

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НИТКОВИХ З'ЄДНУВАНЬ ДЕТАЛЕЙ ОДЯГУ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОГО СПОРТИВНОГО ФЕХТУВАННЯ

Харченко Ю. М., Білоцька Л. Б.

Об'єктом поданого дослідження є технологічний процес виготовлення одягу для професійного спортивного фехтування. Предметом дослідження є якість ниткових з'єднувань, які регламентуються технічними вимогами та вимагають особливої уваги під час проектування асортименту одягу для спортсменів-фехтувальників.

Методологія дослідження спирається на аналіз наукової літератури, вимірювання механічних властивостей та моделювання технологічних параметрів ниткових з'єднувань деталей фехтувального одягу. З метою визначення впливу кількості стібків на розривальне зусилля та повздовжню деформацію ниткових з'єднувань одягу для фехтування застосовано математичне моделювання технологічного процесу виготовлення з використанням методу планування експерименту. Вибір плану експерименту пов'язаний з визначенням числа експериментальних точок і такого розміщення їх у факторному просторі, який дозволить при порівняно невеликій кількості дослідів отримати необхідну інформацію для прийняття рішення. У ході дослідження застосовано методи визначення розривального зусилля та повздовжньої деформації швів. Особливістю дослідження є визначення раціональних технологічних параметрів ниткових з'єднувань за умови збереження необхідної межі міцності та визначеного рівня повздовжньої деформації. Раціональними параметрами кількості стібків в шишально-обметувальній та оздоблювальній строчках настрочного шва для досліджуваних матеріалів фехтувального одягу пропонуються такі, за яких розривальне зусилля шва ≥ 970 Н, а повздовжня деформація не перевищує $\pm 2,0$ %, а саме: $t-(5,0\div 6,5)$ стібків/10 мм, $h-(3,0\div 3,5)$ стібків/10 мм.

Отримані результати доводять можливість застосування методів математичного моделювання для прогнозування якості ниткових з'єднувань деталей одягу для професійного спортивного фехтування. Даний підхід має практичну значущість та може бути застосований як на етапі проектування технології виготовлення одягу під час вибору режимів обробки нових матеріалів, так і на етапі виготовлення та контролю якості виконаних операцій.

Ключові слова: фехтувальний одяг, якість ниткових з'єднувань, міцність швів, деформація швів, контроль якості.

1. Вступ

Змагальна діяльність та рухова структура техніко-тактичних дій спортсменів-фехтувальників вимагає певних фізичних, психологічних та інтелектуальних здібностей та навичок [1, 2]. Тренування швидкості та витривалості становить основу фізичної підготовки фехтувальника [3, 4]. Основним засобом індивідуального захисту спортсменів-фехтувальників від можливого травматичного впливу зброї під час проведення поєдинків є одяг [5]. При жорсткому дотриманні та виконанні заходів безпеки та контролю, які передбачено правилами [6, 7] щодо зброї, спорядження та одягу, фехтувальники практично звільнені від небезпеки сильних больових відчуттів та силового протистояння. Однак невідповідність лінійних розмірів одягу розмірам поверхні тіла фехтувальника під час спортивних рухів призводить до виникнення напружень на окремих ділянках одягу та сприяє розриванню швів.

Питання забезпечення якості ниткових з'єднувань під час проектування асортименту фехтувального одягу стає особливо актуальним під час вибору конструктивно-технологічних рішень у залежності від властивостей застосованих матеріалів і характеристик обладнання. Після вибору режимів обробки та налаштування відповідного обладнання необхідний жорст-

кий контроль якості виконання операцій щодо граничних відхилень від номінальних розмірів готових виробів. Відмінності у розмірах при задовільній якості обробки не повинні перевищувати діапазон припустимих відхилень або допусків, що є умовою для забезпечення відповідності одягу розмірній та повнотно-віковій групі, а також так званих «захисних зон».

Відомо, що забезпеченню основних функцій фехтувального одягу більш сприяє застосування трикотажних полотен, сутність розробки яких спрямована на покращення (окрім захисних) експлуатаційних та технологічних показників [8, 9]. Утім, при зшиванні деталей із синтетичних матеріалів, до яких відносяться і трикотажні полотна для виготовлення фехтувального одягу, спостерігається деформація матеріалу вздовж лінії швів, особливо при з'єднуванні деталей з криволінійними контурами. Тому, *об'єктом даного дослідження* є технологічний процес виготовлення одягу для професійного спортивного фехтування. *Метою дослідження* є розробка рекомендацій щодо вибору раціональних технологічних параметрів ниткових з'єднувань фехтувального одягу за умови збереження досягнутої межі міцності та визначеного рівня повздовжньої деформації, яка не перевищує допустимі відхилення основних вимірів згідно таблицю мір.

