

О. В. НАХАЙЧУК, Е. А. ЗАХАРОВА, А. А. МІЗРАХ, О. В. МАРЧУК  
Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНИН З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Авторами статті розроблена методика дослідження міцності тканини з використанням математичного моделювання, яка дозволяє, без проведення трудомістких експериментальних досліджень, прогнозувати вичерпання характеристик міцності тканин на різних стадіях експлуатації із врахуванням одночасної дії різних виробничих факторів. Використане стереометричне моделювання показало, що втрата міцності може бути відображена шляхом деформування, який включає три характеристики, графік зміни яких побудований в безрозмірній тривимірній системі координат. Авторами обґрунтовано, що міцність виробів із тканини залежить не тільки від її фізико-механічних властивостей, а і від характеристик, яких набуває тканина в процесі використання – їх зміна може бути представлена в безрозмірній тривимірній системі координат шляхом деформування; показана можливість кількісної оцінки запасу міцності на різних стадіях експлуатації. Визначено вплив шляху деформування на міцність тканини із врахуванням накопичення пошкоджень на різних стадіях як виготовлення, так і експлуатації, що дає можливість оптимального вибору відповідних матеріалів та розробки рекомендацій до їх застосування. Дані результати автори рекомендують використовувати для створення тканин із прогнозованими властивостями, особливо це має значення для екстремальних умов їх експлуатації.

Ключові слова: математичне моделювання, міцність тканини, критерій руйнування, шлях деформування, використаний ресурс, цикл тертя.

O. V. NAKHAYCHUK, E. A. ZAKHAROVA, A. A. MIZRAH, O. V. MARCHUK  
Vinnitsia Institute of designing of clothes and Entrepreneurship

### RESEARCH OF PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF TISSUES WITH USING MATHEMATIC MODELLING

The authors of the article developed a method of studying the strength of tissue using mathematical modelling. Taking into account the simultaneous action of various production factors, it allows to predict the exhaustion of the characteristics of the strength of tissues at different stages of exploitation without carrying out labour-intensive experimental studies. It has been shown that the loss of strength can be represented by deformation, using stereometric simulation that includes three characteristics. Their change schedule is constructed in a dimensionless three-dimensional coordinate system. The authors substantiate that the strength of fabrics depends not only on its physical and mechanical properties, but also on the characteristics that the fabric acquires during its use. Their change can be represented in a dimensionless three-dimensional coordinate system by means of deformation; the possibility of quantification of the safety margin at different stages of operation is shown. Taking into account the accumulation of damage at different stages of manufacture and operation, the influence of the deformation pathway on the strength of the fabric is determined. It gives an opportunity to select optimally the relevant materials and develop recommendations for their application. These results are recommended by the authors for the creation of fabrics with predictive properties. It is important for the extreme conditions of their exploitation.

Key words: mathematical modelling, fabric strength, fracture criterion, deformation path, used resource, friction cycle.

### Вступ

Зносостійкість та міцність текстильних матеріалів визначається їх здатністю тривалий період протистояти дії руйнуючих чинників, яким вони піддаються під час експлуатації, до яких можна віднести фізичні, механічні, біологічні та хімічні. Вказані чинники можуть впливати на тканини як окремо, так і одночасно у різних комбінаціях в залежності від умов експлуатації виробів.

Відомо, що в процесі експлуатації тканина набуває мікропошкоджень, які з часом зростають до критичної кількості і відбувається її руйнування. В зв'язку з цим розробка розрахунково-експериментальних методів досліджень виробів з використанням математичного моделювання має практичне значення і дозволяє, без проведення матеріалозатратних та трудомістких експериментальних досліджень, прогнозувати їх якість та характеристики міцності ще як на стадії проектування, так і після визначеного часу використання.

При проектуванні технологічних процесів, пов'язаних з пластичним деформуванням матеріалів, знайшли широке використання критерії деформуємості [1, 2, 3], які враховують вплив на міцність заготовок мікро та макропошкодження на різних стадіях їх формоутворення. Мірою накопичення мікропошкоджень прийнято рахувати використаний ресурс пластичності. Приймається положення, згідно якого в необробленому матеріалі мікропошкодження відсутні ( $\psi=0$ ). В подальшому, виріб в процесі формування і експлуатації, накопичує пошкодження, і руйнування настає при  $\psi=1$ . Даний підхід може бути використаний для дослідження матеріалів швейних виробів різного призначення.

