УДК 677.024
DOI 10.47367/0021-3497_2025_5_219

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫРАБОТКИ ТКАНИ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS FOR MANUFACTURING FABRIC FOR SPECIAL CLOTHING

В.Ю. РОМАНОВ[1], С.Ю. БОЙКО[1], Л.Б. ТРИФОНОВА[1], И.С. МАРТЫНОВ[2]

V.YU. ROMANOV[1], S.YU. BOYKO[1], L.B. TRIFONOVA[1], I.S. MARTYNOV[2]

**([1]Волгоградский государственный технический университет,
[2]Волгоградский государственный аграрный университет)**

**([1]Volgograd State Technical University,
[2]Volgograd State Agricultural University)**

E-mail: ttp@kti.ru

Работа посвящена исследованию технологического процесса выработки хлопчатобумажной ткани крепового переплетения для специальной одежды. Ткань должна обладать высокой прочностью, износостойкостью, хорошо держать форму и не растягиваться. В статье представлены результаты по определению оптимальных заправочных параметров ткацкого станка. С целью решения поставленной задачи был проведен эксперимент. Для получения математических моделей использовалась матрица планирования эксперимента Бокс-3. Обработка экспериментальных данных проводилась по стандартной методике. Анализируя математические модели, сделали вывод, что на износостойкость, воздухопроницаемость и разрывную нагрузку ткани наибольшее влияние оказывает плотность ткани по утку, а на разрывную нагрузку по основе – заправочное натяжение нитей основы. С помощью многокритериальной оптимизации определены оптимальные технологические параметры выработки ткани. Эти параметры обеспечивают стабильное протекание технологического процесса ткачества и изготовление ткани с заданными свойствами, а также приводят к улучшению ее эксплуатационных характеристик.

The paper is dedicated to the study of the technological process of producing cotton crepe weave fabric for special clothing. The fabric must possess high strength, wear resistance, maintain its shape well, and not stretch. The article presents results on determining the optimal setting parameters of the loom.

To solve the set task, an experiment was conducted. The Box-3 experimental design matrix was used to obtain mathematical models. The experimental data were processed using standard methods. By analyzing the mathematical models, it was concluded that the density of the fabric in the weft direction has the greatest impact on wear resistance, air permeability, and tear strength of the fabric, while the warp thread tension has the greatest impact on the breaking load in the warp direction.

Using multi-criteria optimization, the optimal technological parameters for fabric production were determined. These parameters ensure stable operation of the weaving process and the production of fabric with the desired properties, as well as improve its operational characteristics.

Ключевые слова: оптимизация, ткачество, ткань для спецодежды, прочность, износостойкость.

Keywords: optimization, weaving, fabric for special clothing, strength, wear resistance.

При изготовлении специальной одежды для защиты от вредных и опасных производственных факторов и неблагоприятных природных условий могут применяться ткани разных переплетений, выработанные как из натуральных волокон, так и из смесей с искусственными или синтетическими волокнами.

В качестве переплетений могут использоваться различные главные переплетения (полотняное, саржевое) и их производные (например, рогожка, креповые и др.).

Креповое переплетение широко используется для производства спецодежды, которая требует высокой прочности, износостойкости и устойчивости к разрывам. Этот тип переплетения обеспечивает плотное и надежное соединение нитей, что делает ткань устойчивой к механическим воздействиям, истиранию и другим повреждениям.

Свойства этой ткани зависят от количества натуральных волокон в составе материала. Обычно к натуральным волокнам добавляют волокна полиэстера или акрила, что значительно повышает потребительские способности материала.

К достоинствам такой ткани можно отнести то, что, кроме прочности и износостойкости, она хорошо держит форму, не растягивается и имеет невысокую стоимость.

Основные свойства ткани зависят от комплекса заправочных параметров, связанных с качеством сырья, типом переплетения, настройками оборудования и условиями производства, поэтому оптимизация этих факторов позволяет создавать ткани с заданными характеристиками.

Проведенный анализ научных работ позволяет сделать вывод об их направленности преимущественно на изучение качественных характеристик различных видов тканей, используемых для изготовления специальной одежды. Основное внимание уделяется изучению физико-механических свойств тканей, их устойчивости к различным воздействиям, а также оптимизации технологических процессов производства.

