



## ПОЛНОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ВОЛОКНООЧИСТИТЕЛЕЙ С МОДЕРНИЗИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

*А. А. Абдусаматов*

Докторант, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

*А. А. Исмаилов*

к.т.н., проф, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

*А. П. Мавлянов, Ph.D*

Доц, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

**Аннотация:** В статье приведено обоснование полнофакторных экспериментов волокноочистителей с модернизированными рабочими органами. Получена система уравнений, которая позволяет вести направленный поиск оптимальных параметров волокноочистителя.

**Ключевые слова:** полнофакторный эксперимент, очиститель волокна, скорость воздуха, пыльный цилиндр, пыльный диск.

**Введение.** Производительность и очистительный эффект машины, а также качество выпускаемой продукции в основном зависит от функционирования основных рабочих органов и технологических режимов работы.

Процесс очистки волокна зависит от многих факторов и для определения их оптимальных значений, необходимо провести исследования с помощью современных математических методов планирования экспериментов [1-5].

**Методика проведения эксперимента.** Исследования проводились согласно матрице планирования полного факторного эксперимента при переработке хлопка-сырца селекции Султан, I-го промышленного сорта ручного сбора.

В таблице 1 приведены матрица планирования с рандомизированным порядком проведения опытов [6].

В таблице 2 приведены по результатам экспериментальных исследований выбраны следующие основные входные факторы, влияющие на процесс очистки волокна:  $X_1$  – производительность волокноочистителя,  $X_2$  – скорость воздуха,  $X_3$  – число лепестков с соответствующими уровнями варьирования.



**Таблица 1** Матрица планирования с рандомизированным порядком проведения опытов

Порядок реализации опыта	Факторы		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-	-	-
8	+	-	-
2	-	+	-
7	+	+	-
3	-	-	+
5	+	-	+
6	-	+	+
4	+	+	+

**Построение уравнений регрессии.** Известно, что аналитическое выражение функции отклика неизвестно, его обычно можно выразить в виде уравнения регрессии с многочленным функцией отклика

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i<j<l}^k b_{ijl} x_i x_j x_l \quad (1)$$

где:  $y$  - расчетное значение параметра оптимизации;  $x_i$  - независимые входящие параметры, изменяющиеся при проведении эксперимента;  $b_i, b_{ij}, b_{ijl}$  - коэффициенты регрессии, определенные по результатам эксперимента [7].

В полнофакторном эксперименте реализуется множество возможных комбинаций (наборов) факторов. Если факторы “ $k$ ” изменятся в двух поверхностей, возможные наборы равны -  $N_2=2^k$ . Если факторы “ $k$ ” изменятся на три поверхностей, то  $N_3=3^k$ .

Составляем уравнение регрессии для фракции. Сначала составляем двухмерный ( $k=2$ ) трехфакторный план эксперимента по двух параллельных, в котором первым фактором является  $X_1$  - производительность работы на выходе волокна, вторым  $X_2$  - скорость воздуха внутри машины для очистки волокна, третьим  $X_3$  - количество лепестков на пильном диске [8].

**Таблица 2** Эксперимент

№	Наименование фактора	Единицы измерения	Обозначение	Значение факторов			Уров-ни варьирования
				-1	0	+1	
1	Производительность	т/ч	X <sub>1</sub>	0.38	0.45	0.52	0.07
2	Скорость воздуха	м/с	X <sub>2</sub>	7.8	8.7	9.6	0.9
3	Число лепестков	шт	X <sub>3</sub>	0	5	10	5

Статистическую обработку полученных результатов эксперимента проводят в следующем порядке:

- 1) Проверяем, что обеспечивает ли количество параллельных экспериментов категорию дисперсии  $S_u^2$ , которая характеризует разброс их результатов по числу  $m$ .



$$S_u^2 = \frac{\sum_{p=1}^m (y_{up} - y_u)^2}{m-1} \quad (3)$$

где  $u$  - порядковое число варианта;  $p$  - порядковое число параллельных экспериментов ( $p = 1, 2, 3, \dots, m$ );  $m$  - количество параллельных экспериментов;

Для случая  $m = 2$  вводим значения  $S_u^2$  в таблицу и вычисляем эти статистические данные

$$G = \frac{S_{u(\max)}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} \quad (4)$$

где  $S_{u(\max)}^2$  - максимальное значение дисперсии в таблице.

