

## ВЫДЕЛЕНИЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ ПРОЦЕССА ТЕРМОПЕЧАТАНИЯ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА

И.В. БУШУЕВА, В.В. ВАСИЛЬЕВ, Л.А. ГАРЦЕВА

(Ивановская государственная текстильная академия)

Предварительный анализ процесса термопечатания хлопкополиэфирных тканей показал, что он управляется большим числом качественных и количественных факторов, в различной степени влияющих на выходные показатели последнего. Роль качественных факторов оценена методом дисперсионного анализа результатов экспериментов, поставленных по плану латинского квадрата [1], которые показали

необходимость проведения дополнительных исследований в направлении оценки степени влияния на процесс термопечатания количественных факторов – они могут иметь решающее значение.

Анализ данных [2, 3] показал, что процессом термопечатания управляют как минимум 11 количественных показателей, наименование и интервалы варьирования которых представлены в табл.1.

Таблица 1

Наименование фактора	Значение фактора на уровне		
	+	0	-
Температура $X_1$ , °С	210	195	180
Время $X_2$ , с	60	40	20
Концентрация $X_3$ красителя в печатной краске, г/кг	60	40	20
Концентрация $X_4$ ПАВ в печатной краске, г/кг	2	1	0
Концентрация в пропиточном составе, г/л:			
$X_5$ предконденсата термореактивной смолы	200	125	50
$X_6$ термопластичного полимера	100	75	50
$X_7$ катализатора	15	10	5
$X_8$ мочевины	100	50	0
Отжим после пропитки $X_9$ , %	120	100	80
Остаточная влажность ткани после сушки $X_{10}$ , %	50	25	0
Плотность бумаги $X_{11}$ , г/м <sup>2</sup>	80	60	40

Важным фактором процесса термопечатания также является давление. Однако возможности лабораторной установки не позволяют с достаточной точностью оценить интервал изменения этого показателя, поэтому он был зафиксирован на одном уровне и не включен в матрицу планирования.

Экспериментальный план полного факторного эксперимента, где каждый из факторов варьируется на двух уровнях (ПФЭ<sup>2</sup>) должен был бы включать  $N = n + 1 + C_n^2$  опытов. Здесь  $n$  – число факторов, а  $C_n^2$  – число сочетаний элементов из  $n$  по 2. В нашем случае необходимое число опытов равнялось бы 67. При этом нет оснований утверждать, что в изучаемой области факторного пространства все эти эффекты

окажутся значимыми. Поэтому постановка такого большого числа опытов оказывается неоправданной.

На первом этапе исследований необходимо определиться в сложном влиянии многочисленных факторов на основной критерий процесса термопечатания (интенсивность окраски), оценить степень влияния отдельных показателей, эффектов их взаимодействий и выделить небольшое число факторов, определяющих эффективность процесса на фоне остальных, относящихся к шумовому полю.

Таким образом, необходимо провести отсеивающий эксперимент, для реализации которого в работе использован метод случайного баланса (МСБ) [4], идея которого состоит в том, что реализуется не весь

ПФЭ, а некоторая его случайная выборка [5]. Отсеивающий эксперимент необходимо проводить для того, чтобы не усложнять математическую модель и облегчить ее анализ.

Матрица планирования по МСБ составляется путем случайного распределения уровней фактора по столбцам или случай-

ного смешивания дробных реплик ПФЭ с учетом корреляции между его столбцами. Последняя служит мерой ортогональности соответствующего плана. В настоящее время составлено много таких планов для различного числа факторов на двух уровнях [6,7], один из которых использован в данной работе и представлен в табл.2.

Таблица 2

№ опыта	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	y
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	3,07
2	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	2,43
3	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	2,61
4	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	2,52
5	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	0,98
6	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	0,81
7	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	0,92
8	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	0,63
9	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	1,31
10	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	2,11
11	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	0,80
12	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	2,49

Пригодность выбранной матрицы случайного баланса была оценена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к таким планам. Одновременно в табл.2 представлены результаты проведенных экспериментов по изучению влияния управляющих факторов на основной параметр оптимизации – интенсивность окраски. Значение параметра оптимизации ( $\bar{y}$ ) представлено как среднее из трех параллельных опытов.

