

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КРАШЕНИЯ СМЕСЕВОЙ ПРЯЖИ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН.

М9-16гр магистрант К.А.Расулева  
Научный руководитель профессор Д.Б.Худайбердиева

*Paxta va ipak asosidagi turli tarkibli aralash tolali to'qimachilik kalava iplarining sifatiga bo'yash eritmalari tarkibidagi reagentlar miqdorining ta'siri, bo'yash jarayonini paxta-ipak asosidagi kalavalarning sifatiga ta'siri "to'liq faktorli eksperiment" usuli yordamida o'rganildi. Ta'sir etuvchi asosiy omillar sifatida bo'yash vannasi tarkibidagi reagentlar NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, T°C stanlab olindi. Chiquvchi parametrlar sifatida esa- bo'yalgan kalavaning qoldiq vannasi qabul qilindi.*

*С помощью «полного факторного эксперимента» было исследовано влияние концентрации реагентов в составе химических растворов на качество смешанной текстильной пряжи на основе хлопковых и шелковых волокон различного соотношения. В качестве основных влияющих факторов были выбраны: количества реагентов ( NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, T°C) в составе красильной ванны. В качестве выходного параметра принята остаточная ванна окрашенной пряжи.*

*The effect of the concentration of reagents in chemical solutions on the quality of mixed textile yarn on the basis of cotton and silk fibers of various proportions was studied using a "full factorial experiment". As the main influencing factors were chosen: the quantities of reagents (NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, T°C) in the dye bath. As the output parameter, a residual bath of colored yarn is adopted.*

**Ключевые слова:** хлопко-шелковая смесь, пряжа, реагент, сорбция, оптическая плотность, красочный слой, матрица планирования, отклики входные и выходные факторы, уравнение регрессии, адекватность, критерия Стьюдента и Фишера.

**Введение:** В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан на 2017–2021 годы определены задачи, в том числе «... на основе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов интенсивное развитие производства готовой продукции с высокой добавленной стоимостью». При выполнении этой задачи особую значимость приобретает проведение научных и практических исследований, направленных на многоступенчатость переработки волокнистого сырья, в том числе натурального шёлка и хлопковых волокон, улучшение эксплуатационных свойств текстильных материалов, создание новых ассортиментов хлопко-шёлковых материалов.[1].

Процесс исследования обычно разбивается на отдельные этапы в стратегию эксперимента. Таким образом, возникает возможность оптимального управления экспериментом. Планирование эксперимента позволяет варьировать одновременно все факторы и получать количественные оценки основных эффектов и эффектов взаимодействия. Применение методов планирования значительно повышает эффективность эксперимента.

В ходе подготовки и проведения оптимизации эксперимента с использованием методов математического планирования была использована пряжа на основе очеса шелка и хлопкового волокна селекционного сорта Порлок-2и пряжа из натурального шёлка. Это позволило воспроизвести условия, которые создаются в смешанных хлопко-шелковых изделиях при их крашении и, таким образом, в определённой степени учесть взаимное влияние компонентов на происходящие процессы сорбции и фиксации красителя.

**Теоретическое исследование.** широко используется «поверхностный» метод подготовки, крашения и заключительной отделки, чтобы определить факторы, которые

влияют больше всего на текстильные материалы на основе целлюлозы и оптимизировать этот процесс моделированием. [2-5].

Авторами предлагается учитывать взаимосвязь между фактором перехода отбеливающих реагентов на ткань, который влияет на процесс крашения ткани, путем моделирования. [2]

Методом “Поверхностный отклик” проведена оптимизация крашения белковых волокон при помощи красителя “*Isatis tinctoria*”. Выбраны 6 факторов из 8 влияющих на процесс крашения и 2-х уровневая вариация. На основе линейной модели полученной в результате исследования, определены факторы в наибольшей степени влияющие на интенсивность цвета. Выбранная модель позволяет предсказать заранее интенсивность цвета. [3]

Объединение процесса крашения текстильных материалов на основе натурального целлюлозного волокна и технологии заключительной отделки, на основе математического моделирования и оптимизации качества крашения ткани, с помощью придания малосминаемых свойств определены параметры управления грифом материала. [4]

В процессе периодического метода подготовки пряжи из хлопкового волокна, отварка проводилась при 100-120<sup>0</sup>С под давлением в течении 2-3 часов раствором NaOH по методике, описанной в работе [5].

