

УДК 677.027

О. Л. Ткачук, О. П. Герасимчук*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна***ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕС ГІДРОФОБІЗАЦІЇ БАВОВНЯНОЇ ТКАНИНИ***В статті приведені результати дослідження впливу технологічних параметрів на якість гідрофобного оздоблення бавовняної тканини на основі застосування математичного планування експерименту.**Ключові слова: гідрофобізація, кремнійорганічний препарат, бавовняна тканина, математичне планування експерименту.**Рис. 1. Форм. 14. Табл. 5. Літ. 1.***О. Л. Ткачук, А. П. Герасимчук****ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ГИДРОФОБИЗАЦИИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ТКАНИ***В статье приведены результаты исследования влияния технологических параметров на качество гидрофобной отделки хлопчатобумажной ткани с помощью математического планирования эксперимента.**Ключевые слова:***О. Tkachuk, A. Herasymchuk****RESEARCH OF INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE PROCESS OF WATERPROOF FINISHING OF COTTON FABRIC***In the article the results of research of influence of process parameters on the quality of waterproof finish of cotton fabric on the basis of mathematical experiment planning are presented.**Keywords:*

Постановка проблеми. Тканини з гідрофобним оздобленням спеціального призначення повинні володіти високим та стійким ефектом водотривкості при одночасному збереженні текстильним матеріалом високих гігієнічних властивостей, зносостійкості, формостійкості та гарного зовнішнього вигляду. Одним з найбільш перспективних напрямків є застосування для гідрофобної обробки текстильних матеріалів різних кремнійорганічних препаратів [1,2].

Аналіз останніх досліджень. Алкілсиліконати лужних металів мають переваги перед іншими кремнійорганічними сполуками – вони водорозчинні, нетоксичні, не мають запаху, недорогі, доступні [1]. Крім того, тканини, оздоблені кремнійорганічними сполуками, набувають м'якого приємного грифу, не мнуться, знижується усадковість та забруднювання [2], підвищується зносостійкість [3, 4]. Однак через високу лужності розчинів, раніше розроблена технологія гідрофобного оздоблення здійснювалася за двохванним способом: спочатку тканина просочувалася солями металів, а потім кремнійорганічним препаратом [2, 5], що було стримуючим фактором при широкому впровадженні у виробництво. Дуже важливим є вибір для кожного силіконового препарату ефективного каталізатора [1, 5, 6] і визначення його оптимальної кількості, а також визначення технологічних параметрів обробки.

Мета роботи. Побудова й аналіз математичної моделі впливу технологічних параметрів на процес гідрофобізації бавовняної тканини на основі застосування метилсиліконату калію.

Результати досліджень. Вплив концентрації гідрофобізатора (метилсиліконату калію), X_1 г/л; концентрації каталізатора (ацетату цирконію), X_2 , г/л; температури термообробки X_3 °С на водотривкість Y , мм. рт. ст. досліджуємо з застосуванням математичного планування експерименту та обробкою даних в програмному середовищі MathCAD.

В якості об'єкта дослідження використовували бавовняну тканину спеціального призначення арт. 5014. Апретування здійснювалося в лабораторних умовах на плюсовці подвійним зануренням та віджимом складами, приведеними в табл. 2 до кінцевої вологості 80%, сушка проводилася при 90°С до кінцевої вологості 8%, термообробка – у відповідності з даними табл. 2.

Запишемо рівняння регресії, нехтуючи степенями факторів вище першого:

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

де x_1, x_2, x_3 – кодовані значення факторів; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коефіцієнти рівняння регресії.