Используя (3.3) и (3.4) формул  $S_u^2 = (\bar{y}_{u1} - \bar{y}_u)^2 + (\bar{y}_{u2} - \bar{y}_u)^2$ , ( $u = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ ).

$$S_{u(\max)}^2 = S_6^2 = 8.82$$

$$\sum_{u=1}^8 S_u^2 = 44.485$$

Рассчитываем эти статистические данные

$$G = \frac{S_{u(\max)}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} = 0.198$$

2) На соответствие критерию Кохрена проверяем дисперсионное рассеяние в обоих параллельных экспериментах.

Значения  $G_{\alpha, k_1, k_2}$  берутся из табличных данных.

где  $\alpha$  - значительный уровень, ( $0 < \alpha < 1$ );

$k_1 = N$ ,  $k_2 = m-1$  - количество степеней свободы.

Если  $\alpha = 0.05$ ,  $m = 2$ ,  $N = 8$ ,  $G_{\alpha, k_1, k_2} = G_{0.05, 8, 3} = 0.52$ , выполняется следующее неравенство

$$G < G_{\alpha, k_1, k_2} \quad (5)$$

Тогда критерий Кохрена будет уместно. В нашем случае (5) неравенство выполняется благодаря тому, что  $G = 0,24435$ , следовательно, выполняется критерий Кохрена. При меньше разбросанности дисперсии обеспечиваются категорию параллельных экспериментов.

3) Построим регрессионное уравнение



$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i<j}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_{i<j<l}^k b_{ijl} X_i X_j X_l$$

$b_0 := 33.46875$ ;  $b_1 := -0.03125$ ; ;  $b_2 := 1.08125$ ; ;  $b_3 := 1.31875$ ; ;  $b_{12} := 1.43125$ ; ;  $b_{13} := -1.28125$ ; ;  $b_{23} := 0.43125$ ; ;  $b_{123} := 0.08125$

Таким образом, уравнение регрессии выглядит следующим образом

$$Y_p = 33,47 - 0,031X_1 + 1,08X_2 + 1,32X_3 + 1,43X_1X_2 - 1,28X_1X_3 + 0,43 X_1X_3 + 0,081X_1X_2X_3 \quad (6)$$

4) Проверяем значимость коэффициентов регрессии на основе критерия Стьюдента.  $\Delta b$  рассчитывается по следующей формуле для всех коэффициентов регрессии в одном и том же доверительном интервале

$$\Delta b = t_{\alpha,k} \frac{S_y}{\sqrt{N}} \quad (7)$$

где  $t_{\alpha,k}$  - критерия Стьюдента;  $\alpha$  – уровень значимости;  $k = N(m - 1)$  – количество степень свободы.

Рассмотрим следующий случай  $t_{0.05,16} = 2.16$  ,  $\Delta b = t_{\alpha,k} \frac{S_y}{\sqrt{N}} = 1..926$

Согласно приведенному выше неравенству в уравнении регрессии, коэффициент, отличный от коэффициента  $b_0$ , незначимыми. Исходя из этого, записываем уравнение регрессии без коэффициентов

$$\hat{y} = 33.468755 \quad (8)$$

5) Оцениваем адекватность модели.

