

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ РАЗНОРОДНЫХ ВОЛОКОН,
ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**COMPUTER ANALYSIS OF REGRESSION MODELS OF THE MIXING QUALITY
OF DISSIMILAR FIBERS OBTAINED AS A RESULT A COMPLETE FACTORIAL
EXPERIMENT**

С.Н. ВИНИЧЕНКО, П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Д.В. МАСАНОВ

S.N. VINICHENKO, P.A. SEVOSTYANOV, D.V. MASANOV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: vini80_06@mail.ru

В статье представлены исследования компьютерной имитационной модели уравнений регрессий, полученных в результате полного факторного эксперимента оценки влияния различных параметров на величину отклика сигнала с инфракрасного измерительного устройства при прохождении инфракрасного излучения через смесь из разнородных волокон. Полученные результаты моделирования показали, что вид графиков автокорреляционных функций определяется линейной плотностью исследуемого продукта. При этом коэффициент вариации изменения сигнала, как показало моделирование, не превышает 10%. Поддержание же линейной плотности практически в неизменном состоянии позволит не только уменьшить коэффициент вариации, но и более точно определить зависимость отклика сигнала от других факторов, таких как влажность продукта и качество смешивания волокон в сечении. Так, равномерность распределения волокон в сечении ясно указывает на изменения амплитуды автокорреляционной функции и, следовательно, изменения уровня выходного сигнала. К тому же низкая и стабильная линейная плотность позволит осуществить более точный контроль изменения исследуемого параметра.

The article presents studies of a computer simulation model of regression equations obtained as a result of a complete factorial experiment evaluating the influence of various parameters and the magnitude of the signal response from an infrared measuring device when infrared radiation passes through a mixture of dissimilar fibers. The obtained simulation results showed that the type of graphs of autocorrelation functions is determined by the influence of the linear density of the product under study. At the same time, the coefficient of variation of the signal change, as shown by the simulation, does not exceed 10%. Maintaining the linear density in an almost unchanged state will not only reduce the coefficient of variation, but also more accurately determine the dependence of the signal response on other factors, such as the moisture content of the product and the quality of fiber mixing in the cross section. Thus, the uniformity of the fiber distribution in the cross section clearly indicates changes in the amplitude of the autocorrelation function and, consequently, changes in the output signal level. In addition, a low and stable linear density will allow for more accurate control of changes in the parameter under study.

Ключевые слова: уравнение регрессии, компьютерное моделирование, автокорреляционная функция, имитационная модель.

Keywords: regression equation, computer modeling, autocorrelation function, simulation model.

Построение математической модели исследуемого объекта позволяет в той или иной степени дать оценку его параметрам при решении научных задач. Однако для каждого объекта можно построить сколько угодно различных моделей, это зависит как от цели их создания, так и от условий, при которых осуществляются данные исследования. При этом соответствие между моделью и объектом достигается выбором метода исследования и его реализацией, чему есть множество примеров [1...3].

Особую роль в оценке данных играют регрессионные модели, позволяющие оценить отклик объекта или системы на изменяющиеся воздействия. Так, для инфракрасного метода оценки качества смешивания натуральных и химических волокон в лентах, вырабатываемых на чесальных и ленточных машинах, с целью построения математической модели разрабатываемого средства измерения были проведены полные факторные эксперименты (ПФЭ). Хотя метод инфракрасной спектроскопии уже широко применяется для оценки различных технологических параметров, в том числе и параметров текстильной промышленности [4, 5], но определение равномерного распределения разнородных волокон в поперечных сечениях полупродуктов прядильного производства до сих пор является новым и неизученным. И реализация данного метода может служить решением проблемы неразрушающего контроля качества смешивания натуральных и химических волокон [6].

Проведенные ранее эксперименты [7, 8] позволили получить уравнения регрессии и охарактеризовать зависимость изменения сигнала на ИК-фотоприемнике от различных факторов.

В первом натурном эксперименте [7] проводилась оценка отклика на изменение расположения синтетического и хлопкового волокна в сечении полупродуктов пря-

дильного производства (X_{sm}). Также определялось влияние изменения линейной плотности исследуемой смеси (X_{Lp}) и ее влажности компонентов (X_{vl}) на величину сигнала ИК-фотоприемника:

$$Y_{hl} = 299 - 19X_{sm} - 111X_{Lp} + 51X_{sm}X_{Lp} + 22X_{Lp}X_{vl} + 16X_{sm}X_{Lp}X_{vl}. \quad (1)$$

Полученное уравнение регрессии (1) характеризует наиболее сильное влияние линейной плотности ленты на изменения сигнала фотоприемника. При этом следует отметить, что данное влияние также сохраняется и в парных взаимодействиях как при изменении перемешивания волокон, так и при изменении их влажности.

