

## Корреляционные и спектральные свойства смешанного потока по составу компонентов

*П.А. Севостьянов, С.Н. Виниченко*

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

**Аннотация:** В статье представлены исследования на компьютерной имитационной статистической модели взаимосвязи между характеристиками потоков по линейной плотности и по доле компонентов в смешанном потоке. Приведены результаты оценки влияния заправочной доли компонента на среднее и среднеквадратическое отклонение доли 1-го компонента в смеси, определен вид автокорреляционных функций линейной плотности смешанного потока и доли 1-го компонента в смешанном потоке, показаны оценки спектральной плотности дисперсии для линейной плотности смешанного потока и доли 1-го компонента в смешанном потоке.

**Ключевые слова:** смешивание потоков волокон, линейная плотность, доля компонента, автокорреляционная функция, спектральная плотность дисперсии, среднеквадратическое отклонение.

Для производства многих изделий, в том числе, изделий текстильного производства, используют материалы из смесей двух и более компонентов. Одним из способов формирования смеси является сложение нескольких потоков отдельных компонентов. Например, для получения смеси из натуральных и химических волокон на лентосоединительной машине проводится сложение лент из волокон шерсти и нитрона. Однако особенностью данного метода смешивания является ярко выраженная неровность по структуре – "ручьистость" – в смешанной ленте. Для устранения "ручьистой" структуры поперечных сечений смешанного потока используют различные способы организации миграции волокон в пределах этих сечений. Так, последующее многократное сложение и утонение смешанной ленты вытяжными приборами ленточных машин обеспечивает миграцию волокон и хорошее перемешивание компонентов во всех поперечных сечениях, практически полностью устраняя "ручьистость".

Отметим, что складываемые потоки компонентов всегда имеют неравномерную линейную плотность по их длине. Поэтому, наряду со средним значением  $S_{rm}$ , линейную плотность описывают такими характеристиками, как коэффициент вариации  $CV_m$ , распределение  $f(m)$ , автокорреляционная функция (АКФ)  $R_m(\tau)$  и спектральная плотность дисперсии (СПД)  $S_m(\omega)$ . Правила преобразования перечисленных характеристик при сложении потоков хорошо известны и детально исследованы [1, 2]. Однако аналогичные характеристики для доли  $p$  компонента от общей линейной плотности  $m_s$  смешанного потока вдоль его длины остались практически не изученными. Это объясняется нелинейностью связи между линейной плотностью компонента и его долей. Предложенные же лабораторные методы исследования распределения волокон и оценки долевого состава [3-5] требуют больших материальных и трудовых затрат.

Для двухкомпонентной смеси зависимость доли компонента от линейной плотности имеет вид:

$$p(t) = m_1(t)/m_s(t), \quad m_s(t) = m_1(t) + m_2(t) \quad (1)$$

Здесь  $m_1$  и  $m_2$  – линейная плотность первого и второго компонента соответственно. Аргумент  $t$  характеризует координату вдоль потока, который также интерпретируют как время измерения линейной плотности потока по мере его продвижения через некоторое сечение, в котором находится измерительное устройство [6]. Все функции, входящие в приведённые выражения, являются случайными, т.е. описывают вероятностные процессы.

При анализе свойств одного компонента (средней доли, вариации доли и т.д.) в многокомпонентной смеси, состоящей более чем из двух компонентов, можно остальные компоненты рассматривать как один, т.е. представить их как второй компонент, и таким образом свести задачу о многокомпонентной смеси к задаче о двухкомпонентной смеси.

---

Поскольку для многих применений смешанных потоков важна их равномерность именно по доле компонентов [7, 8], то проведено исследование взаимосвязей между перечисленными выше характеристиками потоков по линейной плотности и по доле компонентов в смешанном потоке с применением компьютерной имитационной статистической модели (ИСМ) [9, 10] рассматриваемой системы.

Примем следующие предположения и значения числовых параметров. Средняя линейная плотность смешанного потока  $S_{rm_s}$ , заданная ("заправочная") доля 1-го компонента  $p_z$ , коэффициенты вариации линейной плотности компонентов  $CV_1$  и  $CV_2$ , закон распределения линейной плотности компонентов – нормальный, что обосновано центральной предельной теоремой теории вероятностей. Значения линейной плотности компонентов независимы друг от друга. Аргумент  $t$  - дискретный с шагом  $dt=1$ . Все вероятностные процессы стационарны в узком смысле [1].