2. Методика проведення досліджень

Аналіз наукових публікацій демонструє, що вимоги, які висуваються до ниткових з'єднувань, залежать найперше від виду та призначення одягу, а їх якість є комплексним показником, який охоплює естетичні, експлуатаційні, механічні та економічні групи властивостей [10, 11].

Зазвичай для отримання ниткових з'єднувань із наперед визначеними властивостями дослідниками вирішувались складні багатофакторні завдання з метою встановлення оптимальних технологічних режимів їх виконання [12].

Найбільш детально фактори, які впливають на якість ниткових з'єднувань, розглянуто в роботах [13, 14] та розділено на угруповання:

- за видом переплетення та структурою стібка;
- за видом та властивостями з'єднуваних матеріалів;
- за видом та властивостями швейних ниток;
- за технологічними режимами виготовлення (кількість стібків, натяг швейних ниток, швидкість зшивання, діаметр швейної голки, тиск лапки на матеріал);
- за параметрами шва (кількість з'єднуваних шарів матеріалу, ширина шва, число ниткових строчок, товщина шва).

Для оцінки показників якості ниткових з'єднувань зазвичай застосовують органолептичний, вимірювальний, реєстраційний та розрахунковий методи [15]. Під час прогнозування рівня якості ниткових з'єднувань переважною більшістю науковців досліджено вплив того чи іншого фактору на розривальне зусилля та видовження на момент розірвання [12–14]. Рядом авторів у [12, 14] встановлено, що на міцність швів мають вплив:

- пошкодження, які спричинені неправильно підібраними режимами роботи механізму транспортування;
- натягнення швейних ниток волого-тепловою обробкою чи розташуванням швів відносно ниток основи та утоку застосованих матеріалів з'єднуваних деталей виробу.

Можливість удосконалення відомих раніше розрахункових методів з'явилась на основі виконаних авторами у поглиблених досліджень міцності ниткових петель [16–18]. Отримані авторами робіт [19, 20] геометричні моделі залежності оптимізуючих факторів від параметрів процесу ниткового з'єднування дозволяють обирати режими, які забезпечують очікувані властивості шва та можуть бути застосовані як операційні карти. Як відомо, моделювання процесу з'єднування деталей швейних виробів за допомогою класичних методів математичного моделювання є досить складним через необхідність врахування великої кількості факторів та встановленням кількісних взаємозв'язків, які визначатимуть очікувану якість виробів в цілому [21, 22].

З метою визначення впливу кількості стібків на 10 мм строчки на розривальне зусилля та повздовжню деформацію ниткових з'єднувань одягу для фехтування авторами застосовано математичне моделювання технологічного процесу виготовлення настрочного шва крокових зрізів штанів з використанням методу планування експерименту. Для досягнення сформульованої мети застосовано методи визначення розривального зусилля та повздовжньої деформації швів.

3. Результати досліджень та обговорення

Враховуючи той факт, що для математичного опису об'єкту дослідження з потрібною точністю лінійного наближення недостатньо, авторами застосовано ротатабельне планування другого порядку (план Бокса) [23]. У якості критеріїв оптимізації обрано розривальне зусилля ниткового з'єднання (y_1), факторів – кількість стібків на 10 мм зшивально-обметувальної строчки (x_1 – код стібка 401.504) та кількість стібків на 10 мм оздоблювальної строчки (x_2 – код стібка 301). Використовуючи алгоритм дій за планом Бокса побудовано робочу матрицю (табл. 1, 2), після реалізації якої встановлено необхідні експериментальні дані.