Если не учитываются некоторые несущественные коэффициенты в уравнении регрессии (8) степень свободы формируется, и в этом необходимо проверить адекватность модели. Проверка адекватности заключается в сравнении экспериментальных значений исходящего параметра  $y$  с расчетными значениями различных уровней входящих параметров  $\hat{y}$  и определении их разницы по формуле в проценте.

$$R_u = 100 \left| \frac{\hat{y}_u - y_u}{y_u} \right|$$

Полученные результаты показывают, что погрешность увеличивается на 10%, поэтому мы не можем не отметить  $b_1$ ,  $b_{23}$  и  $b_{123}$ , которые получили относительно небольшие коэффициенты для обеспечения адекватности модели. В этом случае уравнение регрессии получается в следующем виде

$$\hat{y} = 33,46875 + 1,08125X_2 + 1,31875X_3 + 1,43125X_1X_2 - 1,28125X_1X_3$$

В данном случае адекватность обеспечена 98,2%. Показываем результаты в таблице 3.



Таблица 3 Матрица результатов эксперимента

№ 1	Промежутки факторов			Результаты опытов					
				Отклик					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$\bar{y}_{i1}$	$\bar{y}_{i2}$	$\bar{y}_u$	$S_u^2$	$\hat{y}_u$	$R_0(\%)$
1	-	-	-	29,5	33,7	31,6	8,82	31,78	1,2
2	+	-	-	30	32,8	31,4	3,92	30,92	1,53
3	-	+	-	28,6	31,8	30,2	5,12	30,52	1,055
4	+	+	-	33,8	37	35,4	5,12	35,95	1,53
5	-	-	+	34,4	37,8	36,1	5,78	36,42	0,88
6	+	-	+	28,8	32,1	30,4	5,446	30,98	1,78
7	-	+	+	34,4	37,8	36,1	5,78	35,72	1,05
8	+	+	+	35	38	36,5	4,5	36,02	1,31
							1,76		

б) Линейная регрессия по критерию Фишера

$$\bar{y} = 33.47 - 0.031 X_1 + 1.08 X_2 + 1.32 X_3 \quad (9)$$

Видим статистику

$$F = \frac{S_{oc}^2}{S_y^2} = 1,396$$

Согласно критерию Фишера, гипотеза адекватности выполняется, если выполняется это неравенство  $F < F_{\alpha, k_1, k_2}$ .

Находим в таблице  $k_1 = N - k - 1 = 4$ ,  $k_2 = N(m-1) = 8$ .

$$F_{\alpha, k_1, k_2} = 3,01$$

Критерий Фишера будет уместен, поскольку выполняется неравенство  $F < F_{\alpha, k_1, k_2}$ . Поэтому рекомендуется использовать линейную регрессию (9).

Чтобы использовать уравнение регрессии на практике, можно будет построить пространственную поверхность значений  $\bar{y} = F(X_1, X_2, X_3) = const$  различных исходящих параметров  $\bar{y}$  и с ее помощью определить точки, в которых ответ достигает максимума-минимума функции. В связи с этим обычно используются кривые, которые формируются при неизменных значениях входного фактора, где интервал изменения поверхности  $\bar{y} = F(X_1, X_2, X_3) = const$  невелик. В нашем случае в качестве такого входного фактора можно выбрать второй фактор  $X_3$ . В связи с этим уравнение поверхности  $\bar{y} = F(X_1, X_2, X_3) = \bar{y}_0 = const$  в плоскости  $(X_3, X_2)$  при различных значениях первого фактора  $X_1 = X_{10} = const$ , фиксированного в интервале  $-1 < X_2 < 1$ , выглядит следующим образом



