

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ВОЛОКНИСТОЙ ЛЕНТЫ ПО ДОЛЕ КОМПОНЕНТОВ И ТОЧНОСТЬ ЕЕ ОЦЕНКИ

THE UNEVENNESS OF THE FIBROUS SLIVER IN TERMS OF THE PROPORTION OF COMPONENTS AND THE PRECISION OF ITS ESTIMATES

П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Т.А. САМОЙЛОВА, В.И. МОНАХОВ,
Ю.Б. ЗЕНЗИНОВА, Е.Н. ВАХРОМЕЕВА

P.A. SEVOSTYANOV, T.A. SAMOILOVA, V.I. MONAKHOV,
J.B. ZENZINOVA, E.N. VAKHROMEIEVA

(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

В статье представлено исследование неравномерности перемешивания лентами. Смешивание лентами применяется для получения различных волокнистых продуктов из натуральных и химических волокон. Оно осуществляется в вытяжных приборах кардочесальных машин и лентосоединительных машин. Неравномерность складываемых лент по линейной плотности может приводить к неравномерности получаемой ленты по составу. В статье изучается влияние погрешностей измерения линейной плотности каждого из компонентов смеси на точность контроля структурной неровноты смешанной ленты. Эксперименты проведены с помощью метода компьютерной имитации. В результате проведенных опытов установлено, что погрешности оценивания наиболее велики для смесей с небольшими долями компонентов. Для такого рода смесей наиболее целесообразно использовать робастные характеристики для оценки неравномерности доли компонента. Во избежание больших погрешностей измерений и повышения надежности получаемых оценок необходимо использовать высокоточные измерительные устройства для определения неравномерности смешанной ленты.

The article presents the research of the unevenness of blending with slivers. Blending with slivers is used to obtain various fibrous products with natural and chemical fibers. It is carried out in the drafting system of carding machines and draw frames. The linear density unevenness of the slivers can lead to uneven linear density of the resulting sliver. The article studies the influence of errors in measuring the linear density for each of the blending components on the precision of the blended sliver structural unevenness control. The experiments were carried out using the method of computer simulation. As a result of the experiments carried out, it was found that the estimation errors are greatest for blended products with small fractions of components. For such blended products it is most expedient to use robust characteristics for assess the unevenness of the component fraction. In order to avoid large measurement errors and increase the reliability of the estimates obtained, it is necessary to use high-precision measuring devices to determine the unevenness of the blended sliver.

Ключевые слова: волокнистая лента, волокнистый продукт, неровнота, смесь, имитационное моделирование.

Keywords: fibrous sliver, fibrous product, unevenness, blending, simulation.

Для получения волокнистого продукта, состоящего из натуральных и химических волокон, широко используется смешивание лентами [1...3]. Этот способ имеет ряд преимуществ перед смешиванием волокон в смесовых машинах и дозаторах-смесителях [3] и осуществляется в вытяжных приборах кардочесальных машин и лентосоединительных машин. Каждая из складываемых лент неравномерна по линейной плотности. Во многих задачах анализа многокомпонентные смеси можно свести к двухкомпонентным смесям [1], [3]. Поэтому далее ограничимся рассмотрением двухкомпонентной смеси. При отсутствии систем авторегулирования и разладках или неправильной настройке вытяжных приборов неравномерность по линейной плотности может быть значительной и проявляться в неравномерности состава смешанной ленты [3...6]. Контроль неровноты по составу выполняют путем измерения линейной плотности каждого из компонентов перед поступлением лент в лентосоединительный вытяжной прибор и/или в самом поле вытягивания или на выходе вытяжного прибора [3], [4]. В любом случае измерение сопряжено с погрешностями [4], [6], [7]. Рассмотрим влияние этих погрешностей на точность контроля структурной неровноты смешанной ленты [7], [8].