Таблиця 1

Значення рівнів факторів та кроків варіювання

Фактори	Рівні варіювання					Кроки варіювання
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	
x_1	3,5	4,1	5,5	6,9	7,5	1,4
x_2	2,7	2,8	3,3	3,8	4,0	0,5

Таблиця 2

Матриця планування та результати експерименту

Номер досліджу	Матриця планування		Робоча матриця		Розривальне зусилля шва P, H	Повздовжня деформація швів $D, \%$
	x_1	x_2	t	h		
1	+	+	6,9	3,8	1052,0	4,5
2	-	+	4,1	3,8	1001,5	-0,5
3	+	-	6,9	2,8	948,0	3,0
4	-	-	4,1	2,8	929,2	-1,0
5	-1,414	0	3,5	3,3	956,7	-1,5
6	+1,414	0	7,5	3,3	987,5	6,0
7	0	-1,414	5,5	2,7	937,2	0,1
8	0	+1,414	5,5	4,0	1068,0	1,0
9	0	0	5,5	3,3	982,5	0,5
10	0	0	5,5	3,3	982,5	0,6
11	0	0	5,5	3,3	983,5	0,6
12	0	0	5,5	3,3	983,0	0,5
13	0	0	5,5	3,3	980,2	0,5

Для визначення розривального зусилля та повздовжньої деформації підготовлено проби трикотажного полотна торговельної марки «StM» (м. Київ, Україна), яке застосовується для виготовлення фехтувального одягу 2-го рівня захисту. Виготовлення проб проведено з урахуванням напрямку розташування петельних стовпчиків та рядів у з'єднаних деталях крокового шва штанів та із застосуванням одного і того ж швейного обладнання. Кількість паралельних дослідів $m=4$.

Для повного факторного експерименту обраного типу рівняння регресії відповідає залежності:

$$y(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2, \quad (1)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти рівняння регресії.

Обробку результатів експерименту проведено за допомогою програмного забезпечення Mathcad та однорідність дисперсій перевірено за допомогою критерію Кохрена (при рівні значущості $q=0,05$). При цьому умова $G_T > G_P$ виконується ($0,2880 > 0,2453$). Отже, процес відтворюваний. За результатами розрахунків розроблено математичну модель залежності розривального зусилля від кількості стібків у зшивально-обметувальній та оздоблювальній строчках, яка описується рівнянням регресії у кодованому вигляді:

$$y_1(x_1, x_2) = 982,588 + 14,091 \cdot x_1 + 45,141 \cdot x_2 + 7,938 \cdot x_1 \cdot x_2 - 7,265 \cdot x_1^2 + 7,982 \cdot x_2^2. \quad (2)$$

Рівняння регресії для натуральних факторів набуває виду:

$$f_1(t, h) = 1070,68 + 13,412 \cdot t - 182,798 \cdot h + 11,339 \cdot h \cdot t - 3,706 \cdot t^2 + 31,926 \cdot h^2, \quad (3)$$

де f_1 – розривальне зусилля шва P, H ; t – кількість стібків у зшивально-обметувальній строчці; h – кількість стібків в оздоблювальній строчці.

Рівняння регресії, яке отримано шляхом апроксимації даних, адекватно описує залежність, яку наведено вище (перевірено за допомогою критерія Фішера). Табличне значення критерію Фішера $F_T=2,34$. Розрахункове значення не перевищує табличне $F_T > F_P$, тобто $2,34 > 1,58$ – модель адекватна.

Аналогічний підхід було використано для отримання рівнянь, які описують залежність повздовжньої деформації швів y_2 від кількості стібків у зшивально-обметувальній та оздоблювальній строчках при тих же параметрах:

– для кодованих значень факторів:

$$y_2(x_1, x_2) = 0,550 + 2,467 \cdot x_1 + 0,405 \cdot x_2 + 0,263 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,887 \cdot x_1^2, \quad (4)$$

– для натуральних значень факторів:

$$f_2(t, h) = 8,684 - 4,458 \cdot t - 1,253 \cdot h + 0,375 \cdot ht + 0,453 \cdot t^2, \quad (5)$$

де f_2 – повздовжня деформація швів, %; t – кількість стібків у зшивально-обметувальній строчці; h – кількість стібків в оздоблювальній строчці.

При цьому, процес є відтворюваним: $G_T > G_P$ ($0,2880 > 0,1142$) та підтверджується адекватністю моделі $F_T > F_P$, тобто $2,34 > 2,31$.

За отриманими рівняннями регресії побудовано поверхні відгуку розроблених моделей залежності розривального зусилля та повздовжньої деформації шва від кількості стібків у строчках, що утворюють кроковий шов штанів (рис. 1, 2).

