

Анализ результатов эксперимента оценки качества смешивания разнородных волокон

С.Н. Виниченко, Д. В. Масанов, Е.А. Рыжкова

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва

Аннотация: В статье представлены результаты полного факторного эксперимента и проведен анализ оценки влияния различных факторов, таких, как количество переходов на ленточной машине, характеристики инфракрасного лазерного диода и влажности материала, на величину отклика сигнала при прохождении инфракрасного излучения через ленту.

Ключевые слова: качество смешивания волокон, инфракрасный метод оценки, матрица планирования, уравнение регрессии, адекватность модели.

Повышение качества любой выпускаемой продукции, а также эффективность производственных процессов – это одни из основных задач, которые остаются актуальными и на данный момент. В связи с этим, проведение научных исследований в области оценки качества смешивания играет важную роль в различных отраслях производства [1-3]. Вопрос о контроле качества смешивания разнородных волокон уже не раз поднимался как в исследованиях механико-технологических процессов [2,4], так и в способах оценки неровности распределения волокон в полуфабрикатах прядильного производства [5-7]. Однако, на данный момент нет конкретного решения данной проблемы. При этом проведенные исследования показали, что одним из возможных способов оценки качества смешивания натуральных и химических волокон является применение метода, основанного на инфракрасной спектроскопии [8,9]. Однако, следует учитывать особенности взаимодействия ИК-излучения с исследуемым материалом [10,11].

Известно, что одним из инструментов, способствующих реализации системы автоматического контроля и управления, является математический метод планирования эксперимента, который позволяет не только получить

математическую модель объекта или процесса, но и с необходимой точностью описать изучаемое явление [12, 13]. Поэтому, с целью улучшения технологического процесса и оценки качества смешивания волокон, а также для быстрого определения факторов, влияющих на изменение выходного сигнала инфракрасного излучения, был применен экспериментальный метод – полный факторный эксперимент (ПФЭ).

С учетом того обстоятельства, что при ранее проводимых исследованиях уже были выявлены некоторые влияющие факторы (такие, как плотность ленты и ее состав) [14], для оценки функции отклика инфракрасного устройства качества смешивания волокон шерсти и акрила на ленточной машине были выделены три основных фактора i : X_1 – количество переходов на ленточной машине, а, следовательно, качество смешивание волокон (т.е. однородность ленты); X_2 – изменение питания инфракрасного лазерного диода; X_3 – изменение влажности, так как шерсть из-за своих физико-механических свойств обладает высокой гигроскопичностью.

Отсюда, для определения влияния управляемых (X_1 и X_2) и неуправляемых (X_3) факторов на состояние системы, т.е. функцию отклика \bar{y} , была построена матрица планирования ПФЭ 2^3 .

Таблица № 1.

Матрица планирования и результаты ПФЭ 2^3

№	X_1	X_2	X_3	\bar{y}
1	-	-	-	294
2	+	-	-	310
3	-	+	-	300
4	+	+	-	316
5	-	-	+	318
6	+	-	+	272
7	-	+	+	322
8	+	+	+	278

Результаты данного экспериментального плана, с учетом как парных, так и тройных взаимодействующих факторов, позволяют провести оценку коэффициентов уравнения регрессии:

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

где коэффициенты b_0 , b_i и b_{ij} , являющиеся выборочными оценками теоретических коэффициентов, определяются, исходя из данных, представленных в таблице № 2, по формулам:

$$1. \quad b_i = \frac{\sum_{k=1}^N X_{ik} \bar{y}_k}{N}, \quad \text{при } i=0 \dots 3.$$

Отсюда:

$$b_0 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = 301,$$

$$b_1 = \frac{-\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_5 + \bar{y}_6 - \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = -7.3,$$

$$b_2 = \frac{-\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_5 - \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = 2.8,$$

$$b_3 = \frac{-\bar{y}_1 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = -3.5;$$

$$2. \quad b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N X_{ik} X_{jk} \bar{y}_k}{N}, \quad \text{где } i=1 \dots 3 \text{ и } j=1 \dots 3$$

Тогда:

$$b_{12} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_5 - \bar{y}_6 - \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = 0.26,$$

$$b_{13} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_4 - \bar{y}_5 + \bar{y}_6 - \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = -15,$$

$$b_{23} = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4 - \bar{y}_5 - \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = -0.2;$$

$$3. \quad b_{123} = \frac{\sum_{k=1}^N X_{1k} X_{2k} X_{3k} \bar{y}_k}{N},$$

$$b_{123} = \frac{-\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_4 + \bar{y}_5 - \bar{y}_6 - \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = 0.2.$$

Тогда, при полученных коэффициентах уравнение регрессии (1) будет иметь вид:

$$y = 301 - 7,3X_1 + 2,8X_2 - 3,5X_3 + 0,26X_1X_2 - 15X_1X_3 - 0,2X_2X_3 + 0,2X_1X_2X_3 \quad (2)$$

Таблица № 2.