### Експериментальна частина

Метою даної роботи є підвищення якості швейних виробів на основі вивчення результатів розрахунково-експериментальних досліджень з вичерпання їх міцності та зносостійкості на різних стадіях експлуатації. Для досягнення цієї мети була сформульована задача – розробити методику дослідження міцності тканини з використанням математичного моделювання, за допомогою якої можна прогнозувати

вичерпання стійкості та міцності із врахуванням одночасної дії виробничих факторів.

Розглянемо одночасний вплив на міцність тканини таких факторів, як жорсткість при згині матеріалів  $B_y$ , кількість циклів тертя  $N$ , розривне навантаження  $F$ . Введемо поняття використаного ресурсу міцності тканини – відношення вичерпаного ресурсу по якомусь із факторів до його граничного значення, тобто для нашого випадку:

$$\psi_1 = \frac{F_m}{F_{cp}}; \quad \psi_2 = \frac{N_m}{N_{cp}}; \quad \psi_3 = \frac{B_{ym}}{B_{ycp}}, \quad (1)$$

де  $F_m, N_m, B_{ym}$  – текучі значення відповідно розривного навантаження, циклів тертя, жорсткості в процесі експлуатації;  $F_{cp}, N_{cp}, B_{ycp}$  – їх граничні значення (за яких відбувається руйнування).

Під шляхом деформування будемо розуміти графік, який побудований за результатами експериментальних досліджень, що відображає втрату міцності по трьом перерахованим характеристикам на різних стадіях експлуатації тканини. Виходячи із викладеного, в тривимірній системі координат гранична поверхня буде мати форму куба з довжиною ребер, рівною 1.

Експериментальні дослідження зразків тканини «Ортон» виконувались при нормальних умовах, передбачених стандартом (ГОСТ 10681-75). Тканину досліджено на розривне навантаження, згідно з ГОСТ 17922-72 «Ткани штучные и изделия текстильные. Метод определения раздирающей нагрузки» на розривній машині РТ-250М. Для дослідних робіт було використано метод малих смужок, призначений для випробування на розривання зразків пробних смужок шириною 25 мм при затискній довжині 200 мм (ГОСТ 3812-72) [4]. Цей метод застосовують при випробуванні тканини і трикотажних полотен.

Важливе значення для одягу має жорсткість тканини. Жорсткість при згині матеріалів для одягу визначається методом консолі. Цей метод передбачає визначення жорсткості матеріалів під дією власної маси, без примусової деформації. За методом консолі визначення жорсткості виконували на приладі ПТ-2 (ГОСТ 10550-75) [4]. За кінцевий прогин зразка було прийнято середнє арифметичне результатів десяти вимірів з точністю до 0,1 мм.

Тертя є однією з основних причин зносу одягу, тому стійкість до тертя внесена для ряду матеріалів в номенклатурі стандартних показників. Оцінювати стійкість матеріалу до тертя можна на різних стадіях випробування [5]. Критерієм оцінки вибрано стирання до повного зносу (до діри) – число циклів приладу, яке характеризує витривалість матеріалу, або час випробування до руйнування зразка, яким визначається довговічність за методикою ЦНДШП. Для визначення стійкості тканини «Ортон» до тертя застосовано прилад марки ДІТ, який виконує тертя по площі [4]. Встановлено, що для тканини «Ортон» граничними значеннями є:  $F_{cp} = 69,3$  дН,  $N_{cp} = 3526$  циклів тертя,  $B_{ycp} = 9753$  мкН×см<sup>2</sup>. Результати експериментальних досліджень представлені в таблиці 1, за якими в системі Math Cad побудована в двох виглядах гранична поверхня та шлях деформування (рис. 1, червона лінія).

Таблиця 1

**Результати досліджень зразків тканини «Ортон»  
на жорсткість при згині, цикли тертя, розривне навантаження**

Точки	$B_{ym}, \text{мкН} \times \text{см}^2$	$N_m$	$F_m, \text{дН}$	$\Psi_1$	$\Psi_2$	$\Psi_3$
0	0	0	0	0	0	0
1	1951	1587	22,2	0,2	0,45	0,32
2	3023	2292	29,8	0,31	0,65	0,43
3 прогнозовані дані	4681	3526	45,7	0,48	1	0,66