Для моделирования корреляционных свойств суммируемых потоков компонентов используем модель авторегрессии 1-го порядка (АР-1) [11].

Центрированные значения АР-1  $x(t)$  связаны рекуррентной формулой  $x(t) = a x(t - 1) + g(t)$ , в которой  $a$  – коэффициент АР-1,  $|a| < 1$ ,  $g(t)$  – центрированные значения стационарного белого шума с единичной дисперсией.

Нормированная АКФ процесса АР-1 описывается рекуррентной формулой  $R_x(\tau) = a R_x(\tau - 1)$  при  $R_x(0) = 1$  или в явном виде  $R_x(\tau) = a^\tau$ ,  $\tau \geq 0$ . Нормированная СПД процесса АР-1 равна  $S_x(\omega) = (1 + 2a \cos(\omega) + a^2)^{-1}$ ,  $0 \leq \omega \leq \pi$ .

Варьируя коэффициент  $a$  от  $-1$  до  $+1$ , можно легко управлять корреляционными и спектральными свойствами модельных линейных плотностей компонентов. Например, при  $a > 0$  АКФ убывает монотонно, при  $a < 0$  АКФ убывает с изменением знака у каждого следующего значения. Для

---

получения оценок с точностью не менее 1% при надежности (доверительной вероятности) не менее 0.95 моделировались временные ряды, имитировавшие линейные плотности складываемых потоков, длиной в 100000 отсчётов.

В первом эксперименте исследовали влияние заправочной доли компонента на среднее и среднеквадратическое отклонение (СКО) доли 1-го компонента в смеси для разных значений коэффициентов вариации  $CV_1=0:0.05:0.5$  при фиксированной  $CV_2 = 0.10$ . Результаты моделирования отображены на графиках рисунка 1, из которых следует, что СКО доли 1-го компонента имеет унимодальную зависимость от заправочной доли. Максимум данной зависимости приходится на долю  $p_z = 0.5$  при  $CV_1 = 0$  и смещается до  $p_z \approx 0.7$  при  $CV_1 = 0.5$ .