Во втором натурном эксперименте [8] исследовалась зависимость интенсивности выходного потока на фотоприемнике от качества перемешивания волокон шерсти и акрила в поперечных сечениях лент (X_{sm}), полученных с различных переходов ленточной машины. Также проводилась оценка влияния таких факторов, как изменение питания инфракрасного лазерного диода, вызывающего изменения интенсивности излучения входного потока (X_{int}) и изменение влажности (X_{vl}) продукта:

$$Y_{sh} = 301 - 7,3X_{sm} + 2,8X_{int} - 3,5X_{vl} - 15X_{sm}X_{vl}. \quad (2)$$

В результате полученное уравнение регрессии характеризует существенное влияние на отклик парного взаимодействия числа переходов на ленточной машине и изменения влажности ленты. Это обуславливается тем, что разнородные волокна различаются как спектром поглощения излучения [9], так и гигроскопичностью.

Однако полученные с помощью натуральных экспериментов уравнения дают лишь общее представление об объекте исследо-

вания. Поэтому применение инструментов компьютерного моделирования позволит расширить теоретические исследования анализируемого объекта [10, 11].

В результате имитационного моделирования уравнений регрессий (1) и (2), где каждый из факторов изменялся в определенных пределах случайным образом, получены автокорреляционные функции (АКФ) модели (рис. 1: а – автокорреляционные функции первого уравнения регрессии; б – автокорреляционные функции второго уравнения регрессии).

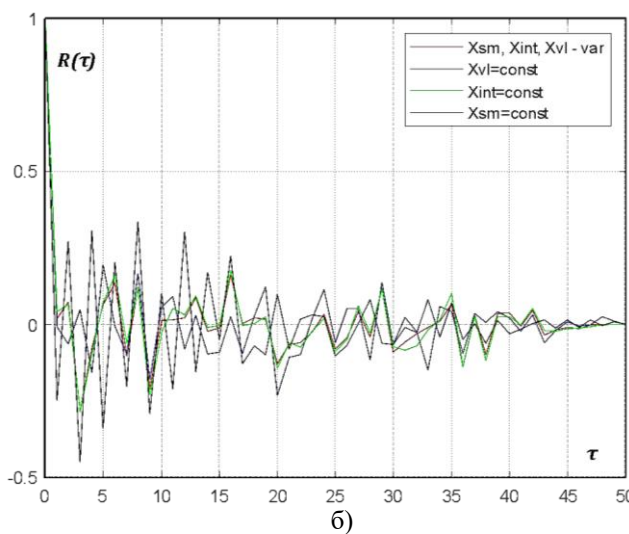
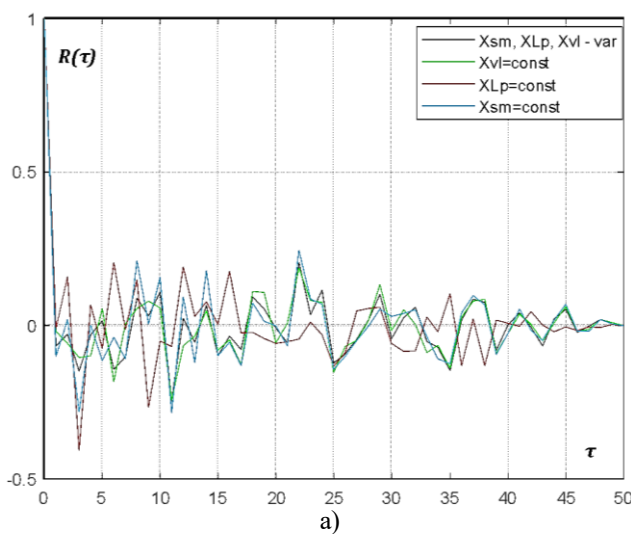