Зв'язок між кодовими і натуральними значеннями факторів:

$$x_i = (X_i - X_{i0}) / \Delta X_i, \quad (2)$$

де x_i, X_i – відповідно кодоване та натуральне значення i -го фактора; X_{i0} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні; ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

План-матрицю експерименту повного факторного експерименту з восьми дослідів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. План-матриця повнофакторного експерименту 2^3

Номер дослідів	Значення кодованих факторів			Взаємодія кодованих факторів			
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Натуральні значення вхідних факторів для кожного дослідів згідно план-матриці повнофакторного експерименту (див. табл. 1), наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Натуральні значення вихідних факторів

Номер дослідів	X_1 Концентрація гідрофобізатора, г/л	X_2 Концентрація каталізатора, г/л	X_3 Температура термообробки, °C
1	20	0	135
2	80	0	135
3	20	10	135
4	80	10	135
5	20	0	165
6	80	0	165
7	20	10	165
8	80	10	165

З метою нівелювання випадкових похибок відгуку проводимо $m = 3$ паралельних дослідів. Варіанти варіювання факторів розміщуємо у випадковому порядку. Середня значення вихідного параметра \bar{y}_u в кожному досліді:

$$\bar{y}_u = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m y_{uk}. \quad (3)$$

Оцінка дисперсії S_u^2 в кожному досліді:

$$s_u^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2, \quad (4)$$

Результати дослідів, середні значення водотривкості та оцінка дисперсії в кожному досліді, обчислені за формулами (3) та (4) відповідно наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Результати дослідів з визначення водотривкості та її дисперсія

Номер дослідів	x_1	x_2	x_3	Вихідний параметр y			Середнє арифметичне значення вихідного параметра \bar{y}_u	Оцінка дисперсії S_u^2 в досліді
				Повторюваність				
				y_{u_1}	y_{u_2}	y_{u_3}		
1	-1	-1	-1	288	291	292	290,333	4,333
2	+1	-1	-1	375	378	380	377,667	6,333
3	-1	+1	-1	296	293	295	294,667	2,333
4	+1	+1	-1	394	397	395	395,333	2,333
5	-1	-1	+1	308	310	305	307,667	6,333
6	+1	-1	+1	374	376	376	375,333	1,333
7	-1	+1	+1	305	307	304	305,333	2,333
8	+1	+1	+1	369	373	372	371,333	4,333

Перевірку відтворюваності дослідів проводилась за критерієм Кохрена, який базується на законі розподілу максимальної оцінки дисперсії $s_{u \max}^2$ до суми всіх оцінок дисперсії, що порівнюються:

$$G = s_{u \max}^2 / \left(\sum_{u=1}^n s_u^2 \right), \quad (5)$$

Умова відтворюваності дослідів:

$$G \leq G(q_{\text{від}}; n; \nu_u), \quad (6)$$

де $G(q_{\text{від}}; n; \nu_u)$ – критичне значення критерію Кохрена, яке вибирається в залежності від рівня значущості $q_{\text{від}}$, числа незалежних оцінок дисперсії n (числа дослідів) та числа ступенів вільності кожної оцінки $\nu_u = m - 1$. Для $n = 8$, $m = 3$, $q_{\text{від}} = 0,05$ значення критерію Кохрена $G(0,05; 8; 2) = 0,5157$ [7].

Критерій Кохрена, визначений за формулою (5) $G = 0,295 < 0,5157$, отже умова відтворюваності дослідів (6) задовольняється.

Дисперсія відтворюваності дослідів визначалась за формулою:

$$s_{\text{від}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n s_u^2, \quad (7)$$

з числом ступенів вільності:

$$\nu_{\text{від}} = n(m - 1) = 8(3 - 1) = 16, \quad (8)$$

Дисперсія відтворюваності, визначена за залежністю (7), для $m = 3$ і $n = 8$ становить $s_{\text{від}}^2 = 16,986$.