Интенсивность окраски оценивали по спектрам отражения, полученным на цветоизмерительной системе Жаурак 4801, как функция ГКМ.

Эксперимент проводили на хлопкополиэфирной ткани (50:50) по следующей технологической схеме: пропитка ткани составом, содержащим гликазин, ПФЭ, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и мочевины; отжим; сушка при 100 °С; термопечатание в соответствии с условиями опытов.

Печатание бумаги осуществляли составом, содержащим: краситель (дисперсный алый ПЭ), ПАВ (сульфосид 31) и загустку (6 %-ный альгинат SMT).

После проведения эксперимента полученные данные анализировались сначала

визуально (с помощью диаграммы рассеивания), затем на ЭВМ по традиционным алгоритмам МСБ [5].

Диаграмма рассеивания результатов наблюдений по отдельным эффектам изображена на рис.1.

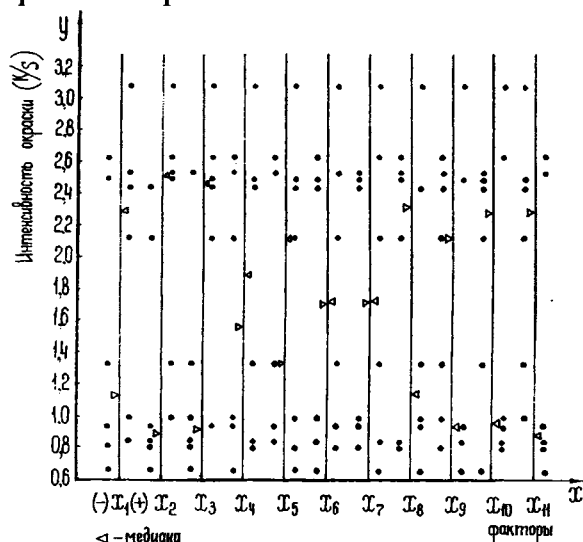


Рис.1

Для каждого эффекта на диаграмму наносили все точки, подразделяя их на группы, соответствующие уровням факторов в опытах. Каждый фактор рассматривался независимо от других. Степень влияния факторов оценивали по разнице между ме-

дианами и по числу выделяющихся точек в верхней и нижней частях диаграммы.

Анализ рис.1 позволяет сделать предположение о незначимости факторов  $X_7$  (концентрация катализатора),  $X_6$  (концентрация ТПП) и  $X_4$  (концентрация ПАВ). Для остальных эффектов наблюдается как значительная разница между медианами, так и большое число выделяющихся точек, что предполагает их значимость.

Чтобы убедиться в достоверности сделанных предположений, обработку данных матрицы случайного баланса произвели на компьютере по алгоритму метода регрессионного анализа с помощью пакета прикладных программ.

Это позволило оценить:

- величину линейных коэффициентов уравнения первого порядка;
- вклад эффектов взаимодействий;
- дисперсии воспроизводимости опытов и их однородность по критерию Кохрена ( $G_{расч} < G_{табл}$  для 95 %-ной доверительной вероятности);
- значимость коэффициентов уравнения регрессии по критерию Стьюдента.

Полученные результаты позволили выделить значимые индивидуальные эффекты, двойные эффекты взаимодействия и отсеять незначимые факторы. Результаты, полученные после компьютерной обработки экспериментальных данных, представлены на рис.2 в виде диаграммы эффектов, выделенных методом случайного баланса.

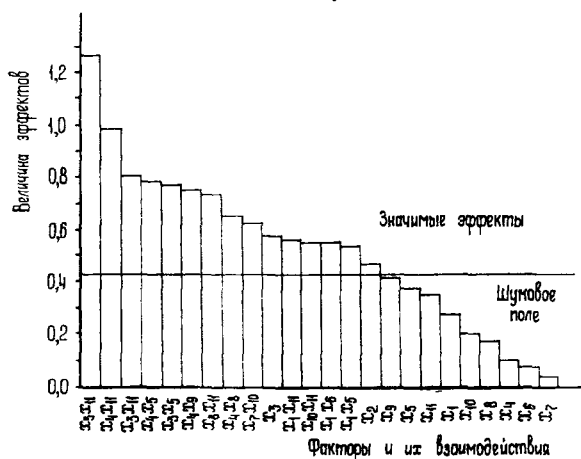


Рис. 2

Таким образом, с помощью проведенных исследований и статистического анализа данных установлено, что при варь-

