

УДК 677.022.2 : 519.248 : 004.942  
DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_2\_68

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕРОВНОТЫ ЛЕНТЫ  
ПО КОМПОНЕНТНОМУ СОСТАВУ**

**SPECTRAL PROPERTIES OF SLIVER UNEVENNESS  
BY COMPONENT MIXING RATIO**

*П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Т.А. САМОЙЛОВА*

*P.A. SEVOSTYANOV, T.A. SAMOILOVA*

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

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: petrsev46@yandex.ru

*Методом статистического моделирования исследована зависимость спектральных свойств неровноты ленты по доле компонента от неровноты линейной плотности компонентов. Установлено влияние на эту зависимость средней доли компонентов, длины волн неровноты, соотношения этих длин и фазовых смещений между волнами в компонентах, входящих в смешанную волокнистую ленту.*

*A statistical modeling method was used to investigate the influence of the sliver component linear density unevenness on the spectral properties of the component fraction unevenness. The influence on this dependence of the average ratio of components, the wavelength of irregularity, the ratio of these wavelengths and the phase shifts between the waves in the components included in mixed fiber tape was established.*

**Ключевые слова:** волокнистая лента, неровнота, линейная плотность, доля компонента, спектральная плотность дисперсии.

**Keywords:** sliver, unevenness, linear density, proportion of component, spectral density of variance.

С каждым годом возрастают объемы выпуска текстильных изделий из смешанной пряжи. Ее получают из волокнистой ленты,

составленной из нескольких, обычно двух или трех, компонентов. Одним из основных требований к ленте при ее переработке в

технологических процессах прядения является равномерность по линейной плотности. Неровнота ленты по линейной плотности измеряется и контролируется хорошо разработанными методами и средствами [1], [2]. Не менее важной является равномерность ленты по доле компонентов, которая так же, как и линейная плотность, подвержена вариациям по длине ленты [3], [4]. Прямые измерения доли каждого компонента представляют большую проблему. Поэтому целесообразно изучить взаимосвязь между неровнотой ленты по линейной плотности и неровнотой по доле компонентов [5], [6].

Стационарную неровноту линейной плотности волокнистой ленты обычно раз-

деляют на случайную и периодическую составляющие [1], [7]:

$$g(x) = r(x) + c(x), \quad 0 \leq x \leq Lm.$$

В этой формуле  $g(x)$  – стационарная случайная функция, описывающая величину линейной плотности по длине ленты;  $x$  – координата по длине ленты;  $Lm$  – длина рассматриваемого отрезка ленты;  $r(x)$  и  $c(x)$  – соответственно случайная и периодическая составляющие неровноты. Двухкомпонентная лента является результатом сложения, по меньшей мере, двух волокнистых потоков:

$$g(x) = g_1(x) + g_2(x) = r_1(x) + c_1(x) + r_2(x) + c_2(x), \quad 0 \leq x \leq Lm.$$

Доли первого и второго компонентов равны:

$$p_1(x) = g_1(x)/g(x),$$

$$p_2(x) = 1 - p_1(x)$$

и являются случайными функциями, нелинейно зависящими от  $g_1(x)$  и  $g_2(x)$ . Для анализа зависимости частотного спектра неровноты по доле компонента от спектральных свойств неровноты по линейной плотности используем модельный пример.

Предположим, что случайные составляющие  $r_1(x)$  и  $r_2(x)$  – это белый шум с нулевым средним и одинаковыми среднеквадратическими отклонениями  $CVg_1 = CVg_2 = 10\%$ . Средняя линейная плотность ленты  $m = 5000$  текс. Неравномерность линейной плотности каждого из компонентов содержит гармоническую составляющую с одинаковыми относительными амплитудами  $a = 0,2$  и длинами волн  $L_1 = 5$  м и  $L_2 = 9$  м:

$$c_{1,2}(x) = m_{1,2} \left( 1 + a \cos \left( 2\pi x / L_{1,2} - b_{1,2} \right) \right).$$