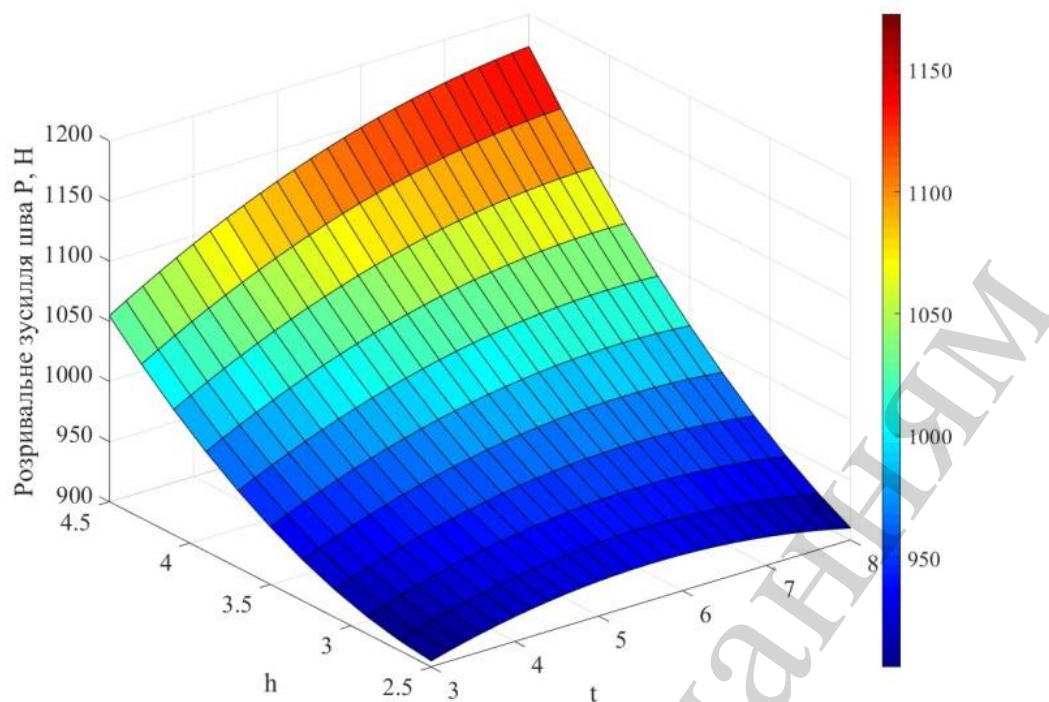


Рис. 1. Діаграма залежності розривального зусилля шва від кількості стібків у строчках

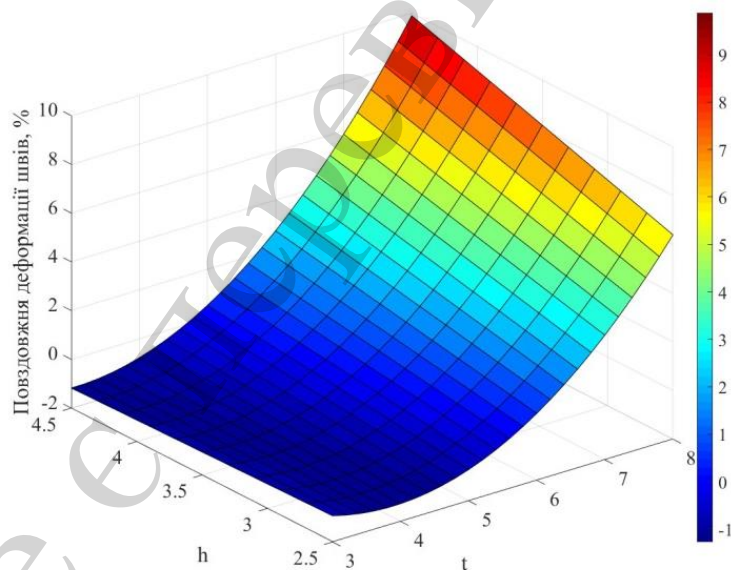


Рис. 2. Діаграма залежності повздовжньої деформації шва від кількості стібків у строчках

Отримані математичні моделі наглядно демонструють, що збільшення кількості стібків, як у зшивально-обметувальній строчці (t), так і в оздоблювальній (h) призводить до підвищення розривального зусилля шва. Але така тенденція покращення міцності супроводжується зростанням величини повздовжньої деформації швів, а на певному етапі – прорубуванням трикотажних полотен, що в кінцевому результаті веде до втрати міцності.