В нескольких работах акцент сделан на разрывной нагрузке тканей. Например, в [1] исследовано влияние многократных стирок на разрывную нагрузку тканей для спецодежды авторемонтных предприятий и разработана математическая модель для прогнозирования этих изменений. В [2] применена теория подобия для прогнозирования разрывной нагрузки смешанных хлопколавсановых тканей. В [3] предложена технология наноструктурирования суконных материалов с использованием низкотемпературной плазмы для повышения их прочности и удлинения.

Другие исследования касаются потребительских и технических характеристик тканей. Так, в работе [4] проанализированы показатели качества тканей медицинского назначения, такие как воздухопроницаемость, гигроскопичность и стойкость к истиранию. В [5] исследованы показатели качества и безопасности тканей для защитной одежды рабочих металлообрабатывающей промышленности. В работе [6] изучены маслопроницаемость и маслостойкость тканей для спецодежды авторемонтных предприятий. В [7] уделено внимание оптимизации процесса ткачества с уменьшением обрывов нитей основы для повышения производительности ткацких станков, а в [8, 9] – оптимизации процессов выработки петельных и мебельных тканей.

В целом эти работы подчеркивают важность разработки и усовершенствования текстильных материалов и технологий для создания качественной и надежной спецодежды, учитывающей специфические требования различных отраслей.

Объектом исследования в данной работе выбрана хлопчатобумажная ткань крепового переплетения, которая вырабатывалась на бесчелночном ткацком станке типа СТБ.

Критериями оптимизации выбраны такие важные факторы, как: Y_1 – износостойкость ткани, количество циклов; Y_2 – воздухопроницаемость ткани, дм^3/м^2·с; Y_3 – поверхностная плотность ткани, г/м^2; Y_4 – разрывная нагрузка ткани по основе, Н; Y_5 – разрывная нагрузка ткани по утку, Н.

На основании проведенного анализа ранее представленных исследований и практического опыта работы текстильных предприятий, а также с учетом выбранных критериев оптимизации в качестве входных параметров определены следующие величины: X_1 – заправочное натяжение нитей основы, число зарубок на рычаге; X_2 – плотность ткани по утку, н/дм; X_3 – положение скала по высоте относительно уровня грудницы, у.е.

Для получения математической зависимости критериев оптимизации от заправочных параметров ткацкого станка использована матрица планирования эксперимента Бокс-3 [8], так как этот метод особенно полезен в случаях, когда необходимо провести эксперимент с минимальным количеством опытов, но при этом получить максимально информативные результаты.

Для исследуемых факторов определены соответствующие уровни варьирования, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Условия проведения эксперимента	Кодированные значения i-го фактора			Натуральные значения i-го фактора		
	X1	X2	X3	X1, число зарубок на рычаге	X2, н/дм	X3, у.е.
Основной уровень фактора	0	0	0	12	155	0
Интервал варьирования фактора	1	1	1	1	15	5
Верхний уровень фактора	+1	+1	+1	11	170	+5
Нижний уровень фактора	-1	-1	-1	13	140	-5

Значения критериев оптимизации определены по стандартным методикам с использованием следующего оборудования: разрывная машина марки ИР 5074-3, прибор для определения воздухопроницаемости тканей марки ВПТМ-2М, прибор для определения стойкости к истиранию тканей марки ИТ-3М-1, их средние значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

№	Кодированные значения факторов			Средние значения критериев оптимизации				
	X_1	X_2	X_3	Y_1, *циклов*	Y_2, *дм^3/м^2·с*	Y_3, *г/м^2*	Y_4, *Н*	Y_5, *Н*
1	+	+	+	1480	1164	198,8	1883	1765
2	-	+	+	1150	1113	197,6	1667	1928
3	+	-	+	1200	1274	172,2	1587	1118
4	-	-	+	1484	1215	172,3	1653	1018
5	+	+	-	1612	1124	201,6	1210	1680
6	-	+	-	1338	1086	195,1	1623	1890
7	+	-	-	912	1210	175,3	1993	1090
8	-	-	-	1106	1166	169,2	1837	1033
9	+	0	0	1284	1266	191	1793	1825
10	-	0	0	1768	1228	191,3	2020	1563
11	0	+	0	1578	1163	202,3	1950	1748
12	0	-	0	1112	1274	173,6	1260	695
13	0	0	+	1064	1222	194,5	1887	1708
14	0	0	-	1134	1170	187,2	1927	1750