ровании изучаемых независимых переменных в выбранных пределах интенсивность окраски при термопечатании хлопкополиэфирной ткани дисперсным алым ПЭ определяется в основном влиянием факторов  $X_3$  и  $X_2$  – это концентрация красителя в печатной краске и время термопереноса. Учет эффектов парных взаимодействий показал, что наиболее существенными из них оказались:  $X_5X_{11}$ ,  $X_4X_{11}$ ,  $X_3X_{11}$ ,  $X_4X_5$ ,  $X_3X_5$ ,  $X_4X_9$ ,  $X_8X_{11}$ ,  $X_4X_8$ ,  $X_7X_{10}$ , и ряд других (рис.2). Это свидетельствует о том, что действие изучаемых факторов не является независимым.

Корреляция с другими факторами максимально проявляется для фактора  $X_{11}$  – плотность бумаги. Следовательно, в последующих экспериментах целесообразно зафиксировать эту переменную на оптимальном уровне в соответствии с результатами дополнительных исследований или с учетом известных литературных данных.

Значимость эффектов парных взаимодействий и проверка адекватности линейной модели с помощью критерия Фишера ( $F_{расч} > F_{табл}$ ) позволяют заключить, что процесс термопечатания в выбранной области факторного пространства не может быть описан уравнением первого порядка. Такой же вывод можно сделать по результатам сравнения величины коэффициента  $b_0$  и значения критерия оптимизации в опыте, который был поставлен в центре плана (при  $X_i=0$ ,  $i=1-11$ ). В связи с тем, что разность указанных величин значительно больше стандартной ошибки, коэффициенты при квадратичных членах уравнения регрессии должны существенно отличаться от нуля.

Это свидетельствует о необходимости продолжения исследований в направлении поиска области оптимума и ее математического описания.

Кроме того, по интенсивности окраски невозможно однозначно оценить эффективность процесса термопечатания. Для этого он должен быть оптимизирован также и по ряду важнейших показателей качества, таких как устойчивость окраски к физико-химическим воздействиям, малосми-

наемость ткани и ее механическая прочность.

## ВЫВОДЫ

1. Анализируя результаты исследования, отмечаем, что статистический подход к планированию эксперимента позволяет с высокой точностью и при рациональном расходовании времени и средств получить максимум информации о процессе.

2. Изучение термопечатания хлопкополиэфирных тканей методом случайного баланса позволило: получить отдельные оценки влияния на интенсивность окраски большого числа независимых переменных, что невозможно при традиционных подходах по причине корреляции факторов; выделить значимые эффекты взаимодействия факторов; прогнозировать оптимальные условия осуществления процесса и получить представление о поверхности отклика; выработать стратегию дальнейшего эксперимента.

3. Процесс не может быть моделирован линейным уравнением, поэтому необходимо изучить возможность аппроксимации его полиномом второго порядка. При этом важнейшими управляющими факторами следует считать концентрацию красителя

в печатной краске и время термопечатания с учетом того, что основным коррелирующим параметром является плотность бумаги.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бушуева И.В. и др. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001. №5. С.36...40.
2. Шпитцнер К. Печатание текстильных материалов. – М.: Легкая промышленность, 1984.
3. Факторы, определяющие качество художественно-колористического оформления текстильных изделий методом сублимационной печати Осик Ю.И., Сатушев С.А., Коян В.П. // Тез. докл. 12 Всесоюз. науч. конф. по текстил. материаловед.: Надежность, экономичность и качество текстильных материалов – Киев, 19 – 21 окт. Т.3, 1988.
4. Ровенкова Т.А. Планирование эксперимента в производстве химических волокон. – М.: Химия, 1977.
5. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965.
6. Booth K.H.A., Cox D.R. // Technometrics. –V.4, 1962.
7. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973.

Рекомендована кафедрой химии. Поступила 31.05.02.