**Экспериментальная часть:** Оптимизация проводилась для активных красителей, который при прочих равных условиях чувствительнее к изменениям рецептуры красильной ванны, чем остальные красители. На основании анализа результатов серий однофакторных экспериментов были установлены следующие основные факторы, влияющие на цветовые характеристики окрашенных изделий.

Влияние процесса подготовки на качество пряжи на основе хлопко-шелкового волокна, изучено с помощью метода «полного факторного эксперимента». [6]

Сначала составим план двухуровневого ( $k=2$ ), трехфакторного эксперимента, где первым фактором является  $NaCl$ , с кодировкой  $X_1$ , вторым -  $Na_2CO_3$ , с кодировкой  $X_2$ , третьим – температурный режим, с кодировкой  $X_3$ , с двумя параллельными опытами. Из анализа априорной информации были определены основные факторы и составлена таблица 1. Перед проведением регрессионного анализа была выполнена проверка однородности дисперсии ошибок опытов и установлен закон распределения. Проверка однородности дисперсии ошибок опытов проводилась по методике, описанной в работе [6]

Концентрация электролита  $NaCl$ . За основной уровень ( $z_1^0$ ) принята как максимальное значение для опыт-1 50 г/л, для опыт-2 40 г/л и как минимальное значение для опыт-1 10 г/л, для опыт-2 20 г/л.

Концентрация соды  $Na_2CO_3$ . За основной уровень ( $z_2^0$ ) принят как максимальное значение для опыт-1 7 г/л, для опыт-2 6 г/л и минимальное значение опыт-1 3 г/л, для опыт-2 4 г/л

Влияние температуры. За основной уровень ( $z_1^0$ ) принят как максимальное значение опыт-1 80<sup>0</sup>С, для опыт-2 75<sup>0</sup>С, как минимальное значение, для опыт-1 55<sup>0</sup>С, опыт-2 60<sup>0</sup>С.

Величины указанного параметра определялись в соответствии с методикой [7]. На основании существующей литературы [8,9] был составлен план «полного факторного эксперимента».

Необходимое количество опытов  $N$ , проводимых в каждом параллельном опыте  $p$

рассчитывается по формуле  $N = 2^k$  ( $k$  – число факторов).

План проведения экспериментов (матрица планирования) для трехфакторного эксперимента ( $k = 3$ ) при двух параллельных опытах ( $p = 2$ ) представлены в таблице 1.

Таблица 1.

**Полный факторный эксперимент для входящих параметров**

1-опыт ( $p = 1$ )				
Факторы	$x_{max}$	$x_{min}$	$\Delta$	$x_0$

Электролит, г/л	50	10	20	30
Сода, г/л	7	3	2	5
Температура, Т°С	80	55	12,5	67,5
2-опыт ( $p = 2$ )				
Факторы	$x_{\max}$	$x_{\min}$	$\Delta$	$x_0$
Электролит, г/л	40	20	10	30
Сода, г/л	6	4	1	5
Температура	75	60	7,5	67,5

Для определения уравнения регрессии составим матрицу трехфакторного эксперимента на двух уровнях по откликам. Обозначим через  $\bar{y}_{ui}$  соответствующие значения откликов для остаточного красителя, полученные в  $m$  параллельных опытах, каждый из которых определены из  $n$  испытаний. Таким образом, имеем  $\bar{y}_{ui} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n y_{ul}$  ( $l=1.2...m$ ). Рассмотрим случай проведения два параллельного опыта ( $m=2$ ) с остаточным красителем в каждом варианте при числе набора  $N_2 = N = 8$ , внесем значения откликов в таблице 2.

