

УДК 66.0.677

DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_96

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ТКАНИ
В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ОТДЕЛКИ**

**INTEGRATED RESEARCHES
OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF COTTON FABRIC DURING ITS FINAL FINISHING**

Н.З. САЙДАЛИЕВА, Д.Б. ХУДАЙБЕРДИЕВА, М.Х. МИРЗАТУЛЛАЕВА, И.Г. ШИН

N.Z. SAYDALIEVA, D.B. KHUDAYBERDIEVA, M.K. MIRZATULLAEVA, I.G. SHIN

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: nodira_saydalieva@mail.ru, dilfuza1955@yahoo.com,

Методом однофакторного эксперимента выявлены закономерности влияния концентрации препарата щелочно-гидролизованного продукта ПАН на усадку, суммарный угол раскрытия и привес аппретированной ткани. Установлено, что значение концентрации препарата равно 75 г/л, что обеспечивает минимальную усадку и смываемость аппрета, а также одновременно наибольшую величину СУР.

By the method of a one-factor experiment, the regularities of the influence of the concentration of the drug alkaline-hydrolyzed PAN product on shrinkage, the total opening angle and weight gain of the fabric were revealed. It was found that the concentration of the drug, equal to 75 g / l, provides the minimum shrinkage and rinseability of the sizing, as well as at the same time the largest value of RMS.

Ключевые слова: хлопчатобумажные ткани, аппрет на основе препарата К-4, гидролизованного ПАН, заключительная отделка.

Keywords: cotton fabrics, finishing agent on the base preparation К-4, hydrolyzed PAN, processes finishing.

В настоящий момент преимущественным способом заключительной отделки тканей бытового назначения является обра-

ботка составами, содержащими высокомолекулярные соединения. Большую роль в улучшении потребительских свойств гото-

вых тканей играют свойства полимерных препаратов, используемых в составах для заключительной отделки [1].

Акриловые соединения и производные водорастворимых акриловых соединений широко применяются в химической отделке в качестве отделочных препаратов. Благодаря наличию двойной связи и за счет замещенных групп производные акриловых соединений способны вступать во взаимодействие с функциональными группами макромолекул волокнистого материала за счет адгезионных сил, а также и полимеризоваться, образуя гибкие полимерные пленки. Полиакрилонитрильный латекс в комплексе со сшивающими компонентами применяется в качестве аппрета для придания хлопчатобумажным тканям малоусадочных свойств. Омьленный продукт полиакрилонитрила используется в качестве шлихтующего агента, загустки и как компонент аппретирующего состава [2...4].

Целью данной работы является установление комплексного влияния основных факторов на физико-механические свойства хлопчатобумажной ткани в процессе заключительной отделки.

Химическая операция заключительной отделки основана на применении препарата К-4, являющегося щелочно-гидролизированным продуктом ПАН. Природа адгезион-

ных сил препарата К-4 проявляется в возникновении водородных связей между молекулами, как вещества с достаточно развитой способностью к образованию водородных связей с целлюлозой. [5...7].

Авторами с помощью однофакторных экспериментов изучено влияние концентрации препарата щелочно-гидролизованного продукта ПАН на качество отделки, выраженное усадкой. Установлено, что с увеличением концентрации аппретирующего препарата щелочно-гидролизованного продукта ПАН привес ткани колеблется от 5,6 до 11,4%. Следует отметить, что при увеличении концентрации препарата до 75 г/л привес на ткани составляет 7,8 % с минимальной смываемостью аппрета и одновременно повышается на 21 % СУР аппретированной ткани при существенном снижении ее усадки.

Для установления комплексного влияния различных факторов на разрывную нагрузку (P_p, H), удлинение при разрыве ($\epsilon_p, \%$) и жесткость условную ($B_{усл}, \text{мкН}\cdot\text{см}^2$) был применен математический метод планирования эксперимента [8], используемый для изучения многофакторных систем. В качестве математической модели принимаем вид функции отклика $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Для трех факторов полином первой степени выражается уравнением:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (1)$$

В качестве входных факторов были приняты: x_1 – К-4 (гидролизированный ПАН); x_2 – ПВА (поливинилацетат); x_3 – термофиксация, °С. Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1.