Результаты обработки данных ПФЭ

№	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	\bar{y}_k	S_k^2	y _{расч}
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	294	73,04	295,14
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	310	95,53	311,7
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	300	65,26	302,82
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	316	88,61	319,38
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	318	45	322,38
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	272	29,14	278,45
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	322	39,95	330,05
8	1	1	1	1	1	1	1	1	278	19,95	286,13

Так как результаты эксперимента характеризуются случайными числами, то для оценки коэффициентов полученного уравнения необходимо осуществить построение доверительного интервала, который при заданном уровне значимости $\alpha=0.05$ с достоверной точностью будет включать в себя истинное значение оцениваемого коэффициента β_i :

$$v_i - t\sigma_B \leq \beta_i \leq v_i + t\sigma_B \quad (3)$$

где t – значение, определяемое критерием Стьюдента; σ_B – среднеквадратическое отклонение оценки коэффициента.

В связи с этим определяется как средний разброс результатов измерений выходной величины, который характеризуется дисперсией воспроизводимости $S_{\text{воспр}}^2$, так и среднеквадратическая ошибка оценки коэффициентов σ_B .

С учетом, что в данных опытах число повторных измерений было различно, дисперсии воспроизводимости будут определяться, как средневзвешенная величина, отсюда:

$$S_{\text{воспр}}^2(\bar{y}) = \frac{\sum_{k=1}^N S_k^2 \cdot (n_k - 1)}{\sum_{k=1}^N (n_k - 1)} = \frac{7898,29}{112} = 70.52 \quad (4)$$

где n_k – число повторных измерений в k -эксперименте, а S_k^2 – несмещенная оценка дисперсии значений для каждого эксперимента.

При этом, среднеквадратическая ошибка коэффициентов составит $\sigma_b = 0.77$. Отсюда, коэффициент уравнения регрессии будет значимо отличаться от нуля, если расчетная величина t_p превысит критическое значение $t_{кр}$ критерия Стьюдента.

При числе степеней свободы $f = \sum_{k=1}^N (n_k - 1) = 112$ и уровне значимости $\alpha = 0.05$, критическое значение $t_{кр} = 1.9813718$.

Тогда, с учетом выражения (3), все коэффициенты уравнения регрессии (2) должны соответствовать условию $v_i \geq t_{кр} \sigma_{v_i}$, т.е. $v_i \geq 1.52$. Таким образом, уравнение (2) примет вид:

$$y = 301 - 7,3X_1 + 2,8X_2 - 3,5X_3 - 15X_1X_3 \quad (5)$$

Оценка адекватности полученного уравнения регрессии позволит ответить на вопрос о точности предсказываемых результатов наблюдения. Для этого находятся расчетные значения $y_{\text{расч}}$ и вычисляется остаточная дисперсия, т.е. дисперсия неадекватности:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{k=1}^N (y_{\text{расч}} - \bar{y})_k^2}{N - l} = 68.36$$

где l – число значимых коэффициентов уравнения, т.е. отличных от нуля.

Отношение дисперсии неадекватности $S_{\text{ад}}^2$ к выше найденной дисперсии воспроизводимости $S_{\text{воспр}}^2$ (4) представляет собой расчетное значение критерия Фишера:

$$F_p = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{воспр}}^2(\bar{y})} = 0.969,$$

которое является при заданном уровне значимости значительно меньше критического коэффициента Фишера ($F_{кр} = 2,69$), что удостоверяет адекватность полученной модели регрессионного уравнения (5).

Проведенный анализ явно показывает, что существенное влияние на отклик оказывает парное взаимодействие факторов X_1X_3 , т.е. взаимодействие числа переходов на ленточной машине и изменения влажности ленты. При этом отрицательный коэффициент при X_1X_3 определяет отрицательное воздействие данных параметров на отклик при увеличении парного взаимодействия данных факторов. Отклик будет уменьшаться и при увеличении факторов X_1 и X_3 , которые также имеют значительное влияние на величину сигнала инфракрасного излучения при прохождении через ленту. Это обуславливается тем, что разнородные волокна различаются как спектром поглощения излучения, так и гигроскопичностью.

В данном случае, использованное излучение дает более высокую пропускную способность у синтетических волокон, нежели у шерсти, что при неравномерности их смешивания на первом переходе ленточной машины приводит к большому разбросу значений получаемого сигнала при прохождении инфракрасного излучения, также, как и при увеличении влажности ленты.

Изменение питания инфракрасного лазерного диода, наоборот улучшит результаты выходного сигнала с увеличением данного фактора X_2 .

С учетом всего вышесказанного, в дальнейшем ставится задача реализации системы контроля качества смешивания разнородных волокон на основе изменения сигнала при прохождении инфракрасного излучения через ленту.

Литература

1. Эммануэль М.В. Оценка качества перемешивания волокон разных компонентов на основе анализа срезов ровницы или пряжи // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 1962, № 3, с. 64-74; №4, с. 42-48.

2. Рашкован И.Г. Методы оценки распределения волокон по поперечным сечениям пряжи. М.: Легкая индустрия, 1970, 200 с.

3. Воронин В.В., Адигамов К.А., Петренко С.С., Сизякин Р.А. Критерии и способы оценки качества смешивания сыпучих материалов// Инженерный вестник Дона, (часть 2), 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1400

4. Севостьянов, А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. М.: Легкая индустрия, 1980, 392 с.