**Таблица 2. Матрица планирования экспериментов с фиктивной переменной  
У остаточного красителя для образца П-2 90-10%**

№ Опы та	Уровни переменных			Остаточный краситель, Y							
				Отклики							
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	$\bar{y}_{i1}$	$\bar{y}_{i2}$	$\bar{y}_i$	$S_i^2$	$\hat{y}_i = b_0$	$\bar{\bar{y}}_u$	$R_i(\%)$	$\bar{R}_i(\%)$
1	-	-	-	0,21	0,22	0,215	0,00005	0.206	0.213	4.07	0.58
2	+	-	-	0,22	0,18	0,2	0,0008	0.206	0.203	3.12	1.87
3	-	+	-	0,24	0,21	0,225	0,00045	0.206	0.221	8.33	1.66
4	+	+	-	0,20	0,22	0,21	0,0002	0.206	0.211	1.786	0.6
5	-	-	+	0,21	0,20	0,205	0,00005	0.206	0.201	0.61	1.82
6	+	-	+	0,18	0,20	0,19	0,0002	0.206	0.191	8.55	0.65
7	-	+		0,19	0,21	0,2	0,0002	0.206	0.208	3.12	4.37
8	+	+	+	0,17	0,24	0,205	0,00245	0.206	0.198	0.61	3.04

Исходя из показателей таблицы, определены следующие результаты, влияющие на крашения смесевых ассортимента П-2 в соотношении 90:10.

Можно утверждать, что с увеличением количество шелка в смесевой пряжи действия соды уменьшается, а переменные электролита и температуры увеличиваются. Статистическую обработку данных произведем по данной схеме.

1. Проверка воспроизводимости параллельных опытов при одинаковом их числе параллельных опытов  $m$  и проверка однородности дисперсий во всех вариантах.

Вычислим значения  $S_u^2$  по формуле.  $S_u^2 = (\bar{y}_{u1} - \bar{y}_u)^2 + (\bar{y}_{u2} - \bar{y}_u)^2$ , ( $u = 1,2,3,4,5,6,7,8$ ).

$$S_1^2 = 0.00005, S_2^2 = 0.0008, S_3^2 = 0.00045, S_4^2 = 0.0002, S_5^2 = 0.00005, S_6^2 = 0.0002, S_7^2 = 0.0002, S_8^2 = 0.00245$$

Полагая  $S_{u(\max)}^2 = S_8^2 = 0.00245$ ,  $S = \sum_{u=1}^8 S_u^2 = 0.0044$ , вычислим статистику

$$G = \frac{S_{u(\max)}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} = 0.55168$$

С помощью критерия Кохрена проверяем с табличными данными  $G_{\alpha, k_1, k_2}$ , где  $\alpha = 0.05$ ,  $k_1 = N = 8$ ,  $k_2 = m - 1 = 1$ . При этом имеем  $G_{0.05, 8, 1} = 0.68$ . Поскольку  $G < G_{0.05, 8, 1}$ , то однородность дисперсии для входящих параметров во всех вариантах не опровергается. Таким образом, в данном случае можно использовать усредненную по вариантам дисперсию  $S_y^2 = \frac{S}{N} = 0.00055$  для оценки адекватности математической модели для уравнения регрессии для всех выходящих параметров.