Обозначим $g_1(t)$ и $g_2(t)$ функции, описывающие линейные плотности складываемых компонентов в поперечном сечении

ленты в момент времени t . Доли 1-го и 2-го компонентов по их массе в смеси равны:

$$p(t) = \frac{g_1(t)}{g_1(t) + g_2(t)},$$
$$q(t) = 1 - p(t).$$

Из этих формул следует, что невозможно оценить долю компонента в смеси без измерения линейной плотности другого компонента. Если линейные плотности компонентов измеряются с погрешностями $e_1(t)$ и $e_2(t)$, то оценки доли компонентов равны:

$$pe(t) = \frac{g_1(t) + e_1(t)}{g_1(t) + e_1(t) + g_2(t) + e_2(t)},$$
$$qe(t) = 1 - pe(t).$$

В поперечном сечении любой волокнистой ленты или жгута химических волокон содержатся тысячи волокон. Поэтому в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятностей [9] линейная плотность $g(t)$ ленты есть случайная величина, распределенная по нормальному закону. Ее математическое ожидание Mg равно средней линейной плотности ленты, а коэффициент вариации CVg показывает неровноту ленты по линейной плотности.

При малой неровноте линейной плотности компонентов и малых погрешностях измерения выражение для доли компонентов может быть линеаризовано:

$$pe(t) \approx C_0 + C_1 \delta g_1(t) + C_2 \delta g_2(t) + C_3 e_1(t) + C_4 e_2(t).$$

В этой формуле коэффициенты C показывают чувствительность доли компонента к вариациям линейных плотностей складываемых лент (линейные составляющие этих вариаций обозначены $\delta g_1(t)$ и $\delta g_2(t)$). Однако в такой линеаризации нет необходимости, поскольку исследование зависимо-

сти оценок от вариаций линейной плотности и погрешностей измерений может быть выполнено прямой имитацией сложения лент на компьютере. Такая имитация позволяет исследовать на модели влияние различных факторов на показатели неравномерности смешанной ленты по доле компо-

нентов методами компьютерного эксперимента. Ниже описываются результаты таких экспериментов.

Рассмотрим взаимосвязь между коэффициентом вариации линейной плотности компонентов CVg и показателями неровноты по доле $p(t)$ 1-го компонента в смешанной ленте: коэффициентом вариации доли 1-го компонента CVp с его доверительным интервалом DCV . Поскольку распределение доли компонента $p(t)$ при больших значениях CVg сильно отличается от нормального распределения [1], [3], [8],

оценки CVp и DCV оказываются неустойчивыми даже для весьма больших выборок (10^5 значений). Поэтому для оценки неравномерности значений доли $p(t)$ наряду с традиционными квадратическими характеристиками использованы робастные характеристики – интердецильный размах Q и его отношение Dp к средней доле p [9]. Результаты моделирования приведены в табл. 1 (зависимость неровноты ленты по доле компонента от неравномерности смешиваемых лент).

Таблица 1

Смесь	Неровнота по доле	Коэффициент вариации по линейной плотности CVg , %							
		1	3	5	10	15	20	30	40
10x90	CVp , %	1,26	3,83	6,38	12,89	19,74	27,06	49,1	76,4
	dCV , %	0,011	0,034	0,056	0,113	0,173	0,237	0,430	0,671
	Q	0,003	0,010	0,016	0,033	0,050	0,068	0,107	0,155
	Dp , %	3,25	9,78	16,36	32,9	50,0	67,9	107,2	154,3
50x50	CVp , %	0,70	2,12	3,52	7,20	10,8	14,6	23,1	31,5
	dCV , %	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,14	0,20	0,28
	Q	0,009	0,027	0,045	0,091	0,137	0,185	0,283	0,387
	Dp , %	1,81	5,47	9,07	18,2	27,4	36,8	56,6	78,0
90x10	CVp , %	0,14	0,43	0,71	1,44	2,24	3,20	5,98	10,3
	dCV , %	0,001	0,004	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,09
	Q	0,003	0,010	0,016	0,033	0,050	0,068	0,110	0,154
	Dp , %	0,36	1,09	1,82	3,65	5,56	7,5	11,9	17,0

Из полученных результатов следует, что с увеличением неровноты по линейной плотности складываемых лент от 1 до 15% неравномерность по доле компонента нарастает линейно, а затем скорость нарастания неровноты увеличивается. Из таблицы также следует, что неровнота по доле компонента (интердецильный размах Q) достигает максимума при равных долях компонентов [8].