Износостойкость ткани:

$Y_1 = 1342{,}38 – 35{,}8x_1 + 134{,}4x_2 + 27{,}6x_3 + 135{,}3x_1x_2 – 4{,}3x_1x_3 – 123{,}25x_2x_3 + 183{,}63x_1^2 + 2{,}63x_2^2 – 243{,}4x_3^2$.

Воздухопроницаемость ткани:

$Y_2 = 1246{,}3 + 23X_1 – 48{,}90X_2 + 23{,}20X_3 – 1{,}75X_1X_2 + 3{,}50X_1X_3 – 5{,}75X_2X_3 + 0{,}75X_1^2 – 27{,}75X_2^2 – 50{,}25X_3^2$.

Поверхностная плотность ткани:

$Y_3 = 192{,}3 + 1{,}34X_1 + 13{,}3X_2 + 0{,}7X_3 + 0{,}21X_1X_2 – 1{,}44X_1X_3 – 0{,}04X_2X_3 – 1{,}2X_1^2 – 4{,}4X_2^2 – 1{,}5X_3^2$.

Разрывная нагрузка ткани по основе:

$Y_4 = 1868{,}4 – 33{,}4X_1 + 0{,}3X_2 + 8{,}7X_3 – 35{,}9X_1X_2 + 50{,}9X_1X_3 + 163{,}4X_2X_3 + 38{,}1X_1^2 – 263{,}4X_2^2 + 38{,}6X_3^2$.

Разрывная нагрузка ткани по утку:

$Y_5 = 1602{,}4 + 5{,}1X_1 + 406{,}2X_2 + 8{,}9X_3 – 66{,}9X_1X_2 + 11{,}9X_1X_3 + 14{,}4X_2X_3 + 91{,}6X_1^2 – 380{,}9X_2^2 + 126{,}6X_3^2$.

В результате анализа этих математических моделей можно сделать вывод, что наибольшее влияние на износостойкость ткани (Y_1), воздухопроницаемость ткани (Y_2), поверхностную плотность ткани (Y_3), разрывную нагрузку ткани по утку (Y_5) оказывает плотность ткани по утку (фактор X_2), а на разрывную нагрузку ткани по основе (Y_4) наибольшее влияние оказывает заправочное натяжение нитей основы (фактор X_1). Оно же оказывает наименьшее влияние на воздухопроницаемость ткани (Y_2) и разрывную нагрузку ткани по утку (Y_5). Параметр X_3 – положение скала по высоте относительно уровня грудницы – также оказывает наименьшее влияние на износостойкость ткани (Y_1) и поверхностную плотность ткани (Y_3).

В результате многокритериальной оптимизации технологического процесса выработки хлопчатобумажной ткани крепового переплетения на ткацком станке типа СТБ получены следующие оптимальные заправочные параметры: заправочное натяжение нитей основы (X_1), равное 11 зарубкам на рычаге; плотность ткани по утку (X_2), равная 155 нит/дм; положение скала по высоте (вертикали) относительно уровня грудницы (X_3), равное +0,5 у.е., при которых максимальными будут параметры: износостойкость ткани – 1317 циклов; воздухопроницаемость ткани – 1258 дм^3/м^2·с; разрывная нагрузка ткани по основе – 1946,5 Н, разрывная нагрузка ткани по утку – 1789,9 Н, а минимальной – поверхностная плотность ткани, равная 189, 8 г/м^2.

ВЫВОДЫ

В результате эксперимента выявлено, что на значительную часть физико-механических свойств ткани для спецодежды из крепового переплетения наибольшее влияние оказывает плотность ткани по утку. Заправочное натяжение нитей основы наиболее значимо для разрывной нагрузки ткани по основе. Положение скала по высоте оказывает наименьшее влияние на износостойкость и поверхностную плотность ткани.