2. Вычислим коэффициенты регрессии по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N y_u, \quad b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} y_u, \quad b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} y_u, \quad b_{ijk} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} X_{ku} y_u,$$

$$b_{ijkl} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} X_{ku} X_{lu} y_u$$

Уравнения регрессии в кодированных переменных  $X_1, X_2$  и  $X_3$  для выходящего параметра (остаточного красителя) записываем в виде

$$\bar{y} = 0.20625 + 0.00500X_1 + 0.00375X_2 + 0.00625X_3 - 0.00250X_1X_2 + 0.00250X_1X_3 - 0.00125X_2X_3 + 0.00250X_1X_2X_3 \quad (1)$$

3. Оцениваем коэффициенты регрессии по критерию Стьюдента  $t_{0.05, N(m-1)}$

Сначала вычислим доверительный интервал  $\Delta b = t_{\alpha, k} \frac{S_y}{\sqrt{N}}$  при  $N = 8, m = 2$ ,

$k = N(m - 1) = 8$ . Пользуясь табличными данными имеем  $t_{0.05, 8} = 2.31$ , тогда  $\Delta b = .019$

Сравнивая с коэффициентами,  $b_{ij}$  и  $b_{ijk}$ , получаем

$$b_0 > \Delta b, \quad b_i < \Delta b, \quad |b_{ij}| < \Delta b, \quad b_{123} < \Delta b$$

Таким образом, для уравнения регрессии остаточного красителя только коэффициент  $b_0$ , является значимым.

Если в уравнении регрессии не учитывать другие коэффициенты кроме  $b_0$ , то имеем

$$\hat{y} = b_0 = 0.20625. \quad (2)$$

Эти значения уравнения регрессии внесем в таблицу 2.

4. Проверка адекватности модели с постоянной  $b_0$

Для проверки адекватности линейной модели по критерию Фишера находим

$$\text{остаточную дисперсию } S_{oc} = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{N - k - 1} = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - b_0)^2}{N - k - 1}$$

При  $N = 8, k = 3$  вычислим значение статистики  $F = S_{oc}^2 / S_y^2 = 0.0001575 / 0.00055 = 0.2863$  и сравниваем его с критерием Фишера  $F_{0.05, k_1, k_2}$  при  $k_1 = N - k - 1 = 4$ ,  $k_2 = N(m - 1) = 8$ ,  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Так как  $F < F_{0.05, 4, 8}$ , то гипотеза об адекватности модели уравнения регрессии  $\bar{y} = b_0$  по критерию Фишера не опровергается.

5. Далее определяем относительные расхождения между фактическими данными  $\bar{y}_i$  и расчетных  $\hat{y}_i$  по формуле  $R_i = (\bar{y}_i - b_0)100 / \bar{y}_i$  и результаты внесем в таблице (2). Из анализа табличных данных следует, что наибольшее расхождение между расчетными и фактическими данными наблюдается для третьего и шестого вариантов, где факторы  $X_1$  (электролит) и  $X_3$  (температура) принимают минимальные либо максимальные значения.

Для снижения относительного расхождения предлагается сохранить в уравнении регрессии еще три линейные члены с коэффициентами  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$

$$\hat{y} = y = 0.20625 + 0.00500X_1 + 0.00375X_2 + 0.00625X_3 \quad (3)$$

Результаты расчетов для расхождений  $\bar{R}_i = (\bar{y}_i - \hat{y}_i)100/\bar{y}_i$  внесены в таблице 2, из которой видно, что наибольшее расхождение, равное 4.37%, наблюдается при одновременных максимальных значениях количеств соды и температуры.

6. Зависимость (3) используем для определения значений одного из факторов при известных данных двух других, где будет фиксировано значение параметра  $y$  - остаточного красителя. Расчеты были проведены для различных значений фактора  $X_3$  (температуры) при  $y = 0.2$ , результаты которых представлены на рисунке в виде графиков в плоскости  $(X_1, X_2)$

