

Харченко Ю.М., наук. співробітник, аспірант, Білоцька Л.Б., к.т.н., доц., Садретдінова Н.В., к.т.н., доц., Ляшенко М.А., студент, Мироненко Е.О., студент Київський національний університет технологій та дизайну

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ НИТКОВИХ З'ЄДНУВАНЬ ДЕТАЛЕЙ ОДЯГУ ДЛЯ СПОРТИВНОГО ФЕХТУВАННЯ

Анотація. 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. Для досягнення сформульованої мети 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 шивально-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/10мм, $h-(3,0 \div 3,5)$ 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.

Kharchenko J., Bilotska L., Sadretdinova N., Liashenko M., Myronenko E.

Kyiv National University of Technologies and Design

PREDICT THE QUALITY OF KNITTED JOINTS OF CLOTHING PARTS FOR SPORTS FENCING

Abstract. The object of the presented research is the technological process of manufacturing clothes for professional sports fencing. The subject of research is the quality of the knitted joints, which are regulated by technical requirements and require special attention when designing an assortment of clothes for fencing athletes. The research methodology is based on the analysis of scientific literature, measurement of mechanical properties and modeling of technological parameters of knitted joints of fencing clothes. In order to determine the effect of the number of stitches on the breaking strength and the longitudinal deformation of the knitted joints of fencing clothes, mathematical modeling of the manufacturing process using the experimental design method is used. The choice of the experimental design is associated with determining the number of experimental points and their placement in the factor space, which will make it possible to obtain the necessary information for making a

decision with a relatively small number of experiments. During the study, methods were used to determine the breaking strength and extended deformation of the joints. A feature of the study is the determination of rational technological parameters of the knitted joints while maintaining the necessary tensile strength and a certain level of longitudinal deformation. The rational parameters of the number of stitches in the seam-sewn and finishing stitching lines for the studied materials of fencing clothes are those for which the tensile strength of the seam is ≥ 970 N and the longitudinal deformation does not exceed $\pm 2.0\%$, namely: $t-(5.0\div 6.5)$ stitches/10 mm, $h-(3.0\div 3.5)$ stitches/10 mm. The obtained results prove the possibility of using mathematical modeling methods to predict the quality of knitted joints of clothing parts for professional sports fencing. This approach is of practical importance and can be applied both at the stage of designing the technology of manufacturing clothes for professional sports fencing when choosing processing modes for new materials, and at the stage of manufacturing and quality control of performed operations.

Keywords: *fencing clothes; knitted joints quality; seam strength; seam deformation; quality control.*

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/ірванню 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 жорсткий 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 застосовування 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. *А метою дослідження* – 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.

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'єднаних 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'єднаних 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 розривання [12–14]. Рядом авторів [12, 14] встановлено, що на міцність швів мають вплив пошкодження, які спричинені неправильно підібраними режимами роботи механізму транспортування, натягу швейних ниток, волого-теплової обробки чи розташуванням швів відносно ниток основи та утоку застосованих матеріалів з'єднаних 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'єднання дозволяють обирати режими, які забезпечують очікувані властивості шва та можуть бути застосовані як операційні карти.

Як відомо, моделювання процесу з'єднання 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.

Результати досліджень та обговорення. Враховуючи той факт, що для математичного опису об'єкту дослідження з потрібною точністю лінійного наближення недостатньо, авторами застосовано ротатбельне 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. 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 $m = 4$.

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

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:

$$y_1(x_1, x_2) = 982,5885 + 14,0913 \cdot x_1 + 45,1413 \cdot x_2 + 7,9375 \cdot x_1 \cdot x_2 - 7,2638 \cdot x_1^2 + 7,9816 \cdot x_2^2. \quad (2)$$

Таблиця 2

Матриця планування та результати експерименту

Номер дослідів	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

Рівняння регресії для натуральних факторів набуває виду:

$$f_1(t, h) = 1070,68 + 13,4118 \cdot t - 182,798 \cdot h + 11,3393 \cdot h \cdot t - 3,70602 \cdot t^2 + 31,9264 \cdot h^2, \quad (3)$$

де f_1 – розривальне зусилля шва P , Н;
 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:

$$y_2(x_1, x_2) = 0,5503 + 2,4675 \cdot x_1 + 0,405 \cdot x_2 + 0,2625 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,8873 \cdot x_1^2, \quad (4)$$

– для натуральних значень факторів:

$$f_2(t, h) = 8,6841 - 4,45474 \cdot t - 1,2525 \cdot h + 0,375 \cdot ht + 0,452704 \cdot t^2, \quad (5)$$

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 адекватність 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). 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.

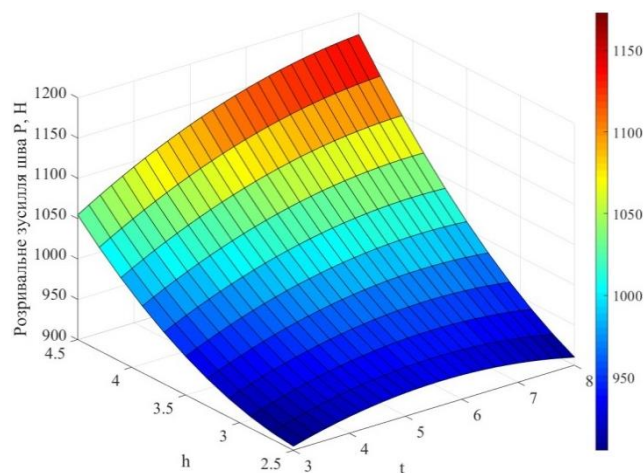


Рис. 1. Діаграма залежності розривального зусилля шва від кількості стібків у строчках

Встановлено, що значущим фактором впливу на розривальне зусилля досліджуваних швів є кількість стібків у оздоблювальній строчці, тоді як на повздовжню

деформацію швів при таких саме параметрах шва більше впливає кількість стібків у зшивально-обметувальній строчці.