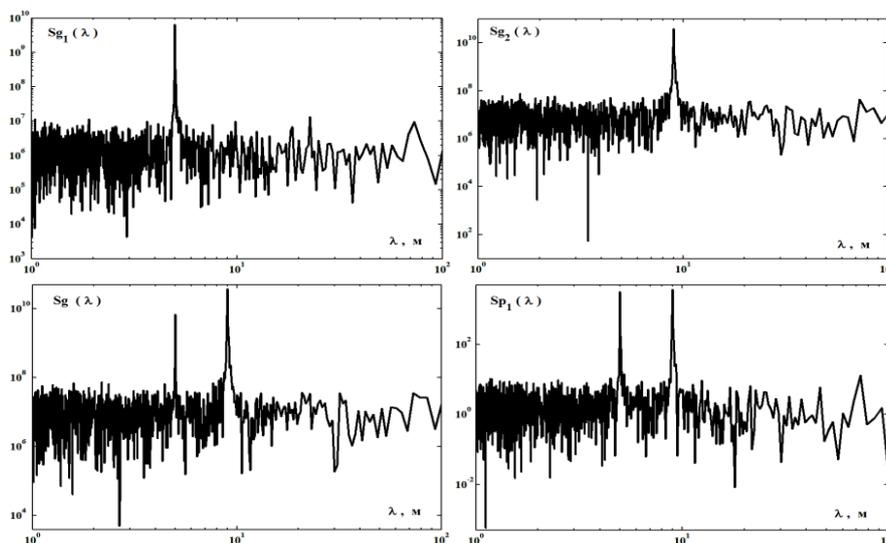


Рис. 1

В этой формуле средние линейные плотности компонентов  $m_1$  и  $m_2$  равны  $m_1 = pm_1 \cdot m$  и  $m_2 = pm_2 \cdot m$ , где  $pm_1$  и  $pm_2$  – средние доли компонентов в ленте;  $b_1$  и  $b_2$  – смещения фаз гармонических колебаний линейной плотности компонентов. На рис. 1 показаны графики: спектральной плотности дисперсии (СПД) для линейной плотности первого компонента  $Sg_1(\lambda)$ ; второго компонента  $Sg_2(\lambda)$ ; смешанной ленты  $Sg(\lambda)$  и доли первого компонента  $Sp_1(\lambda)$  в зависимости от длины волны  $\lambda$  [1], [8], [9]. Заметим, что СПД доли второго компонента равна  $Sp_1(\lambda)$ , поскольку случайные функции  $p_2(x) = 1 - p_1(x)$ . На графиках СПД четко выделяются пики на длинах волн  $L_1 = 5$  м и  $L_2 = 9$  м гармонических составляющих неровности компонентов. СПД ленты является суммой СПД компонентов, и в ней наблюдаются оба пика от компонентов. Интенсивности (амплитуды) пиков больше у компонента с большей долей вклада в ленту. В СПД доли компонента  $Sp_1(\lambda)$  также присутствуют оба пика на указанных длинах волн, но с меньшими амплитудами.

Приведенные оценки выполнены для всего диапазона долей компонентов от 0 до 1. Были вычислены максимальные значения СПД  $Sg_{max} = \max\{Sg(\lambda)\}$  и  $Sp_{max} = \max\{Sp_1(\lambda)\}$  и длины волн  $Lg_{Max}$  и  $Lp_{Max}$ , соответствующие этим максимумам. Результаты моделирования приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что максимум

СПД приходится на длину волны компонента, чья доля в ленте больше: для  $pm_1 \leq 0,5$  это длина волны второго компонента  $L_2 = 9$  м, а для  $pm_1 > 0,5$  – длина волны первого компонента  $L_1 = 5$  м.

Интенсивность максимума СПД наименьшая при равных долях компонентов и симметрично нарастает с увеличением доли любого из компонентов. Максимальный из пиков СПД доли первого (и второго) компонентов может приходиться на длину волны как первого, так и второго компонентов. При этом максимум СПД имеет наибольшее значение при равных долях компонентов и убывает до нуля с уменьшением доли любого из компонентов [6], [10]. Этот результат согласуется с формулой для дисперсии доли компонента, выраженной через коэффициенты вариации линейной плотности компонентов и средние доли компонентов:

$$Dp_1 = Dp_2 = pm_1^2 pm_2^2 (Cg_1^2 + Cg_2^2).$$

Как следует из формулы, дисперсия принимает наибольшее значение при равных долях компонентов:  $pm_1 = pm_2 = 0,5$ .

В табл. 1 приведены максимумы спектральной плотности дисперсии линейной плотности и доли компонента и соответствующие им длины волн в зависимости от средней доли компонента в ленте.