Встановлено, що значущим фактором впливу на розривальне зусилля досліджуваних швів є кількість стібків у оздоблювальній строчці, тоді як на повздовжню деформацію швів при таких самі параметрах шва більше впливає кількість стібків у зшивально-обметувальній строчці.

Для вибору оптимальних параметрів основним критерієм оптимізації залишається розривальне зусилля ниткового з'єднання, нормативний рівень якого становить ≥ 970 Н.

Оскільки частота стібка в оздоблювальній строчці регламентується технічною документацією та знаходиться в межах $(3,0 \div 3,5)$ стібків на 10 мм, доцільним є визначення величин параметрів строчок (t, h) , при яких повздовжня деформація (5) відповідатиме нульовому рівню.

За умови $h = \text{const} = 3,3$ визначено два значення кількості стібків t_0 , за якого повздовжня деформація (5) дорівнює нулю: $t_{01} = 1,9$ та $t_{02} = 5,2$.

Методом підставлення параметрів t_{01} та t_{02} у рівняння залежності розривального зусилля від кількості стібків (4), отримуємо:

1) $h = \text{const} = 3,3$; $t_{01} = 1,9$: $f_1(t, h) = 900$ Н;

2) $h = \text{const} = 3,3$; $t_{02} = 5,2$: $f_1(t, h) = 979$ Н.

Оскільки, величина граничної міцності становить ≥ 970 Н, параметри строчки за першим варіантом не задовольняють визначену умову міцності шва.

При $h = 3,3$ та $t_{02} = 5,2$ міцність шва відповідає вимогам і такі параметри можуть бути рекомендовані як оптимальні.

Проте, домогтися точного дотримання зазначених параметрів строчки при технологічному рівні сучасного обладнання практично неможливо. Доцільно встановити раціональні параметри швів, які б задовольняли умовам міцності шва та допустимим відхиленням основних вимірів згідно табелю мір. Раціональними параметрами кількості стібків в строчках для досліджуваних матеріалів пропонуються такі, при яких розривальне зусилля шва відповідає ≥ 970 Н, а повздовжня деформація не перевищує $\pm 2,0$ %.

Використовуючи зазначений вище алгоритм визначення параметрів шва, за рівнянням (5) визначаємо кількість стібків t при $h = \text{const} = 3,3$ та рівню деформації 2,0 %: $t_1 = 0,9$ та $t_2 = 6,2$.

4. Висновки

У ході дослідження раціональними параметрами кількості стібків у зшивально-обметувальній та оздоблювальній строчках настроюваного шва для досліджуваних матеріалів фехтувального одягу пропонуються такі, за яких розривальне зусилля шва ≥ 970 Н, а повздовжня деформація не перевищує $\pm 2,0$ %, а саме: $t - (5,0 \div 6,5)$ стібків/10 мм, $h - (3,0 \div 3,5)$ стібків/10 мм.

Отримані результати доводять можливість застосування методів математичного моделювання для прогнозування якості ниткових з'єднань деталей одягу для професійного спортивного фехтування. Даний підхід має практичну значущість та може бути застосований як на етапі проектування технології виготовлення одягу для професійного спортивного фехтування під час вибору режимів обробки нових матеріалів, так і на етапі виготовлення та контролю якості виконаних операцій.

Подяка

Робота проводилася у співпраці з швейно-трикотажним підприємством торговельної марки «StM» (м. Київ, Україна), яке спеціалізується на виготовленні одягу для професійного спортивного фехтування. Особиста подяка за надання матеріалів та можливості застосування необхідного для проведення досліджень обладнання автори висловлюють директору Донцю Ігорю Миколайовичу.