Коефіцієнти рівняння регресії (1) визначаються та критерії Стюдента за формулами:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{y}_u; \\ b_i &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u, \quad i = 1, 2, 3; \\ b_{ij} &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u, \quad i, j = 1, 2, 3, i \neq j; \\ b_{ijl} &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} x_{lu} \bar{y}_u, \quad i = 1, j = 2, l = 3 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} t_0 &= \frac{b_0}{s(b)}; \\ t_i &= \frac{|b_i|}{s(b)}, \quad i = 1, 2, 3; \\ t_{ij} &= \frac{|b_{ij}|}{s(b)}, \quad i, j = 1, 2, 3, i \neq j; \\ t_{ijl} &= \frac{|b_{ijl}|}{s(b)}, \quad i = 1, j = 2, l = 3 \end{aligned}, \quad (9)$$

де $s^2(b) = \frac{1}{nm} s_{\text{від}}^2$ – дисперсія оцінки коефіцієнтів, $s^2(b) = 0,841$.

Коефіцієнти рівняння регресії та значення критерію Стьюдента, визначені за формулою (9) наведенні в табл. 4.

Таблиця 4. Коефіцієнти рівняння регресії (1) та значення критерію Стьюдента

Коефіцієнт	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Значення коефіцієнта	339,708	40,208	1,958	0,208	1,458	-6,792	-3,542	-1,875
Критерій Стюдента	403,799	47,794	2,328	0,248	1,733	8,073	4,210	2,229

Якщо знайдене значення критерію Стьюдента перевищує значення $t_{kp} = 2,119$ (для числа ступенів вільності $\nu_{\text{св}} = 16$ і рівня значущості $q_{\text{св}} = 0,05$) [7], то оцінку відповідного коефіцієнта рівняння регресії вважають значущою, в іншому разі приймають значення відповідного коефіцієнта регресії рівне нулю. Як видно з табл. 4 значущими є всі коефіцієнти крім b_3 і b_{12} .

Рівняння регресії у кодіваних факторах запишеться:

$$Y(x_1, x_2, x_3) = 339,708 + 40,208x_1 + 1,958x_2 - 6,792x_1x_3 - 3,542x_1x_2 - 1,875x_1x_2x_3. \quad (10)$$

Адекватність отриманого математичного опису (рівняння регресії) дослідним даним перевіряється за критерієм Фішера F :

$$F = s_{ad}^2 / s_{\text{св}}^2, \text{ якщо } s_{ad}^2 > s_{\text{св}}^2 \quad (11)$$

або

$$F = s_{\text{св}}^2 / s_{ad}^2, \text{ якщо } s_{ad}^2 < s_{\text{св}}^2. \quad (12)$$

де s_{ad}^2 – дисперсія адекватності

$$s_{ad}^2 = \frac{m}{n-d} \sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2, \quad (13)$$

d – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії;

\tilde{y}_u – величина відгуку, отримана в результаті підстановки відповідних величин факторів x_i в рівняння регресії;

Для перевірки адекватності отриманої математичної моделі, обраховуємо значення водотривкості $Y(x_1, x_2, x_3)$ за рівнянням регресії (10). Результати заносимо в табл. 5.

Таблиця 5. Величини водотривкості, отримані в результаті розрахунку за рівнянням регресії

Номер досліду u	1	2	3	4	5	6	7	8
Значення \tilde{y}_u	289,083	379,333	296,333	394,083	306,000	376,583	306,583	369,667

Дисперсія адекватності, обрахована за формулою (13) $s_{ad}^2 = 26,042$. Так як $s_{ad}^2 > s_{\text{св}}^2$, то критерій Фішера, розрахований за формулою (11) $F = 1,533$ [7].

Математичний опис вважається адекватним, якщо

$$F < F(q_{\text{св}}; \nu_{ad}; \nu_{\text{св}}), \quad (14)$$

де ν_{ad} – число ступенів вільності дисперсії адекватності, $\nu_{ad} = n - d$.

Математичний опис адекватний, так як $1,533 < F(0,05; 2; 16) = 3,63$.

Врахувавши зв'язок між кодіваними і дійсними факторами (2) отримаємо рівняння регресії у натуральних факторах:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = 153,375 + 2,979X_1 + 1,021X_2 + 0,750X_3 + 0,125X_1X_2 - 0,011X_1X_3 - 0,006X_2X_3 - 0,0008X_1X_2X_3$$

Поверхні відгуку, побудовані за цими рівняннями наведено на рис. 1.