5. Винтер Ю.М. Определение наилучшего показателя неравномерности распределения смеси волокон в тангенциальном направлении сечения пряжи методом статистического моделирования // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014, № 3 (351). С. 105-109.

6. Саксина Л.Ф., Труевцев Н.И., Кофман Д.М. Оценка равномерности смешивания. Известия Вузов. Технология текстильной промышленности № 6, 1969, с. 15-17.

7. Звёздочкина О.В., Рыклин Д.Б., Ринейский К.Н. Исследование процесса смешивания волокон при производстве многокомпонентной льносодержащей пряжи. Вестник Витебского государственного технологического университета. Выпуск 18/ УО «ВГТУ». Витебск, 2010. С. 25-29.

8. Vinichenko S.N., Nikonov M.V., Ryzhkova E.A. Analysis and processing of data obtained by measuring spinning sliver by optical method in infrared spectrum // Fibre Chemistry, 2020, 51 (6), pp. 480-482.

9. Козлов А.Б., Королев Ю.Н., Румянцев Ю.Д., Ермаков А.А., Тимохин А.Н. Оптоэлектронные первичные преобразователи на базе световодной техники: Монография. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008, 248 с.

10. Виниченко С.Н., Казарова А.Д. Особенности взаимодействия инфракрасного излучения со смешанными волокнами. // Моделирование в

технике и экономике: сборник материалов международной научно-практической конференции. Витебск.: Витебский государственный технологический университет, 2016. С. 46-49.

11. Kazarova A.D., Ryzhkova E.A. Aspects of the transit of a narrow beam of infrared radiation through a fibrous material // *Fibre chemistry*, 2018. Vol. 49. № 6. pp.400-404.

12. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Серебряная И.А., Гольцов Ю.И., Явруян Х.С. Оптимизация факторов, влияющих на эффективность обработки пенобетонных смесей воздействием переменного электрического поля// *Инженерный вестник Дона*, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2198

13. Ровенькова Т.А. Планирование эксперимента в производстве химических волокон. М.: Химия, 1977. С.176.

14. Никонов М.В., Виниченко С.Н., Рыжкова Е.А. Оценка данных полного факторного эксперимента при измерении состав чесальной ленты в инфракрасном спектре. *Химические волокна*, №1, 2020. С. 67-69

References

1. E`mmanue`l` M.V. *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Tekhnologiya tekstil`noj promy`shlennosti*, 1962, № 3, pp 64-74; №4, pp. 42-48.

2. Rashkovan I.G. *Metody` ocenki raspredeleniya volokon po poperechny`m secheniyam pryazhi [Methods for estimating the distribution of fibers across yarn cross-sections]*. М.: Legkaya industriya, 1970, 200 p.

3. Voronin V.V., Adigamov K.A., Petrenko S.S., Sizyakin R.A. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1400

4. Sevost`yanov, A.G. *Metody` i sredstva issledovaniya mexaniko-tekhnologicheskix processov tekstil`noj promy`shlennosti: uchebnik dlya vuzov [Methods and means of research of mechanical and technological processes of the textile industry]*. М.: Legkaya industriya, 1980, 392 p.

5. Vinter Yu.M. Izvestiya Vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti, 2014, № 3 (351), pp. 105-109.
 6. Saksina L.F., Truevcev N.I., Kofman D.M. Izvestiya Vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti № 6, 1969, pp. 15-17.
 7. Zvyozdochkina O.V., Ry`klin D.B., Rinejskij K.N. Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta. Vy`pusk 18/UO «VGTU». Vitebsk, 2010. pp. 25-29.
 8. Vinichenko S.N., Nikonov M.V., Ryzhkova E.A. Fibre Chemistry, 2020, 51(6), pp. 480-482.
 9. Kozlov A.B., Korolev Yu.N., Rumyanec Yu.D., Ermakov A.A., Timoxin A.N. Optoe`lektronny`e pervichny`e preobrazovateli na baze svetovodnoj texniki: Monografiya. [Optimization of factors affecting the efficiency of processing foam concrete mixtures by alternating electric field]. M.: MGTU im. A.N. Kosy`gina, 2008, 248 p
 10. Vinichenko S.N., Kazarova A.D. Modelirovanie v texnike i e`konomie: sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Vitebsk.: Vitebskij gosudarstvenny`j texnologicheskij universitet, 2016, pp. 46-49.
 11. Kazarova A.D., Ryzhkova E.A. Fibre chemistry, 2018. Vol. 49. № 6, pp.400-404.
 12. Shherban` E.M., Stel`max S.A., Serebryanaya I.A., Gol`czov Yu.I., Yavruyan X.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2198
 13. Roven`kova T.A. Planirovanie e`ksperimenta v proizvodstve ximicheskix volokon [Experiment planning in the production of chemical fibers]. M.: Ximiya, 1977. 176 p.
 14. Nikonov M.V., Vinichenko S.N., Ry`zhkova E.A. Ximicheskie volokna, №1, 2020, pp. 67-69.
-