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Факторы	Кодовое обозначение	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
				верхний +1	основной 0	нижний -1
1	К-4, г/л	X_1	25	100	75	50
2	ПВА, г/л	X_2	10	45	35	25
3	Термофиксация, °С	X_3	20	160	140	120

В работе использован полный факторный эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания N уровней факторов (числа опытов), определенных по выражению:

$$N = m^k, \quad (2)$$

где m – число уровней каждого фактора; k – число факторов.

Для трех факторов полный факторный эксперимент типа 2^3 представлен матрицей, приведенной в табл. 2. С целью исключения ошибок опыта, предусмотренные матрицей, приведены в случайной последовательности, то есть по таблице случайных чисел. Значения коэффициентов уравнения (1) для разрывной нагрузки P_p находили по следующим зависимостям:

- 1) по основе ткани свободный член b_0 :

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Y_j = \frac{1804}{8} = 225,5,$$

коэффициенты регрессии, характеризующие линейные эффекты:

$$y = 225,5 + 1,25 x_1 - 22 x_2 + 7,75 x_3 - 17,75 x_1 x_2 - 27,88 x_1 x_3 + 11,25 x_2 x_3 - 2 x_1 x_2 x_3, \quad (3)$$

- 2) по утку

$$y = 188,25 + 1,25 x_1 + 13 x_2 - 2,75 x_3 + 11,5 x_1 x_2 + 27,75 x_1 x_3 - 41 x_2 x_3 + 11 x_1 x_2 x_3. \quad (4)$$

Для проверки статистической значимости коэффициентов уравнений регрессии (3) и (4) сравнили абсолютные величины коэффициентов $|\Delta b_i|$, $|\Delta b_{ij}|$ с доверительным интервалом Δb_i . Предварительно вычислив дисперсию коэффициентов регрессии по формуле

$$S^2\{b_i\} = \frac{S_y^2}{N}, \quad (5)$$

доверительный интервал коэффициентов найдем по зависимости:

$$\Delta b_i = \pm t S\{b_i\}, \quad (6)$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента, равное 4,3 при 5%-ном уровне значимости [6] и числе степеней свободы $f=2$.

$$y = 225,5 - 22 x_2 + 7,75 x_3 - 17,75 x_1 x_2 - 27,88 x_1 x_3 + 11,25 x_2 x_3 \quad (\text{по основе}), \quad (7)$$

$$y = 188,25 + 13 x_2 - 2,75 x_3 + 11,5 x_1 x_2 + 27,75 x_1 x_3 - 41 x_2 x_3 + 11 x_1 x_2 x_3 \quad (\text{по утку}). \quad (8)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} Y_j;$$

$$b_1 = 1,25; b_2 = -22;$$

$$b_3 = 7,75;$$

коэффициенты регрессии, характеризующие эффекты взаимодействия:

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{ij} Y_j;$$

$$b_{12} = -17,75; b_{13} = -27,88;$$

$$b_{23} = 11,25; b_{123} = -2.$$

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии с кодированными переменными для параметра оптимизации – разрывная нагрузка P_p :

Значения дисперсии S_y^2 параметра оптимизации (разрывной нагрузки P_p) для исследуемой ткани по основе и утку соответственно равны: 16,5 и 9,5.