Полученные оптимальные заправочные параметры выработки ткани из крепового переплетения позволят повысить качество и надежность специальной одежды, а также снизить затраты на ее производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кащеев О.В., Шустов Ю.С.* Прогнозирование разрывной нагрузки хлопколавсановой ткани различного процентного содержания // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 60…62.

2. *Ефанов Е.Д., Шустов Ю.С.* Прогнозирование разрывной нагрузки тканей для спецодежды после многократных стирок // Дизайн и технологии. 2020. № 79 (121). С. 59…62.

3. *Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова В.В.* Исследование показателей прочности и удлинения суконной ткани для спецодежды при модификации ее поверхности низкотемпературной плазмой // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 5 (413). С. 95…101.

4. *Виноградова Н.А., Плеханова С.В.* Сравнительный анализ показателей физико-механических свойств тканей специального назначения // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Т. 10. № 1-1. С. 32…37.

5. *Давыдов А.Ф., Гончаров К.В.* Выбор номенклатуры показателей и исследование свойств материалов для защитной одежды от общих производственных загрязнений (в металлообрабатывающей промышленности) // Дизайн и технологии. 2023. № 96 (138). С. 69…76.

6. *Ефанов Е.Д., Шустов Ю.С.* Исследование изменений специализированных показателей качества

тканей для специальной одежды работников авторемонтных предприятий в процессе эксплуатации // Инновации и инвестиции. 2021. № 4. С. 166…171.

7. *Муродхожаева К.Б., Садикова Н.Р.* Оптимизация процесса формирования специальной ткани для одежды строителей на ткацком станке // Universum: технические науки. 2025. № 2 (131). С. 124…128.

8. *Романов В.Ю., Бойко С.Ю., Трифонова Л.Б.* Оптимизация технологического процесса выработки ткани для обивки мебели // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2 (410). С. 124…128.

9. *Романов В.Ю., Бойко С.Ю.* Разработка оптимальных технологических параметров выработки петельной ткани с максимальной выносливостью к многократному растяжению нитей основы // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5 (395). С. 116…121. – DOI: 10.47367/0021-3497_2021_5_116.

REFERENCES

1. *Kashcheev O.V., Shustov Yu.S.* Prediction of breaking load of various percentage cotton avsan fabric // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). pp. 60…62.

2. *Efanov E.D., Shustov Yu.S.* Predicting the breaking load of fabrics for workwear after reapeated washings // Design and technologies. 2020. No. 79 (121). pp. 59…62.

3. *Gainutdinov R.F., Khammatova V.V.* Study of strength and elongation indicators of woven fabric for special clothing by modifying its surface with low-temperature plasma // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 5 (413). pp. 95…101.

4. *Vinogradova N.A., Plekhanova S.V.* Comparative analysis of indicators of physical and mechanical properties of fabrics of special purpose // Economics: Yesterday, Today and Tomorrow. 2020. Vol. 10, No. 1-1. pp. 32…37.

5. *Davydov A.F., Goncharov K.V.* Selection of the nomenclature of indicators and investigation of the properties of materials for protective clothing against general industrial pollution (in the metalworking industry) // Design and technologies. 2023. No. 96 (138). pp. 69…76.

6. *Efanov E.D., Shustov Yu.S.* Predicting the breaking load of fabrics for workwear after reapeated washings // Innovation & Investment. 2021. No. 4. pp. 166…171.

7. *Murodkhujayeva K., Sadikova N.* Optimization of the process of formation of special fabric for construction workers' clothing on a weaving machine // Universum: technical sciences. 2025. No. 2 (131). pp. 14…17.

8. *Romanov V.YU., Boyko S.YU., Trifonova L.B.* Optimization of the technological process for manufacturing upholstery fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. No. 2 (410). pp. 124…128.

9. *Romanov V.YU., Boyko S.YU., Trifonova L.B.* Development of Optimal Technological Parameters of Producing Terry Fabrics with a Maximum Resistance of the Warp Threads to Repeated Stress // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 5 (395). pp. 116…121. – DOI: 10.47367/0021-3497_2021_5_116.

Рекомендована кафедрой технологии текстильного производства Камышинского технологического института (филиала) ВолгГТУ. Поступила 12.05.25.