Случайные ошибки измерительных устройств, как известно, также считаются рас-

пределенными по нормальному закону с нулевым средним [7]. В табл. 2 (зависимость неровноты ленты по доле компонента и ее оценки с учетом погрешностей измерений $Se = 20\%$) приведены оценки тех же величин, что и в табл. 1, но полученные для значений, содержащих ошибки измерения линейной плотности компонентов в смешанной ленте, то есть для $g_1(t) + e_1(t)$ и $g_2(t) + e_2(t)$, с имитацией погрешностей измерения линейной плотности при относительной ошибке измерений $Se = 20\%$.

Таблица 2

Смесь	Неровнота по доле	Коэффициент вариации по линейной плотности CVg , %							
		1	3	5	10	15	20	30	40
10x90	CVp , %	27,2	27,6	27,9	30,2	33,5	38,4	55,1	79,3
	dCV , %	0,238	0,242	0,245	0,265	0,294	0,337	0,483	0,695
	Q	0,068	0,069	0,070	0,076	0,085	0,098	0,131	0,175
	Dp , %	67,5	68,8	69,9	75,9	85,3	98,0	130,5	174,7
50x50	CVp , %	14,6	14,8	14,9	16,1	17,9	20,2	26,5	33,9
	dCV , %	0,123	0,129	0,131	0,141	0,157	0,180	0,230	0,298
	Q	0,184	0,187	0,190	0,205	0,230	0,260	0,339	0,431
	Dp , %	36,85	37,37	37,91	41,1	46,1	51,9	67,8	86,0

90x10	CVp,%	3,15	3,17	3,25	3,51	3,94	4,57	6,92	11,1
	dCV,%	0,028	0,028	0,029	0,030	0,035	0,040	0,061	0,097
	Q	0,068	0,069	0,070	0,077	0,085	0,098	0,131	0,176
	Dp, %	7,55	7,61	7,78	8,50	9,47	10,91	14,5	19,6

Для определения зависимости неровноты смешанной ленты по доле компонента от погрешности измерений проведен трехфакторный имитационный эксперимент. В нем выполнены имитационные опыты для всех комбинаций следующих значений параметров моделируемых смешиваемых лент: составы смеси 10%х90%, 50%х50%, 90%х10%, коэффициенты вариации линейной плотности компонентов CVg = 1%, 5% и 20%. В этом эксперименте относительная ошибка измерения Se варьировалась в диапазоне от нуля до 30%. Область планирования эксперимента охватывает весь диапазон реального варьирования факторов, учитываемых в модели.

Для контроля расхождения между значением доли компонента p(t) и ее оценкой по результатам измерения pe(t) вычислялась относительная ошибка измерения и оценивания доли компонента:

$$erp(t) = (p_1(t) - pe_1(t))/p_1(t).$$

По этим значениям вычислялась среднеквадратическая вариация этой относительной ошибки:

$$Sp = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (erp(t))^2}.$$

Здесь N – число измерений, выполненных вдоль ленты. В используемой имитаци-

онной модели N = 100000. Подкоренное выражение этой формулы является дисперсией относительной ошибки оценивания доли 1-го компонента в смешанной ленте.

В табл. 3 (зависимость относительной ошибки Sp,% оценивания неровноты ленты по доле компонента от ошибки измерения Se линейной плотности компонентов смешиваемых лент) приведены оценки Sp для разных составов смеси и неравномерности по линейной плотности компонентов при различных значениях погрешности измерения линейной плотности Se.

Данные в табл. 3 показывают, что неравномерность по линейной плотности компонентов практически не влияет на ошибку оценивания доли компонента. С ростом ошибки оценивания линейной плотности компонента ошибка оценивания доли быстро нарастает: в пределах области планирования эксперимента для смеси 10х90 – от 2,5% до 55%; для смеси 50х50 – от 1,4% до 23%; для смеси 90х10 – от 0,3% до 6,3%. Наиболее чувствительными к ошибкам измерения оказываются оценки доли компонента в случае малых средних долей. На основе полученных данных можно прогнозировать необходимую точность измерительных устройств для определения линейной плотности компонентов, которая необходима для достаточно точного расчета доли компонентов в смешанных лентах.