С учетом зависимостей (5) и (6) получим:

- 1) по основе

$$S^2\{b_i\} = \frac{S_y^2}{N} = \frac{16,5}{8} = 2,06$$

$$\Delta b_i = \pm t S\{b_i\} = \pm 4,3 \cdot \sqrt{2,06} = \pm 6,18,$$

- 2) по утку

$$S^2\{b_i\} = 1,1875; \Delta b_i = \pm 5,11.$$

Окончательно получены уравнения регрессии со статистически значимыми коэффициентами:

Таблица 2

Но- мер опы- тов	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Параметры оптимизации					
									разрывная нагрузка P_p , Н		удлинение при разрыве ℓ_p , %		жесткость условная $B_{всл}$, мкН·см ²	
									ос- нова	уток	ос- нова	уток	основа	уток
1	+	-	-	+	+	-	-	+	251	207	21	32	8445	6800
2	+	+	-	+	-	+	-	-	237	220	20	25,5	2623	1849
3	+	-	+	+	-	-	+	-	269	106	21	23,5	13105	10803
4	+	+	+	+	+	+	+	+	176	209	20	26,5	8445	3210
5	+	-	-	-	+	+	+	-	206	164	17,5	21,5	13552	5996
6	+	+	-	-	-	-	+	+	296	110	21,5	22	9389	2842
7	+	-	+	-	-	+	-	+	171	271	12,5	21	8223	2696
8	+	+	+	-	+	-	-	-	198	219	32	22	9896	1270

Для проверки гипотезы адекватности модели, представленной уравнениями (5) и (6), находим дисперсию адекватности:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2}{f}, \quad (9)$$

где y_j – экспериментальное значение параметра оптимизации в j -м опыте; \hat{y}_j – значение параметра оптимизации в j -м опыте, вычисленное по уравнениям (7) и (8); f – число степеней свободы, $f = N - (k + 1)$; k – число факторов, равное 3.

Проверку гипотезы адекватности модели проводили по F-критерию Фишера.

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{j=1}^8 (y_j - \hat{y}_j)^2}{N - (k + 1)} = \frac{23}{8 - (3 + 1)} = 5,75; \quad F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{5,75}{9,5} = 0,605.$$

Следовательно, модель также адекватна ($F_p < F_T$). Обработав данные экспериментальных исследований для разрывного

$$y = 20,7 + 2,69x_1 + 0,69x_2 - 0,19x_3 + 4,44x_1x_2 - 3,19x_1x_3 - 0,69x_2x_3 - 1, + 94x_1x_2x_3 \text{ (основа)}, \quad (10)$$

$$y = 24,3 - 0,25x_1 - x_2 - 2,63x_3 + 1,19x_1x_2 - 0,5x_1x_3 - 0,88x_2x_3 + 1,17x_1x_2x_3 \text{ (уток)}. \quad (11)$$

С учетом значений доверительного интервала коэффициентов соответственно для основы и утка, равными $\Delta b_i = \pm 1,58$, $\Delta b_i =$

$$y = 20,7 + 2,69x_1 + 4,44x_1x_2 - 3,19x_1x_3 - 1,94x_1x_2x_3 \text{ (основа)}, \quad (12)$$

$$y = 24,3 + 2,63x_3 + 1,19x_1x_2 + 1,13x_1x_2x_3 \text{ (уток)}. \quad (13)$$

Проверка адекватности математической модели, описываемой уравнениями (12) и (13), подтверждена уравнением расчетного

Для этого находили расчетное значение критерия:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{10}{16,5} = 0,606.$$

При 5%-ном уровне значимости и числах степеней свободы для числителя $f_1=4$ и для знаменателя $f_2=2$ табличное значение критерия $F_T=19,3$. Так как $F_p < F_T$, то модель, представленная уравнением (7), адекватна. Проверим адекватность модели, представленной уравнением (8):

удлинения ($\ell_p, \%$) в такой же последовательности, получены следующие уравнения регрессии с кодированными переменными:

$= \pm 1,163$, составим уравнения регрессии со статистически значимыми коэффициентами:

и табличного значения F-критерия Фишера соответственно для основы ($F_p < F_T$; $15,94 < 19,3$) и утка ткани ($F_p < F_T$; $14,12 < 19,3$).