Як видно із рис. 1, графік залежності зміни значень  $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3$  в безрозмірній системі координат має квазілінійний характер, тому нескладно, використавши метод екстраполяції, знайти точку перетину із граничною поверхнею (точка К, рис. 2). В такому випадку, узагальнений критерій руйнування  $\Psi$  може бути визначено як відношення довжини лінії шляху деформування до довжини лінії від початку координат до перетину із граничною поверхнею (при умові, якщо суттєво не зміняться параметри експлуатації тканини до її руйнування):

$$\Psi = \frac{D_1 P}{D_1 K}. \quad (2)$$

Використовуючи елементарні геометричні та тригонометричні співвідношення, знаходимо:

$$D_1 P = \sqrt{\Psi_1^2 + \Psi_2^2 + \Psi_3^2}, \quad (3)$$

де  $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3$  – координати точки 2, (див. таблицю 1).

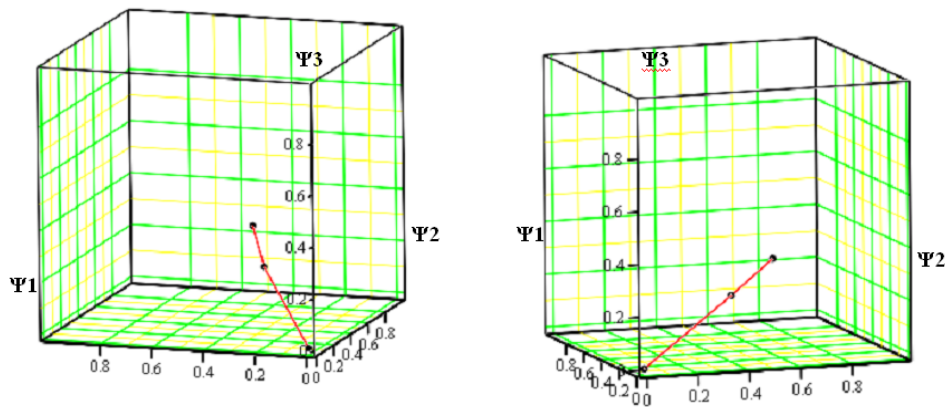


Рис. 1. Результати експериментальних досліджень в системі Math Cad (2 вигляди)

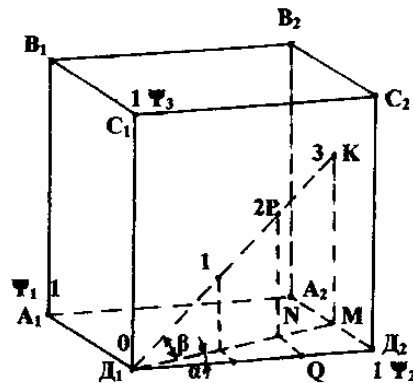


Рис. 2. Схема до визначення узагальненого критерію руйнування  $\Psi$

Враховуючи, що кути  $\alpha$  та  $\beta$  можна знайти як:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\Psi_1}{\Psi_2}, \quad \beta = \operatorname{arctg} \frac{\Psi_3}{\sqrt{\Psi_1^2 + \Psi_2^2}}, \quad (4)$$

Довжина відрізка  $D_1M$  буде рівною:  $D_1M = \frac{1}{\cos \alpha}$ , оскільки точка  $K$  є прогнозованою точкою перетину шляху деформування площини  $A_2B_2C_2D_2$ . Тоді, в даному випадку, довжину  $D_1K$  можна знайти за формулою:

$$D_1K = \frac{D_1M}{\cos \beta} \quad (5)$$

Підставивши формули (3) та (5) в (2), знаходимо, що значення узагальненого критерію руйнування  $\Psi = 0,65$ , тобто дорівнює значенню  $\Psi_2$  для точки 2 (див. таблицю 1). Такий же результат можна отримати, розглянувши подібність трикутників  $KM D_1$ ,  $PN D_1$  та  $D_2M D_1$ ,  $QN D_1$  (рис. 2).

Представлений приклад розрахунку можна вважати частковим випадком, оскільки шлях деформування інших тканин може мати форму кривих ліній з різними радіусами кривизни, які залежать від умов експлуатації (наприклад, на деякому етапі інтенсивність дії силових факторів значно перевищує результати впливу тертя та втрати жорсткості, або виникає переважна дія деформації розмірів в тому чи іншому напрямку). В таких випадках треба створювати математичні моделі з використанням методів апроксимації та екстраполяції [6].

Викладений загальний підхід може бути взятим за основу розрахунків міцності тканини з використанням стереометричного моделювання.