$$X_3 = (\bar{y}_0 - b_0 - 1.08 X_2 + 0.031 X_{10}) / 1,32 \quad (3.10)$$

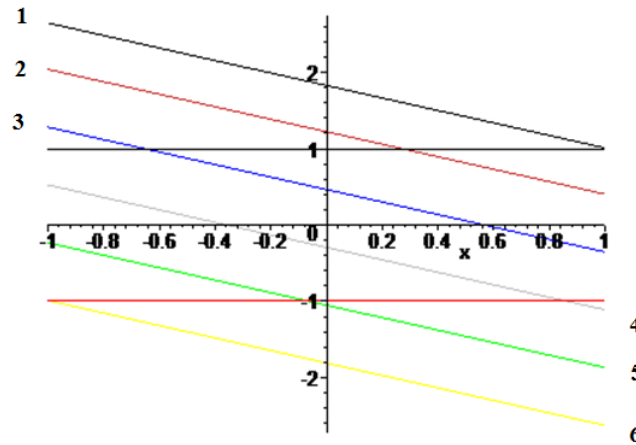


Рис.3.11. Графики зависимости третьего фактора  $X_3$  со вторым фактором  $X_2$  при разных значениях выходного параметра  $\bar{y} = \bar{y}_0$ , когда первый фактор  $X_1 = 1$  (максимальное значение фактора):

$$1 - y_0 = 31, 2 - y_0 = 32, 3 - y_0 = 33, 4 - y_0 = 34, 5 - y_0 = 35, 6 - y_0 = 35.85$$

Графики получаются по этой формуле. Графики, в которых выходной параметр имеет разные значения при  $\bar{y}_0$  и  $X_1 = 1$ , показаны на рисунке 2. Поскольку первый фактор в выражении (3.10) имеет очень низкий коэффициент  $X_1$ , то есть равен 0,031, этот фактор практически не влияет на результаты. Поэтому, еще больше упрощая уравнение регрессии, запишем в виде прямой линии следующим образом.

$$X_3 = (\bar{y}_0 - b_0 - 1.08 X_2) / 1,32$$

**Вывод.** Математический расчет адекватности полученных уравнений показал хорошую сходимость моделей и результатов экспериментов. Таким образом, получена система уравнений, которая позволяет вести направленный поиск оптимальных параметров волокноочистителя. По результатам проведенных полнофакторных экспериментов установлены рациональные параметры количество лепестков и градус расположения лепестков на поверхность пильного диска волокноочистителя.

### Литература

1. A. Djuraev, Sh, Madrakhimov, A. Bobomatov, and A. Mahmudov. Development of a resource-saving design and substantiation of the parameters of the composite cam lobe mechanism of the weaving machine // AIP Conference Proceedings 2467, 060008 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0093383>
2. Б. Мардонов и др. Исследования ударного процесса летучки о жесткую плоскость и методики использования экспериментальных данных для изучения движения летучки по сетчатой поверхности барабана // Международный научный журнал UNIVERSUM технические науки, № 1 (82), январь, 2021 г.
3. Д. М. Мухаммадиев. Математические модели и алгоритм управления технологическим процессом дженирования // Общая и прикладная механика Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2011, № 4 (2), с. 245–247.



4. Максудов Э. Т., Аминов Х.Х., Абдуразаков Э.К. Изыскание методов повышения качества хлопкового волокна на хлопкоочистительных заводах // Проблемы текстиля. Ташкент. 2016 г.-№3,-С. - 4-9.
5. Громова Е.И. и др. Экспериментальное исследование причин укорочения волокна во время очистки // Тез. Докл. международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы переработки льна в современных условиях» - Кострома -2008. – С. 87-94.
6. Умарходжаев Д. Х. Разработка высокоэффективной технологии очистки хлопкового волокна при переработке трудно-очищаемого и машинного сбора хлопка – сырца. // Дисс... док. фил. (PhD) по тех. наук. Ташкент 2020 г. с. 79-85.
7. Аминов Х. Х. Разработка и внедрение высокоэффективного двухбарабанного волоконоочистителя // Дисс... док. фил. (PhD) по тех. наук. Ташкент 2020 г. с. 43-47.
8. Mavlyanov A. P., Abdusamatov A.A., Azamjonov A.Sh. New saw blade for cleaning cotton fiber // IJIEMR, Volume 09, Issue 12 - P. 206-210. [https://DOI: 10.48047/IJIEMR/V09/I12/35](https://DOI:10.48047/IJIEMR/V09/I12/35)