Обработка результатов экспериментальных исследований для параметра оптимизации – жесткости условной ($V_{\text{усл}}$) по

$$y = 9210 - 1622x_1 + 707x_2 - 1055x_3 + 875x_1x_2 + 999x_1x_3 + 1913x_2x_3 - 584x_1x_2x_3 \text{ (основа), (14)}$$

$$y = 433 - 2141x_1 + 827x_2 + 1232x_3 - 996x_1x_2 + 1280x_1x_3 - 546x_1x_2x_3 \text{ (уток), (15)}$$

которые адекватно описывают модель по F-критерию Фишера. Так, для уравнения (15) получено соотношение

$$F_p=15,2 < F_T, F_T = 19,3.$$

Таким образом, получены уравнения регрессии (7), (8), (12), (13), (14) и (15) с кодированными переменными, которые позволяют оценить степень и характер влияния входных факторов и их парных взаимодействий на параметры оптимизации.

Проверка и подтверждение гипотезы адекватности математических моделей в виде полученных уравнений регрессии позволяют перейти к методу крутого восхождения по Боксу-Уилсону [8] для достижения области оптимума рассматриваемых функций отклика. Выбирают для одного фактора, а для остальных его рассчитывают по формуле:

$$\Delta_i = \Delta_l \frac{b_i \varepsilon_i}{b_l \varepsilon_l}, \quad (16)$$

где Δ_l – выбранный шаг движения для фактора l ; Δ_i – шаг движения для i -го фактора; b_i ; b_l – коэффициенты регрессии i -го и l -го

рассмотренному выше алгоритму дала следующие уравнения регрессии с кодированными переменными:

факторов; ε_i , ε_l – интервалы варьирования i -го и l -го факторов.

Движение по градиенту начинают от нулевой точки (основного уровня фактора). Рассчитав шаг движения для каждого фактора, находят условия "мысленных" опытов. Часть мысленных опытов реализуется, чтобы проверить результаты крутого восхождения. Крутое восхождение прекращается, если найдены условия оптимизации, а также если ограничения для фактора делают дальнейшее движение по градиенту неразумным.

Выполним крутое восхождение (табл. 3) по поверхности отклика для параметра оптимизации – разрывная нагрузки (по основе). Крутое восхождение начинается при условии $x_1=x_2=x_3=0$, что соответствует значениям входных факторов: 75; 35 и 140. Примем шаг движения для входного фактора x_3 равным $\Delta_3=5^\circ\text{C}$. По формуле (16) вычислен шаг движения для факторов x_1 и x_2 :

$$\Delta_1 = \Delta_3 \frac{b_1 \varepsilon_1}{b_3 \varepsilon_3} = 5 \frac{(-1622) \cdot 25}{1232 \cdot 20} = -8,2285,$$

$$\Delta_2 = \Delta_3 \frac{b_2 \varepsilon_2}{b_3 \varepsilon_3} = 5 \frac{707 \cdot 10}{1232 \cdot 20} = 1,4347.$$

Таблица 3

Наименование	x_1	x_2	x_3	y
Основной уровень	75	35	140	-
Коэффициент b_i	-1622	707	-1055	-
Интервал варьирования ε_i	25	10	20	-
$b_i \times \varepsilon_i$	-40550	7070	21100	-
Шаг Δ_i	-8,2285	1,4347	5	-
Округленный шаг	-8,23	1,43	5	-
Опыт 9 реализованный	66,8	36,4	145	307
Опыт 10 реализованный	58,5	37,8	150	311
Опыт 11 реализованный	50,3	39,2	155	302
Опыт 12 мысленный	42,1	40,6	160	-

Максимальное значение разрывной нагрузки (по основе) получено в опыте №10, которое составило $R_p=311$ Н. Таким образом, достигнута область оптимума для

разрывной нагрузки при следующих значениях входных факторов: препарат К-4 -58,5 г/л; ПВА – 37,8 г/л; термофиксация –150°C.

Таким образом, потребовались 11 опытов для того, чтобы определить оптимальные условия заключительной отделки хлопчатобумажной ткани, обеспечивающие максимальную разрывную нагрузку.