### Висновки

Розроблена методика дослідження міцності тканини з використанням математичного моделювання, яка дозволяє, без проведення трудомістких експериментальних досліджень, прогнозувати вичерпання міцності на різних стадіях експлуатації із врахуванням одночасної дії різних виробничих факторів. Встановлено, що для тканини «Ортон» вичерпання міцності найбільш інтенсивно відбувається при дії такого фактора, як цикли тертя ( $\Psi = \Psi_2 = 0,65$ ). Якщо за близькі до руйнування прийняти значення  $\Psi_2 = 0,95 \dots 1$ , то можна вважати, що міцність вичерпана приблизно на  $2/3$ . Отже, для запобігання руйнування необхідно зменшити або обмежити дію тертя.

Оптимальним шляхом деформування є лінія  $D_1B_2$ , так як вона рівновіддалена від граней граничної поверхні. Для кожного випадку можуть бути знайдені прийнятні умови експлуатації тканини із врахуванням одночасної дії визначальних факторів.

Обґрунтовано, що міцність виробів із тканини залежить не тільки від її фізико-механічних властивостей, а і від характеристик, яких набуває тканина в процесі використання – їх зміна може бути

представлена в безрозмірній тривимірній системі координат шляхом деформування; показана можливість кількісної оцінки запасу міцності на різних стадіях експлуатації.

В подальшому, суттєвий науковий інтерес становитимуть дослідження з визначення впливу форми шляху деформування на міцність тканини із врахуванням лінійності або нелінійності накопичення пошкоджень на різних стадіях як виготовлення, так і експлуатації. Дані результати можуть бути використані для створення тканин із прогнозованими властивостями, – особливо це має значення для екстремальних умов їх експлуатації (дія шкідливих хімічних сполук, високих температур, великих значень розривних навантажень та ін.).

### Література

1. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В. А. – Киев : Вища шк., 1983. – 175 с.
2. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування : монографія / О. В. Нахайчук, О. О. Розенберг, В. А. Огородніков, А. Д. Крицький, В. В. Мельниченко, С. Ф. Студенець. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 158 с.
3. Нахайчук О. В. Оценка граничного формообразования заготовок при сложном нагружении / О. В. Нахайчук // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2012. – Випуск 10. – С. 23–26.
4. Бузов Б. А. Материаловедение швейного производства / Бузов Б. А. – М. : Легпромгостиздат, 1986. – 424 с.
5. Кукин Г. Н. Текстильное материаловедение / Г. Н. Кукин, О. Н. Соловйов, А. И. Кобляков. – М. : Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.
6. Крилик Л. В. Обчислювальна математика. Інтерполяція та апроксимація табличних даних : навчальний посібник / Л. В. Крилик, І. В. Богач, М. О. Прокопова. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 111 с.

### References

1. Ogorodnikov V. A. Ocenka deformiruemosti metallov pri obrabotke davleniem / Ogorodnikov V. A. – Kiev : Vishha shk., 1983. – 175 s.
2. Novi tekhnolohichni protsesy z vykorystanniam prohresyvykh metodiv plastychnoho deformuvannia : monohrafiia / O. V. Nakhaichuk, O. O. Rozenberh, V. A. Ohorodnikov, A. D. Krytskyi, V. V. Melnychenko, S. F. Studenets. – Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia, 2008. – 158 s.
3. Nahajchuk O. V. Ocenka granichnogo formoobrazovaniia zagotovok pri slozhnom nagruzhennii / O. V. Nahajchuk // Zbirnik naukovih prac' Vinnic'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. Serija: Tehnichni nauki. – 2012. – Vipusk 10. – S. 23–26.
4. Buzov B. A. Materialovedenie shvejnogo proizvodstva / Buzov B. A. – M. : Legpromgostizdat, 1986. – 424 s.
5. Kukin G. N. Tekstil'noe materialovedenie / G. N. Kukin, O. N. Solovjov, A. I. Kobljakov. – M. : Legprombytizdat, 1992. – 272 s.
6. Krylyk L. V. Obchysliuvalna matematyka. Interpoliatsiia ta aproksymatsiia tablychnykh danykh : navchalnyi posibnyk / L. V. Krylyk, I. V. Bohach, M. O. Prokopova. – Vinnytsia : VNTU, 2013. – 111 s.

Рецензія/Peer review : 21.3.2019 р.

Надрукована/Printed : 10.4.2019 р.

Рецензент: к. ф-м. н., доцент Шньорко В. М.