References

1. Chen, T. L.-W., Wong, D. W.-C., Wang, Y., Ren, S., Yan, F., Zhang, M. (2017). Biomechanics of fencing sport: A scoping review. *PLOS ONE*, 12 (2), e0171578. doi: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0171578>
2. Frère, J., Göpfert, B., Nüesch, C., Huber, C., Fischer, M., Wirz, D., Friederich, N. F. (2010). Kinematical and EMG-Classifications of a Fencing Attack. *International Journal of Sports Medicine*, 32 (1), 28–34. doi: <http://doi.org/10.1055/s-0030-1267199>

3. Laputin, A. M., Hamalii, V. V., Arkhyrov, O. A. et. al. (2005). *Biomekhanika sportu*. Kyiv: Olimpiiska literatura, 320.
4. Wylde, J. M., Tan, F. H. Y., O'Donoghue, G. P. (2013). A time-motion analysis of elite women's foil fencing. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13 (2), 365–376. doi: <http://doi.org/10.1080/24748668.2013.11868654>
5. *Mezhdunarodnye pravila provedeniia sorevnovanii po fekhrovaniiu*. Available at: <http://nffu.org.ua>
6. Roi, G. S., Bianchedi, D. (2008). The science of fencing: Implications for performance and injury prevention. *Sports Medicine*, 38 (6), 465–481. doi: <http://doi.org/10.2165/00007256-200838060-00003>
7. Barth, B. (2006). *The Complete Guide to Fencing*. Meyer & Meyer Verlag.
8. Kharchenko, Yu. M., Dmytrenko, L. A., Bilotska, L. B., Statsenko, V. V., Ocheretna, L. V. (2016). Research of shape stability of the knitted fabric for fencing clothing under dynamic and static loads. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (3 (31)), 38–46. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.81202>
9. Beskin, N., Galavska, L. (2014). Research of knit for fencing suits on resistance against perforation. Book of Proceedings. *47th International Congress IFKT*. Izmir, 50–54.
10. Gurarda, A. (2019). Seam Performance of Garments. *Textile Manufacturing Processes*. doi: <http://doi.org/10.5772/intechopen.86436>
11. Song, G. (Ed.) (2011). *Improving Comfort in Clothing*. Woodhead Publishing, 496. doi: <http://doi.org/10.1533/9780857090645>
12. Koketkin, P. P., Safronova, I. V., Kochegura, T. N. (1989). *Puti uluchsheniia kachestva izgotovleniia odezhdy*. Moscow: Legprombytizdat, 240.
13. Gurarda, A., Meric, B. (2005). Sewing Needle Penetration Forces and Elastane Fiber Damage during the Sewing of Cotton/Elastane Woven Fabrics. *Textile Research Journal*, 75 (8), 628–633. doi: <http://doi.org/10.1177/0040517505057640>
14. Rajput, B., Kakde, M., Gulhane, S., Mohite, S., Raichurkar, P. P. (2018). Effect of sewing parameters on seam strength and seam efficiency. *Trends in Textile Engineering and Fashion Technology*, 4 (1), 4–5. doi: <http://doi.org/10.31031/tteft.2018.04.000577>
15. Bubonia, J. E. (2014). *Apparel Quality*. Fairchild Books, 350. doi: <http://doi.org/10.5040/9781501303265>
16. Pozdniakov, B. P. (1933). *Raschet prochnosti shvov*. Moscow: Gizlegprom, 100.
17. Bedenko, V. E., Polushkin, A. A. (2003). Raschetnyi metod prognozirovaniya prochnosti nitochnykh soedinenii. *Tekhnicheskii tekstil*, 7. Available at: <http://rustm.net/catalog/article/556.html>
18. Bedenko, V. E., Polushkin, A. A. (2003). Prochnost petel na razryv. *Tekhnicheskii tekstil*, 6. Available at: <http://rustm.net/catalog/article/631.html>
19. Levkov, K. L., Figovskii, O. V. (2012). Innovatsionnyi protsess i innovatsionnyi inzhener. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2, 787–799.
20. Chizhik, M. A., Volkov, V. Ia. (2012). Graficheskie optimizatsionnye modeli mnogoparametricheskikh tekhnologicheskikh protsessov legkoi promyshlennosti. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2, 87–94.
21. Slizkov, A. M., Shcherban, V. V., Krasnytskyi, S. M. et. al. (2013). *Prohnozuvannia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei tekstylnykh materialiv pobutovoho pryznachennia*. Kyiv: KNUTD, 223.
22. Bilotska, L. B., Bilei-Ruban, N. V. (2006). Zastosuvannia matematychnykh modelei pry rozviazanni zadach optymizatsii protsesiv shveinoho vyrobnytstva. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 3, 7–9.
23. Tikhomirov, V. B. (1974). *Planirovanie i analiz eksperimenta (pri provedenii issledovanii v legkoi i tekstilnoi promyshlennosti)*. Moscow: Legkaia industriia, 262.