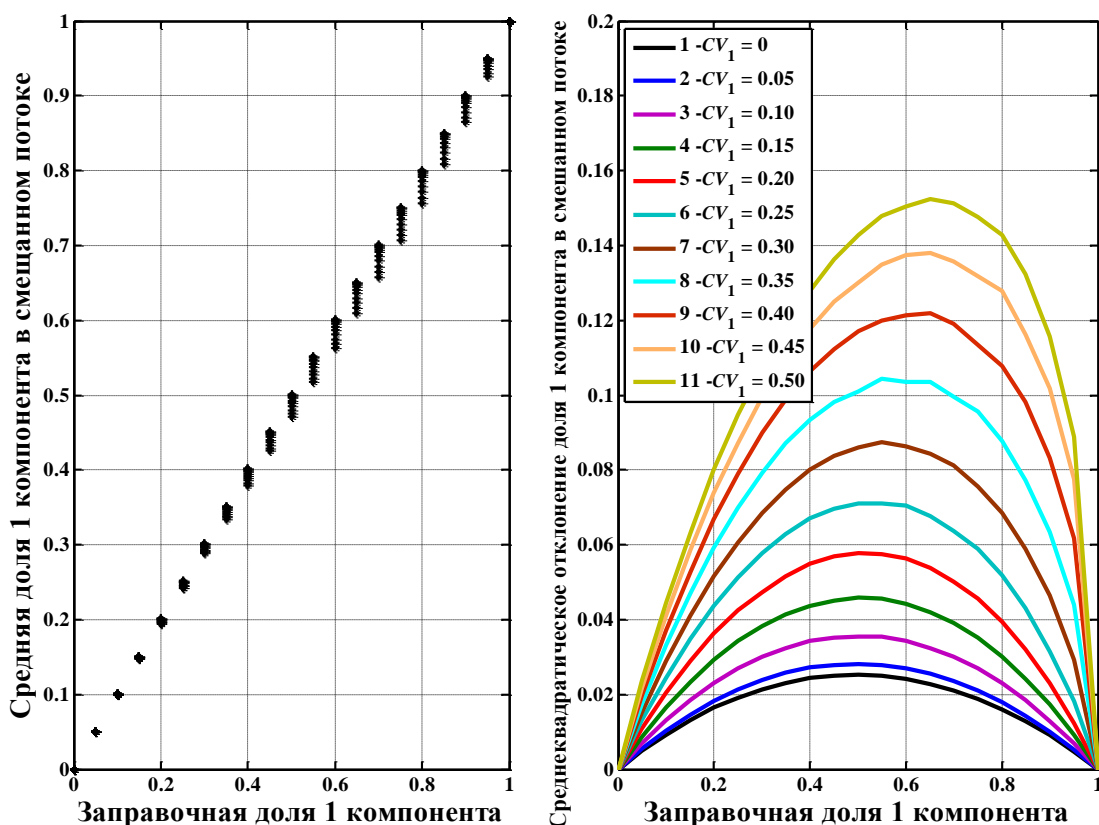


Рис. 1. – Зависимости среднего значения и СКО доли 1-го компонента от величины заправочной доли 1- компонента в смешанном потоке при разных коэффициентах вариации по линейной плотности 1-го компонента.

Во втором эксперименте исследовались форма АКФ доли 1-го компонента, ее отличия от АКФ линейной плотности смешанного потока и зависимость этих особенностей АКФ от заправочной доли 1-го компонента. При этом линейная плотность 1-го компонента моделировалась процессом AP-1 с  $a=0.9$ , а линейная плотность 2-го компонента моделировалась процессом AP-1 с  $a = -0.9$  (рис. 2).