Таблица 1

$pm_1$	$Lg_{max}$ , м	$Sg_{max}$	$Lp_{max}$ , м	$Sp_{max}$
0	8,983	7,257 e+10	Inf	0
0,1	8,983	6,025 e+10	8,982	674,0
0,2	8,983	4,198 e+10	4,995	1877,8
0,3	8,983	3,507 e+10	4,995	3242,2
0,4	8,983	2,423 e+10	8,982	4249,2
0,5	4,995	1,781 e+10	4,995	4697,3
0,6	4,995	2,685 e+10	4,995	4458,5
0,7	4,995	3,597 e+10	4,995	3376,6
0,8	4,995	4,503 e+10	4,995	1919,4
0,9	4,995	5,680 e+10	4,995	613,9
1,0	4,995	7,100 e+10	Inf	0

Вычислительные эксперименты [11...13] на модели ленты показали, что максимумы СПД  $Sp_{max}$  могут появляться на пиковой длине волны первого или второго компонентов, в зависимости от их совпадения или несовпадения с одним из пиков СПД слу-

чайной составляющей компонента. Максимумы СПД по величине и длине волны не зависят от смещений по фазе  $b_1$  и  $b_2$  между гармоническими составляющими неровности компонентов. При большой разнице в длинах волн  $L_1$  и  $L_2$  в компонентах в СПД

доли компонента устойчиво просматривается пик только на одной длине волны.

Совершенно по-другому проявляются гармонические составляющие линейной плотности компонентов в спектре доли компонента при одинаковых длинах волн:  $L = L_1 = L_2$ . В этом случае принципиально важную роль играет различие в фазе колебаний линейной плотности в каждом из компонентов, поскольку при наличии гармонических колебаний с одинаковыми длинами волн возникает устойчивый эффект "резонанса" между двумя компонентами. При отсутствии смещения по фазе, то есть при  $\Delta b = b_1 - b_2 = 0$ , в СПД  $S_{p1}(\lambda)$  вообще отсутствует явно выраженный пик, показы-

вающий присутствие гармонической составляющей в изменениях доли компонента в ленте. Наоборот, при  $\Delta b \neq 0$  возникают один (при  $\Delta b = \pi$ , то есть когда волны в компонентах находятся в противофазе) или два (при  $\Delta b \neq 0$  и  $\Delta b \neq \pi$ ) устойчивых пика на основной длине волны  $L$  и на длине волны  $L / 2$ . При этом различие в амплитудах пиковых значений СПД  $S_{p1}(\lambda)$  при  $\lambda = L$  и  $\lambda = L / 2$  отличаются примерно на два порядка как между собой, так и от общего уровня значений СПД.

В табл. 2 приведены значения первых двух максимумов  $S_{pmax1}$  и  $S_{pmax2}$  для  $L = L_1 = L_2 = 8$  м при  $\Delta b = \pi$  и  $\pi / 2$  для разных  $m_1$ .

Т а б л и ц а 2

$m_1$	$S_{pmax1}, \Delta b = \pi$	$S_{pmax2}, \Delta b = \pi$	$S_{pmax1}, \Delta b = \pi/2$	$S_{pmax2}, \Delta b = \pi/2$
0,01	586,2	6,231	288,4	3,015
0,10	4,687 е+4	324,5	2,301 е+4	190,2
0,30	2,423 е+5	348,6	1,211 е+5	761,2
0,50	3,362 е+5	---	1,693 е+5	916,2
0,70	2,412 е+5	437,0	1,209 е+5	720,0
0,90	4,671 е+4	320,1	2,305 е+4	203,8
0,99	581,7	6,116	284,1	3,047

## В Ы В О Д Ы

Из представленных данных следует, что при одинаковой длине волны линейной плотности в компонентах неровнота в ленте по доле компонента может отсутствовать, если оба компонента складываются в ленте синфазно.

Если компоненты, наоборот, складываются в противофазе, то периодическая неровнота по доле компонента может достигать весьма больших амплитуд, причем величина этих амплитуд зависит от средней доли компонента. При одинаковых долях амплитуда максимальна. При неодинаковых долях компонентов ленты в неровноте по доле возникают две волны: одна имеет ту же длину, что и волна в неровноте по линейной плотности в компонентах, а другая длина волны в два раза меньше ( $L = 4$  м).

При различии в фазах волн компонентов, равной четверти периода ( $\Delta b = \pi/2$ ), при любых долях компонентов в неровноте по доле присутствуют две волны с длинами  $L$  и  $L/2$ . Первая волна имеет большую ам-

плитуду (интенсивность дисперсии), отличающуюся на 2 порядка от второй волны. Амплитуды обеих волн сильно зависят от средней доли компонента, достигая максимума при равных долях компонентов. Данный результат необходимо учитывать при планировании технологического процесса на лентосоединительных машинах и в других процессах, включающих соединение и перемешивание волокнистых потоков из нескольких компонентов.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Севостьянов А.Г. Методы исследования неровноты продуктов прядения (Характеристики случайных функций и их применение). – М.: Ростехиздат, 1962.
2. Севостьянов А.Г. Исследование неровноты, возникающей при смешивании текстильных волокон и при вытягивании продуктов прядения: Дис...докт. техн. наук. – М., 1960.
3. Горячая И.С., Севостьянов П.А. Численные методы анализа распределения волокон в поперечных сечениях пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №1. С.130...134.