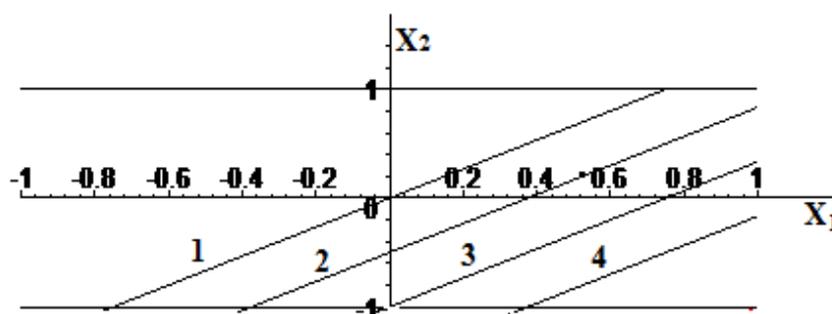


Рисунок. Линии постоянной температуры в плоскости переменных  $X_1$  и  $X_2$  (электролита и соды): 1 –  $T = 80^\circ C$ , 2 –  $T = 76.25^\circ C$ , 3 –  $T = 72.5^\circ C$ , 4 –  $T = 68.75^\circ C$

**Таблица 3. Содержание электролита и соды в составе смеси при различных значениях температуры для получения остаточного красителя в количестве  $y = 0.2$**

$T = 80^\circ C$								
электролит, г/л	15	22	26	30	34	38	42	45
сода, г/л	3	3.93	4.46	5	5.53	6.06	6.6	7
$T = 76.25^\circ C$								
электролит, г/л	22.5	26	30	34	38	42	46	50
сода, г/л	3	3.46	4	4.53	5.06	5.6	6.13	6.67
$T = 72.5^\circ C$								
электролит, г/л	30	34	38	42	46	50		
сода, г/л	3.33	3.86	4.4	4.93	5.46	6.0		
$T = 68.75^\circ C$								
электролит, г/л	32	34	38	42	46	50		
сода, г/л	2.6	2.86	3.4	3.93	4.46	5		

### Вывод.

В таблице 3. представлены значения электролита и соды в составе смеси при получении остаточного красителя в количестве  $y = 0.2$  при четырех температурных режимах. Расхождение между данными и расчетными при  $T = 80^\circ C$  связано с использованием приближенного уравнения регрессии (3). Из таблицы видно, что для достижения оптимальных результатов, допустимо использование указанной концентрации двух входных параметров электролита и соды, при использовании данной температуры. Это

обстоятельство позволяет, пользуясь регрессионной зависимостью, определить рациональные значения факторов по реализации режима для получения данной величины выходного параметра (остаточного красителя)

#### Литература.

1. Ш.М.Мирзиёев «О мерах по ускоренному развитию текстильной и швейной-трикотажной промышленности» Указом Президента Республики Узбекистан от 14 декабря 2017 г.
2. К.В.Брянкин, К.Мартьянов Моделирование процесса переноса отбеливающей композиции на хлопчатобумажную ткань. ТГТУ. 2012. № 3, с. 650-655.
3. BaraniHosseini, BroumandMajid. Оптимизация крашения шерсти красителемIsatis tinctoria с использованием методологии отклика поверхности.JournalNaturefibers. 2012. № 2. с. 73-86.
4. В.В.Сафонов, А.Е.Третьякова, М.И.Теплякова. Разработка технологии колорирования текстильных материалов на основе природных целлюлозных волокон с одновременным получением устойчивости к смятию. МГТУ им. А.Н. Косыгина. 2010, с. 46-50
5. Эргашев К.Э., Абдукаримова М.З.Пардозлаш корхоналари техника ва технологияларидаги янгиликлар, Тошкент, “Талқин”, 2006, 88-б.
6. В.Б.Тихомиров Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности). М., “Легкая индустрия”,1974 г. 263с.
7. А.З.Маматов Математическое моделирование технологических процессов. Т., 2014г. Учебное пособие.
8. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента. Учебное пособие под ред. Г.М. Рудакова. Т. Ўқитувчи, 1993.- 336 с
9. Налимов В.В. Планирование эксперимента. М. Наука.. 1996. 312 с.