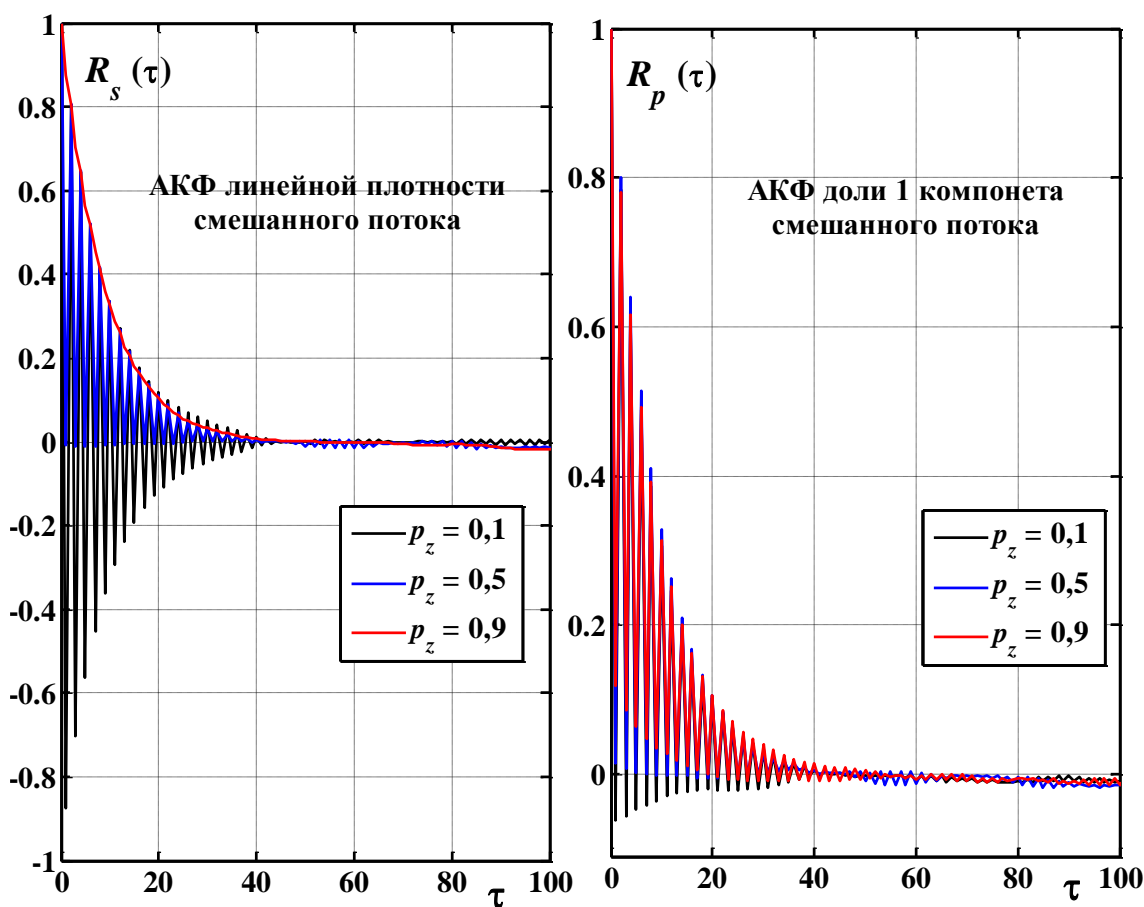


Рис. 2. – Вид АКФ  $R_s(\tau)$  линейной плотности смешанного потока и АКФ  $R_p(\tau)$  доли 1-го компонента в смешанном потоке

Эксперимент показал, что вид АКФ линейной плотности смешанного потока меняется в зависимости от АКФ линейной плотности компонента с большей долей влияния. Так, при доле 1-го компонента, равной 0.9, у которого монотонно убывающая АКФ, корреляция линейной плотности смешанного потока также убывает практически монотонно, а влияние 2-го

компонента со знакопеременной АКФ не проявляется. В АКФ доли 1-го компонента в смешанном потоке знакопеременная составляющая присутствует даже если доля 2-го компонента уменьшена до 0.1.

На рисунке 3 показаны оценки СПД для линейной плотности смешанного потока и доли 1-го компонента в смешанном потоке. Как и для АКФ, СПД подтверждают эффект проявления свойств СПД каждого компонента в СПД доли 1-го компонента независимо от величины его доли в смеси, в отличие от СПД линейной плотности смешанного потока.

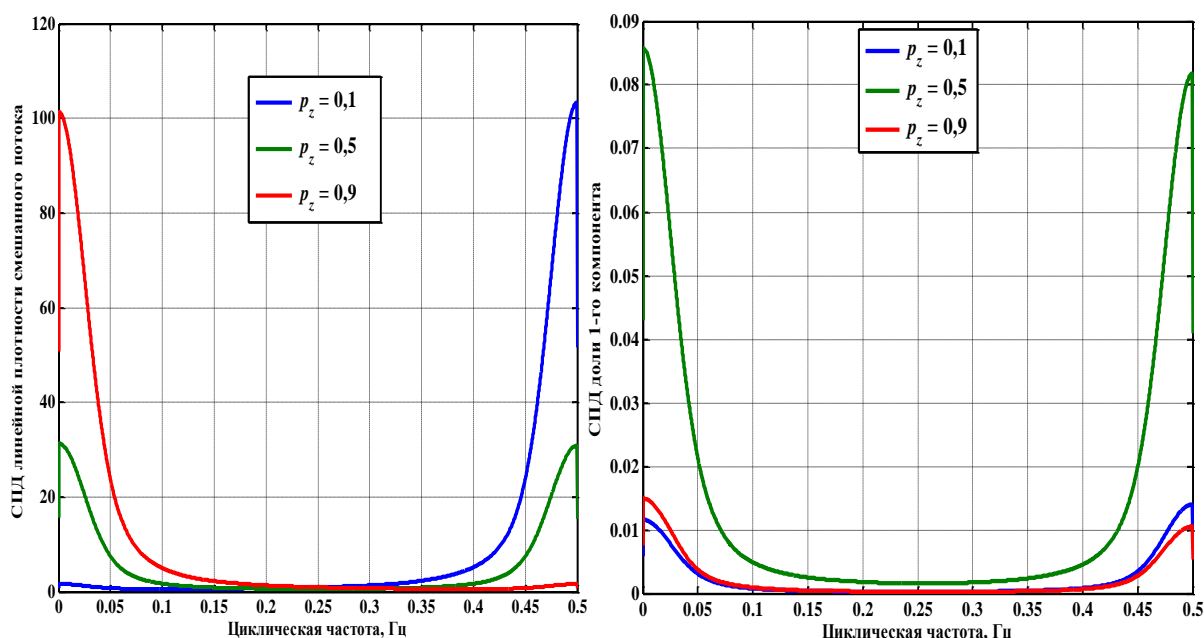


Рис.3. – Вид СПД линейной плотности смешанного потока и доли 1-го компонента в смешанном потоке при разных заправочных долях 1-го компонента