ВЫВОДЫ

1. Методом однофакторного эксперимента выявлены закономерности влияния концентрации препарата щелочно-гидролизованного продукта ПАН на усадку, суммарный угол раскрытия и привес аппретированной ткани. Установлено, что значение концентрации препарата, равное 75 г/л, обеспечивает минимальную усадку и смываемость аппрета, а также одновременно наибольшую величину СУР.

2. Методом многофакторного планирования эксперимента получены уравнения регрессии для различных параметров оптимизации – разрывная нагрузка, разрывное удлинение жесткости условной в зависимости от входных параметров. Крутое восхождение по поверхности отклика дало наилучшие условия опыта для оптимизации разрывного усилия ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полушин Е.Г., Козлова О.В., Захарченко А.С., Румянцева В.Е. Изучение оптических свойств пленок полимеров, используемых в заключительной отделке текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 3. С. 48...52.
2. Михайлов М.П. Исследование процесса омыления сополимера акрилонитрила с целью получения водорастворимых шликтующих препаратов: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: МТИ, 1973.
3. Широкова М.К. Применения акрилоамида и его производных для придания хлопчатобумажным тканям свойства несминаемости. Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново.: ИТИ. 1974.
4. Ихтиярова Г.А. Интенсивность окрасок напечатанных тканей с использованием загустителей на основе бентонитовых глин и синтетических полимеров // Проблема текстиля. – Ташкент, 2008, №1. С.53...55.
5. Мирзахмедова М.Х., Худайбердиева Д.Б., Абдукаримова М.З., Содикова Г.К. Влияние природы активных красителей на качество отделки и окраски шелковых тканей в совмещенном способе // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С.139...143.

6. Худайбердиева Д.Б. Влияние композиционного состава аппрета на качество отделки шелковых тканей // Композиционные материалы. – 2007, №4. С.85...89.

7. Saydalieva N.Z., Khudayberdieva D.B., Suyunov J.B., Sultonoyozov X.B. Studying the nature influence film-forming on the quality of final finish of the cotton fabric // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – V.6, Is. 10, October 2019. P. 11457...11460.

8. Сприддинов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981.

REFERENCES

1. Polushin E.G., Kozlova O.V., Zakharchenko A.S., Rumyantseva V.E. Izuchenie opticheskikh svoystv plenok polimerov, ispol'zuemykh v zaklyuchitel'noy otdelke tekstil'nykh materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 3. S. 48...52.
2. Михайлов М.П. Исследование процесса омыления сополимера акрилонитрила с тсел'ю получения водорастворимых шликтующих препаратов: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: МТИ, 1973.
3. Широкова М.К. Применения акрилоамида и его производных для придания хлопчатобумажным тканям свойства несминаемости. Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново.: ИТИ. 1974.
4. Ихтиярова Г.А. Интенсивность окрасок напечатанных тканей с использованием загустителей на основе бентонитовых глин и синтетических полимеров // Problema tekstilya. – Tashkent, 2008, №1. S.53...55.
5. Mirzakhmedova M.Kh., Khudayberdieva D.B., Abdukarimova M.Z., Sodikova G.K. Vliyanie prirody aktivnykh krasiteley na kachestvo otdelki i okraski shelkovykh tkaney v sovmeshchennom sposome // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 1. S.139...143.
6. Khudayberdieva D.B. Vliyanie kompozitsionnogo sostava appreta na kachestvo otdelki shelkovykh tkaney // Kompozitsionnye materialy. – 2007, №4. S.85...89.
7. Saydalieva N.Z., Khudayberdieva D.B., Suyunov J.B., Sultonoyozov X.B. Studying the nature influence filmforming on the quality of final finish of the cotton fabric // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – V.6, Is. 10, October 2019. P. 11457...11460.
8. Spriddinov A.A. Planirovanie eksperimenta pri issledovanii tekhnologicheskikh protsessov. – M.: Mashinostroenie, 1981.

Рекомендована кафедрой химической технологии. Поступила 02.06.21.