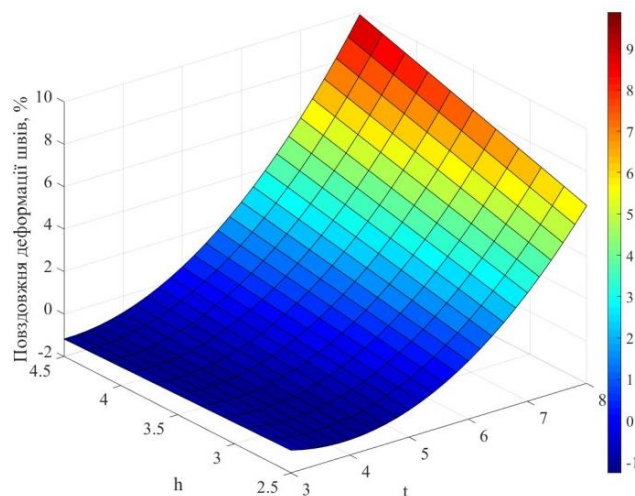


Рис. 2. Діаграма залежності повздовжньої деформації шва від кількості стібків у строчках

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 та 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 пропонується 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 $t_2 = 6,2$.

Висновки. Раціональними параметрами кількості стібків у зшивально-обметувальній та оздоблювальній строчках настроюваного шва для досліджуваних матеріалів фехтувального одягу пропонується 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/10мм, $h-(3,0 \div 3,5)$ 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 для професійного спортивного фехтування під час вибору режимів обробки нових матеріалів, так і на етапі виготовлення та контролю якості виконаних операцій.

Список використаної літератури

1. Tony Lin-Wei Chen, Duo Wai-Chi Wong, Yan Wang, Sicong Ren, Fei Yan, Ming Zhang (2017). Biomechanics of fencing sport: A scoping review. PLoS One, 12(2): e0171578. Published online 2017 Feb 10. doi: 10.1371/journal.pone.0171578.
2. Frère, J., Göpfert, B., Nüesch, C., Huber, C., Fischer, M., Wirz, D., Friederich, N.F. (2011). Kinematical and EMG-classifications of a fencing attack, Jan; 32(1): 28–34. doi:10.1055/s-0030-1267199. Epub 2010 Nov 17.
3. Біомеханіка спорту: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів з фізичного виховання і спорту / А. М. Лапутін, В. В. Гамалій, О. А. Архипов та ін. – Київ: Олімпійська література, 2005. – 320 с.
4. Wylde, Matthew & Tan, Frankie & O'Donoghue, Peter (2013). A time-motion analysis of elite women's foil fencing. International Journal of Performance Analysis in Sport. doi: 10.1080/24748668.2013.11868654.
5. Международные правила проведения соревнований по фехтованию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nffu.org.ua>.
6. Roi, G.S., Bianchedi, D. (2008). The science of fencing: Implications for performance and injury prevention. Sports Med, 38: 465–481.
7. Barth, B. (2006). The Complete Guide to Fencing. Meyer & Meyer Verlag.
8. Харченко Ю. М. Дослідження формостійкості трикотажного полотна для фехтувального одягу при статичних та динамічних навантаженнях / Ю. М. Харченко, Л. А. Дмитренко, Л. Б. Білоцька, В. В. Стаценко, Л. В. Очеретна // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – № 5/3 (31). – С. 38–46.
9. Beskin, N., Galavska, L. (2014). Research of knit for fencing suits on resistance against perforation. Book of Proceedings. 47th International Congress IFKT, Izmir, Turkey, 25–26 September, 2014. Izmir, 2014. P. 50–54.
10. Seam Performance of Garments. By Ayca Gurarda Submitted. Retrieved from: <https://api.intechopen.com/chapter/pdf-preview/67275>.
11. Song, G. (2011). Improving Comfort in Clothing. USA: Woodhead Publishing. 459 p.
12. Кокеткин П. П. Пути улучшения качества изготовления одежды / П. П. Кокеткин, И. В. Сафронова, Т. Н. Кочегура. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 240 с.
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: 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:10.31031/TTEFT.2018.04.000577.
15. Bubonia, J.E. (2014). Apparel Quality. USA: Fairchild Books. 232 p.
16. Расчет прочности швов / Б. П. Поздняков. – М.: Гизлегпром, 1933. – 100 с.
17. COATS. Общие советы по техническим вопросам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.coatsindustrial.com/ru/services-solutions/technical-services>.
18. Прочность петель на разрыв [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rustm.net/catalog/article/631.html>.
19. Левков К. Л. Инновационный процесс и инновационный инженер / К. Л. Левков, О. В. Фиговский // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 2.
20. Чижик М. А. Графические оптимизационные модели многопараметрических технологических процессов легкой промышленности / М. А. Чижик, В. Я. Волков // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 2 (том 21).
21. Прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів побутового призначення: монографія / А. М. Слізков, В. В. Щербань, С. М. Краснитський та ін. – К.: КНУТД, 2013. – 223 с.
22. Білоцька Л. Б. Застосування математичних моделей при розв'язанні задач оптимізації процесів швейного виробництва / Л. Б. Білоцька, Н. В. Білей-Рубан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 3. – С. 7–9.
23. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / В. Б. Тихомиров. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.