4. Громов С.С., Севостьянов П.А. Анализ динамики долевого состава двухкомпонентного волокнистого материала в процессе кардочесания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №6. С.109...112.

5. Калмыков И.В., Севостьянов П.А. Компьютерное проектирование меланжевых смесей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1999, №1.

6. Добринская Т.А., Севостьянов П.А. Сравнение эффективности смешивания смешивающими и дозирующими устройствами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №3, 2000. С.39...43

7. Севостьянов П.А. Методы исследования и моделирования неровноты продуктов прядения. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019.

8. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011.

9. Горский Д.А., Севостьянов П.А. Оценка эффективности управления кипным питателем с верхним отбором волокна методами компьютерного моделирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №3. С.124...127.

10. Севостьянов П.А., Ордов К.В. Основы анализа и моделирования данных в технике и экономике. – М.: Тисо Принт, 2015.

11. Севостьянов П.А. Исследование сложения волокнистых потоков методом статистического моделирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1979, №5. С.40...44.

12. Севостьянов П.А., Ордов К.В., Битус Е.И., Самойлова Т.А., Монахов В.В. Компьютерное моделирование длины и тонины волокон шерсти в топсе и ленте на основе данных натуральных экспериментов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №6. С.185...189.

13. Sevostyanov P.A., Lebedeva V.I., Shibaeva E.O. The Sliding Dispersion Method for Detecting Local Unevenness in Fibres // Fibre Chemistry. – V. 41, № 4, 2009. P. 271...275.

## REFERENCES

1. Sevost'yanov A.G. Metody issledovaniya nerovnoty produktov pryadeniya (Kharakteristiki sluchaynykh funktsiy i ikh primeneniye). – M.: Rostekhizdat, 1962.

2. Sevost'yanov A.G. Issledovanie nerovnoty, voznykayushchey pri smeshivanii tekstil'nykh volokon i pri vytyagivaniy produktov pryadeniya: Dis...dokt. tekhn. nauk. – M., 1960.

3. Goryachaya I.S., Sevost'yanov P.A. Chislennyye metody analiza raspredeleniya volokon v poperechnykh secheniyakh pryazhi // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2012, №1. С.130...134.

4. Gromov S.S., Sevost'yanov P.A. Analiz dinamiki dolevogo sostava dvukhkomponentnogo voloknistogo materiala v protsesse kardochesaniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2009, №6. С.109...112.

5. Kalmykov I.V., Sevost'yanov P.A. Komp'yuternoe proektirovaniye melanzhevykh smesey // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1999, №1.

6. Dobrinskaya T.A., Sevost'yanov P.A. Sravneniye effektivnosti smeshivaniya smeshivayushchimi i doziryushchimi ustroystvami // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2000, №3, 2000. С.39...43

7. Sevost'yanov P.A. Metody issledovaniya i modelirovaniya nerovnoty produktov pryadeniya. – M.: RGU im. A.N. Kosygina, 2019.

8. Sergienko A.B. Tsifrovaya obrabotka signa-lov. – 3-e izd. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2011.

9. Gorskiy D.A., Sevost'yanov P.A. Otsenka effektivnosti upravleniya kipnym pitatelem s verkhnim otborom volokna metodami komp'yuternogo modelirovaniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2008, №3. S.124...127.

10. Sevost'yanov P.A., Ordov K.V. Osnovy analiza i modelirovaniya dannykh v tekhnike i ekonomike. – M.: Tiso Print, 2015.

11. Sevost'yanov P.A. Issledovanie slozheniya voloknistykh potokov metodom statisticheskogo modelirovaniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1979, №5. S.40...44.

12. Sevost'yanov P.A., Ordov K.V., Bitus E.I., Samoylova T.A., Monakhov V.V. Komp'yuternoe modelirovaniye dliny i toniny volokon shersti v topse i lente na osnove dannykh naturnykh eksperimentov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, №6. S.185...189.

13. Sevostyanov P.A., Lebedeva V.I., Shibaeva E.O. The Sliding Dispersion Method for Detecting Local Unevenness in Fibres // Fibre Chemistry. – V. 41, № 4, 2009. P. 271...275.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем и обработки информации и управления. Поступила 10.02.21.