### Выводы

1. Средняя доля первого компонента практически не отличается от заправочной величины. Наибольшие отклонения средней доли от заправочной величины наблюдаются при тех же значениях заправочной доли  $p_z$ , при которых достигается максимум среднеквадратического отклонения доли 1-го компонента.

2. Вид графиков автокорреляционной функции и спектральной плотности дисперсии доли первого компонента в смешанном потоке характеризуют влияние каждого из компонентов на свойства смеси, что говорит о необходимости контроля их равномерного смешивания для улучшения тем самым качества выпускаемой продукции.

### Литература

1. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: Физматгиз. 1960. - 883 с.

2. Севостьянов А.Г. Методы исследования неровноты продуктов прядения: (Характеристики случайных функций и их применение). М.: Ростехиздат. 1962. - 386 с.

3. 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.

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

5. Саксина Л.Ф., Труевцев Н.И., Кофман Д.М. Оценка равномерности смешивания // Известие Вузов. Технология текстильной промышленности №6. 1969. с. 15.

6. Vinichenko S.N., Ryzhkova E.A., Nikonov M.V. Use of Infrared Spectroscopy for Evaluating the Quality of Fiber Mixing // Fibre Chemistry. 2019. 51(1). с. 61–63

7. Виниченко С.Н., Масанов Д. В. Модель определения долевого состава смеси натуральных и химических волокон от изменения интенсивности излучения// Инженерный вестник Дона, 2022, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7966](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7966)

8. Виниченко С.Н., Масанов Д. В. Исследование данных измерений при оценке качества смешивания разнородных волокон // Инженерный вестник Дона, 2024, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8925

9. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. М.: Статистика, 1978. 335 с.

10. Винтер Ю.М. Определение наилучшего показателя неравномерности распределения смеси волокон в тангенциальном направлении поперечного сечения нити методом статистического моделирования // Известие Вузов. Технология текстильной промышленности. № 3 (351) 2014. с. 105-109.

11. Box G. E. P., Jenkins G. M. Time series analysis, forecasting and control. San Francisco: Holden-Day Publ. 1970. 575 p.

### **References**

1. Pugachev, V.S. Teoriya sluchaynykh funktsiy i yeye primeneniye k zadacham avtomaticheskogo upravleniya [Theory of random functions and its application to automatic control problems]. M.: Fizmatgiz. 1960. 883 p.

2. Sevost'yanov A.G. Metody issledovaniya nerovnoty produktov pryadeniya: (Kharakteristiki sluchaynykh funktsiy i ikh primeneniye) [Methods of studying the unevenness of spinning products: (Characteristics of random functions and their application)]. M.: Rostekhizdat. 1962. 386 p.

3. 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.

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

5. Saksina L.F., Truevcev N.I., Kofman D.M. Izvestie Vuzov. Tekhnologiya tekstil`noj promy`shlennosti № 6. 1969. p. 15.

6. Vinichenko S.N., Ryzhkova E.A., Nikonov M.V. Fibre Chemistry. 2019. 51(1). с. 61–63

---



7. Vinichenko S.N., Masanov D. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №11.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7966](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7966)
8. Vinichenko S.N., Masanov D. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №1.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8925](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8925)
9. Kleynen Dzh. Statisticheskiye metody v imitatsionnom modelirovanii [Statistical methods in simulation modeling]. M.: Statistika, 1978. 335 p.
10. Vinter YU.M. Izvestiye Vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. № 3 (351) 2014. pp. 105-109.
11. Box G. E. P., Jenkins G. M. Time series analysis, forecasting and control. San Francisco: Holden-Day Publ. 1970. 575 p.

**Дата поступления: 15.01.2024**

**Дата публикации: 22.02.2024**