Рис. 1

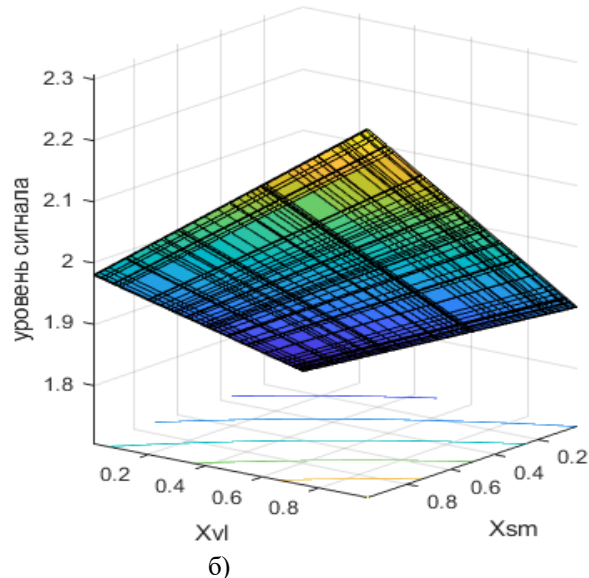
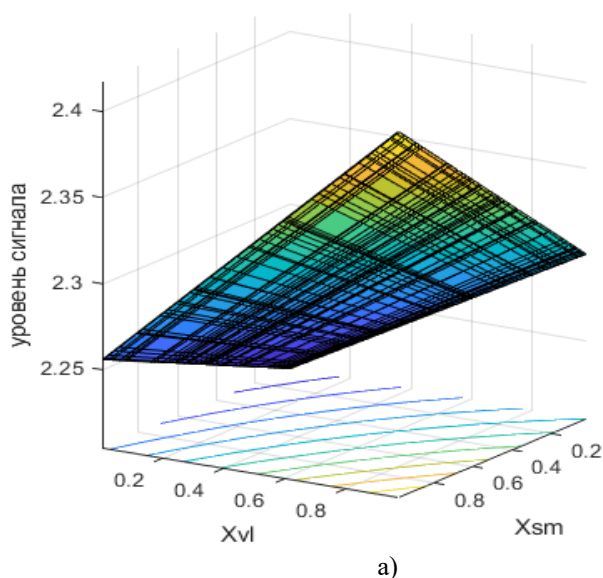


Рис. 2

При этом полученный коэффициент вариации (CV) модели сигнала не превышает 10%, а при стабильной линейной плотности

Как видно из графиков (рис. 1, а), линейная плотность, хоть и оказывает влияние на колебания АКФ, но не перекрывает воздействия других влияющих факторов, что хорошо видно, если поддерживать один из факторов в неизменном состоянии.

Если в первом случае при $X_{Lp} = \text{const}$ изменение модели выходного сигнала носит ярко выраженный характер, то, как видно из рис. 1, б, при неизменной линейной плотности данный сигнал определяется качеством перемешивания волокон, т. е. количеством проходов на ленточной машине.

Следует отметить, что построенная модель регрессионного уравнения (1) не только ясно демонстрирует изменения максимального уровня сигнала в зависимости от линейной плотности (рис. 2 – модель 1 уравнения регрессии при минимальной (а) и максимальной (б) линейной плотности), но и показывает возможность более широкой оценки изменений по другим факторам. То есть, чем меньше линейная плотность ленты, тем выше уровень сигнала и, следовательно, более точная оценка отклонений по качеству смешивания волокон и их влажности.

ВЫВОДЫ

Проведено компьютерное моделирование уравнений регрессий, полученных в результате натуральных экспериментов при оценке изменения уровня сигнала на фотоэлементе средства измерения качества смешивания разнородных волокон в ленте.

Построенные графики АКФ и трехмерной модели характеризуют ярко выраженное влияние линейной плотности на уровень сигнала.

При поддержании неизменной линейной плотности параметры выходного сигнала в значительной степени зависят от распределения волокон в сечении смеси, что в свою очередь является основой для реализации ИК-метода оценки качества смешивания разнородных волокон.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Переборова Н.В., Литвинов А.М., Макарова А.А., Киселев С.В.* Математическое моделирование и компьютерное прогнозирование деформационных процессов морских полимерных канатов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* 2022. № 3(399). С. 205...213. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_205.
2. *Долгова Е.Ю., Чижик М.А.* Многофункциональная цифровая модель текстильного материала // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* 2023. № 3(405). С. 183...187. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_183.
3. *Кенжибаева Г.С., Сулейменова Т.Н., Иманкулова М.Н. и др.* Математическое моделирование влияния технологических параметров на процесс изготовления нетканого полотна // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной про-*

мышленности. 2022. № 2(398). С. 109...114. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_109.