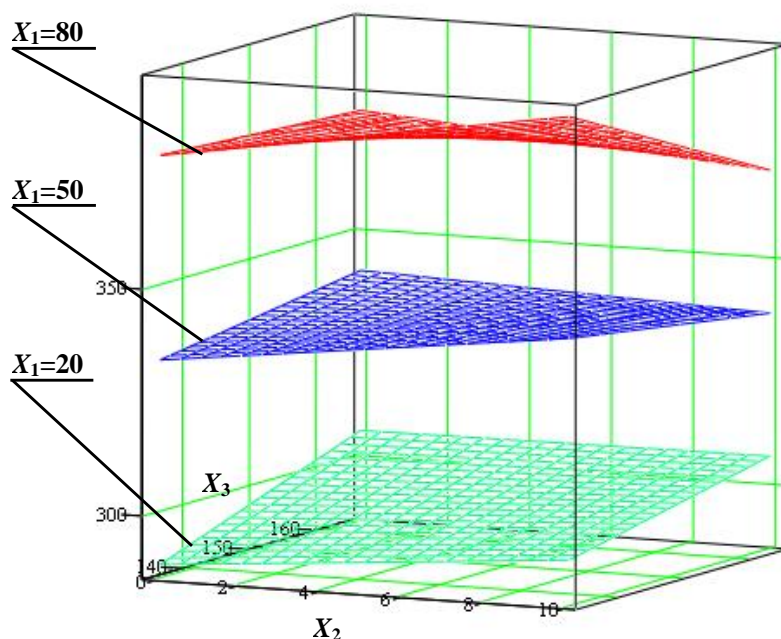


Рис. 1. Поверхні відгуку

Аналіз поверхонь відгуку свідчить, що визначальним параметром, що впливає на гідрофобність є концентрація гідрофобізуючого препарату. Зі збільшенням концентрації метилсиліконату калію показник водотривкості збільшується. Значно менший вплив на гідрофобність тканини має концентрація каталізатора в просочувальній ванні і температура термообробки.

Висновки. В результаті дослідження було побудовано математичну модель впливу концентрації гідрофобізатора (метилсиліконату калію), концентрації каталізатора (ацетату цирконію), та температури термообробки на водотривкість бавовняної тканини. Аналіз отриманої моделі, виконаний із застосуванням поверхонь відгуку, дав змогу виділити визначальний технологічний параметр процесу гідрофобізації – концентрацію гідрофобізуючого препарату, зі збільшенням якої показник водотривкості збільшується. Зі збільшенням концентрації каталізатора в просочувальній ванні і температури термообробки водотривкість зростає менш інтенсивно. За оптимальних умов водотривкість досягає 400 мм вод ст.

1. Орлов Н.Ф., Андросова М.В. Введенский Н.В. Кремнийорганические соединения в текстильной и легкой промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1976. – 235 с.
2. Глубіш П.А. Хімічна технологія текстильних матеріалів. Завершальне оброблення: Навч. посіб. для ВУЗів. – К.: Арістей, 2006. – 304 с.
3. Семак Б.Д. Износостойкость тканей с отделкой силиконами. - М.: Легкая индустрия, 1977. – 192 с.
4. Вельтцин В., Хаушильд Г. О силиконах и их применении в отделке текстильных изделий. - М.: Гизлегпром, 1958.
5. Андросов В.Ф. Технология отделки хлопчатобумажных тканей: Учебник для средн. спец. учеб. заведений. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 424 с.
6. Ткачук О.Л., Сарібекова Д.Г. Совершенствование гидрофобной отделки хлопчатобумажной ткани на основе применения алкилсиликоната калия // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. -2006.- №1(11). – С. 105-108.
7. Сенкевич А.Ю. Математическое моделирование автоматизированных систем контроля и управления: Метод. Указание/ А.Ю. Сенкевич. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004, – 44 с.

Стаття прийнята до друку 25.03.2015.