_j)}}{P_{po}} = \exp[-K_{pp} \cdot C_j] \quad (4)$$

На рис. 2 наведені залежності коефіцієнту реалізації середньої міцності K_p слабкопов'язаного пучка ниток від коефіцієнту поперечних варіацій C_j найбільш вагомих властивостей. Можна відмітити, що ступінь різнодовжинності пучка ниток чинить найбільший вплив на значення коефіцієнту реалізації міцності (при значенні показника $K_{pp} = 3,2 \times 10^{-2}$, 1%) відносно варіації по абсолютному розривному видовженню C_{1P} ниток пучка (при значеннях показника $K_{pp} = 1,8 \times 10^{-2}$, 1%).

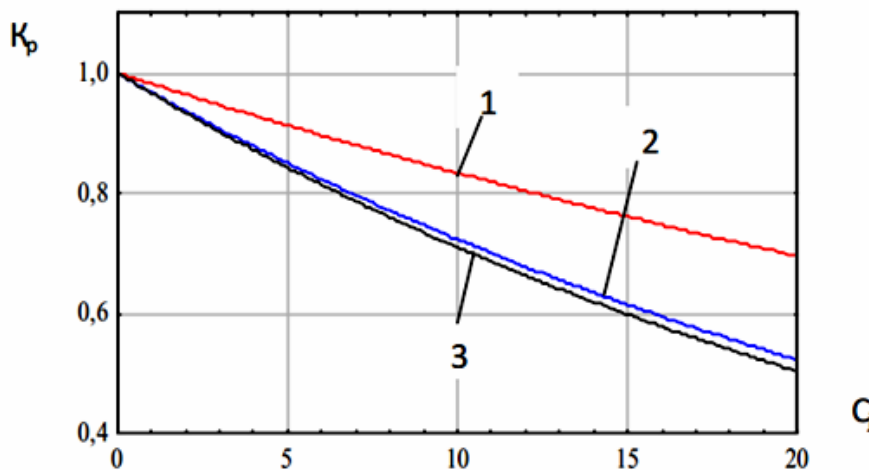


Рис. 2. Залежність коефіцієнту реалізації середньої міцності K_p слабко пов'язаного пучка ниток від коефіцієнтів варіації: 1 – абсолютного розривного видовження C_{1P} , 2 – ступеню різнодовжинності C_L , 3 – абсолютного розривного видовження C_{1P} та ступеню різнодовжинності C_L .

Отже, при прогнозуванні ступеню різнодовжинності ниток пучка C_L є можливим прогнозування числового значення коефіцієнту реалізації міцності K_p , що є важливим для комплексної оцінки якості нитки.

Висновки

1. Розроблений алгоритм статистичної імітаційної моделі процесу деформування і руйнування текстильної нитки, що має властивості поперечної неоднорідності показників механічних властивостей при напівцикловому випробуванні на розтяг.

2. Виконана класифікація показників механічних властивостей за ступенем впливу їх поперечних варіацій на значення розривного навантаження пучка текстильних ниток з розробленими відповідно моделями прогнозування.

3. Встановлений взаємозв'язок коефіцієнту реалізації міцності та різних поперечних варіацій

механічних властивостей.

4. Розроблена методика дослідження міцності текстильних ниток, яким властива поперечна неоднорідність показників механічних властивостей з використанням математичного моделювання, що дозволяє, без проведення трудомістких експериментальних досліджень, прогнозувати її втрату.

Література

1. Слізков А. М. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина I. (Прядильне та крутильне виробництва) : підручник / А. М. Слізков, Т. О. Якубовська, І. А. Прохорова. – К. : КНУТД, 2014. – 432 с.
2. Слізков А. М. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II. (Ткацьке, трикотажне та неткане виробництва) : підручник / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, О. П. Кизимчук. – К. : КНУТД, 2018. – 276 с.
3. Коломієць Т. М. Експертиза товарів: підручник / Т. М. Коломієць, Н. В. Притульська, О. Л. Романенко. – К. : КНЕУ, 2001. – 274 с.
4. Батутіна А. П. Експертиза товарів / А. П. Батутіна, І. В. Ємченко : навч. посібник. – Львів : видавництво Львівської комерційної академії, 2010. – 312 с.

References

1. Slizkov A. M. Mekhanichna tekhnolohiia tekstylnykh materialiv. Chastyna I. (Priadylnе ta krutylne vyrobnytstva) : pidruchnyk / A. M. Slizkov, T. O. Yakubovska, I. A. Prokhorova. – K.: KNUTD, 2014. – 432 s.
2. Slizkov A. M. Mekhanichna tekhnolohiia tekstylnykh materialiv. Chastyna II. (Tkatske, trykotazhne ta netkane vyrobnytstva) : pidruchnyk / A. M. Slizkov, V. Yu. Shcherban, O. P. Kyzymchuk. – K.: KNUTD, 2018. – 276 s.
3. Kolomiets T. M. Ekspertyza tovariv: pidruchnyk / T. M. Kolomiets, N. V. Prytulska, O. L. Romanenko. – K.: KNEU, 2001. – 274 s.
4. Batutina A. P. Ekspertyza tovariv / A. P. Batutina, I. V. Yemchenko: navch. posibnyk. Lviv: vydavnytstvo Lvivskoi komertsiiinoi akademii, 2010. – 312 s.