4. *Козлов А.Б., Ермаков А.А.* Микропроцессорный инфракрасный оптоэлектронный преобразователь плотности волокнистого материала // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности.* 1995. №2. С. 107...110.

5. *Мухитдинов М.* Оптоэлектронные устройства контроля и измерения в текстильной промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 200 с.

6. *Никонов М.В., Рыжкова Е.А.* Подбор типовой архитектуры системы сбора данных для анализа качества смешивания волокнистых материалов методом ИК-спектроскопии // *Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020).* Ч. 2. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. С. 200...203.

7. *Vinichenko S.N., Nikonov M.V., Ryzhkova E.A.* Evaluation of Results from a Full Factorial Experiment for IR Measurements of a Spinning-Sliver Composition // *Fibre Chemistry.* 2020. Vol. 52, No. 1. P. 71...73. – DOI 10.1007/s10692-020-10154-1.

8. *Виниченко С.Н., Масанов Д.В., Рыжкова Е.А.* Анализ результатов эксперимента оценки качества смешивания разнородных волокон // *Инженерный вестник Дона.* 2022. № 10(94). С. 151...159.

9. *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, No. 6. P. 400...404. – DOI 10.1007/s10692-018-9907-1.

10. *Винтер Ю.М., Горячая И.С., Севостьянов П.А.* Применение информационных технологий и компьютерного моделирования для оценки показателей неравномерного смешивания волокон // *Компьютерные технологии в образовательной и научной деятельности: сб. науч. тр. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина,* 2001. С. 34...37.

11. *Винтер Ю.М.* Определение наилучшего показателя неравномерности распределения смеси волокон в тангенциальном направлении сечения пряжи методом статистического моделирования // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* 2014. № 3(351). С. 105...109.

REFERENCES

1. *Pereborova N.V., Litvinov A.M., Makarova A.A., Kiselyov S.V.* Mathematical modeling and computer prediction of deformation processes of marine polymer ropes // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 3(399). P. 205...213. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_205.
2. *Dolgova E.Yu., Chizhik M.A.* Multifunctional digital model of textile material // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2023. № 3(405). P. 183...187. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_183.

3. *Kenzhibaeva G.S., Suleimenova T.N., Imankulova M.N. et al.* The mathematical modeling of the influence of technological parameters on the manufacturing process of nonwoven fabric // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. № 2(398). P. 109...114. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_109.
4. *Kozlov A.B., Ermakov A.A.* Microprocessor infrared optoelectronic density converter of fibrous material // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 1995, No. 2, P. 107...110.
5. *Mukhitdinov M.* Optoelectronic control and measurement devices in the textile industry. Moscow: Light and food industry, 1982. 200 p.
6. *Nikonov M.V., Ryzhkova E.A.* Selection of a typical architecture of a data collection system for analyzing the quality of mixing fibrous materials by IR spectroscopy // *Design, technologies and innovations in the textile and light industry (INNOVATIONS 2020)*. Part 2. Moscow: Kosygin Russian State University, 2020. P. 200...203.
7. *Vinichenko S. N., Nikonov M. V., Ryzhkova E. A.* Evaluation of Results from a Full Factorial Experiment for IR Measurements of a Spinning-Sliver Composition // *Fibre Chemistry*. 2020. Vol. 52, No. 1. P. 71...73. – DOI 10.1007/s10692-020-10154-1
8. *Vinichenko S. N., Masanov D. V., Ryzhkova E. A.* Analysis of the results of an experiment evaluating the quality of mixing of dissimilar fibers // *Engineering Bulletin of the Don*. 2022. № 10(94). P. 151...159.
9. *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, No. 6. Pp. 400...404. – DOI 10.1007/s10692-018-9907-1
10. *Winter Yu.M., Goryaya I.S., Sevostyanov P.A.* Application of information technologies and computer modeling to assess the indicators of uneven fiber mixing // *Collection of scientific papers "Computer technologies in educational and scientific activities"*. Moscow: Kosygin Moscow State Technical University, 2001. P. 34...37.
11. *Winter Yu.M.* The determination of the best index to unevenness of the distribution mixture filaments in tangential direction of the section of the yarn by method of statistical modeling // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2014. № 3(351). P. 105...109.

Рекомендована кафедрой автоматизации и промышленной электроники РГУ им. А.Н. Косыгина.
Поступила 23.05.24.