Таблица 3

Смесь и CVgi, %	Среднеквадратическая ошибка оценки линейной плотности 1-го компонента Se, %						
	0	2	5	10	15	20	30
10х90, 1%	0	2,55	6,40	13,0	20,1	28,4	54,4
10х90, 5%	0	2,54	6,38	13,0	20,1	28,3	54,4
10х90, 20%	0	2,54	6,40	13,0	20,1	28,2	54,8
50х50, 1%	0	1,42	3,56	7,16	10,8	14,6	22,9
50х50, 5%	0	1,41	3,53	7,11	10,8	14,6	22,9
50х50, 20%	0	1,43	3,58	7,20	10,9	14,8	23,2
90х10, 1%	0	0,28	0,71	1,45	2,25	3,16	5,98
90х10, 5%	0	0,28	0,71	1,45	2,26	3,16	6,00
90х10, 20%	0	0,30	0,76	1,55	2,40	3,34	6,25

ВЫВОДЫ

1. Для получения информации о равномерности перемешивания лентами необходимо измерять линейную плотность каждого из компонентов смеси, поскольку равномерность доли компонента зависит от линейной плотности каждого компонента.

2. Для смесей с небольшими долями компонентов погрешности оценивания этих долей особенно велики. В этих случаях в качестве характеристик оценивания неравномерности доли компонента целесообразно использовать робастные характеристики, поскольку распределение доли является асимметричным, проявляется его ограниченность диапазоном значений от нуля до единицы, и оно сильно отличается от нормального распределения.

3. Получить надежную информацию о неравномерности смешанной ленты по доле компонента можно лишь с помощью измерительных устройств с высокой точностью измерения линейной плотности компонентов по сечениям ленты. При недостаточной точности ошибка прогнозирования доли компонента в сечении становится большой, а результат измерения недостоверным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов А.Г. Составление смесок и смешивание в хлопкопрядильном производстве (Теория и практика). – М.: Гизлегпром, 1954.

2. Zhili Zhong, Yuxin Wang, Jiaqing Wu, Rong Chen, Liangzhong Ling, Ruhua Zhu. Comprehensive quality evaluation of juteccell/cotton blended yarn based on principal component analysis // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 39, September 2014. P.326...328.

3. Севостьянов П.А. Динамика и модели основных процессов прядения: рыхление, очистка, смешивание, кардо- и гребнечесание, вытягивание, дискретизация, штапельирование, кручение, намотка, перемотка. – М.: Клуб-Печати, 2021. ISBN 978-5-9904852-5-9

4. Chaudhuri Atin, Majumdar P.K. Effect of blend composition on tensile properties of blended Dref-III yarns // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 40, March 2015. P.36...42.

5. Subramanian S., Vaidheeswaran S., Pradeep S., Uthaman P. Comparison of polyester-cotton blended yarns produced by blending of polyester with semi-combed and super-carded cotton fibres // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 40, March 2015. P.31...35.

6. Vahid Ghorbani, Morteza Vadood, Majid Safar Johari. Prediction of polyester/cotton blended rotor-spun yarns hairiness based on the machine parameters // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 41, March 2016. P.19...25.

7. Фридман А.Э. Основы метрологии: современный курс. – С.-Пб.: Професионал, 2008. ISBN 978-5-91259-018-4.

8. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А. Спектральные свойства неровноты ленты по компонентному составу // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 2. С. 68...72.

9. Севастьянов Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики. – Изд.3-е. – М.: URSS, 2019. ISBN 978-5-9710-6138-0

REFERENCES

1. Sevostyanov A.G. Compilation of mixtures and mixing in cotton spinning (Theory and practice). – M.: Gizlegprom, 1954.

2. Zhili Zhong, Yuxin Wang, Jiaqing Wu, Rong Chen, Liangzhong Ling, Ruhua Zhu. Comprehensive quality evaluation of juteccell/cotton blended yarn based on principal component analysis // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 39, September 2014. P.326...328.

3. Sevostyanov P.A. Dynamics and models of the main spinning processes: loosening, cleaning, mixing, carding and combing, drawing, sampling, stapling, twisting, winding, rewinding. – M.: Club-Print, 2021. ISBN 978-5-9904852-5-9

4. Chaudhuri Atin, Majumdar P.K. Effect of blend composition on textile properties of blended DrefIII yarns // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 40, March 2015. P.36...42.

5. Subramanian S., Vaidheeswaran S., Pradeep S., Uthaman P. Comparison of polyester-cotton blended yarns produced by blending of polyester with semi-combed and super-carded cotton fibers // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 40, March 2015. P.31...35.

6. Vahid Ghorbani, Morteza Vadood, Majid Safar Johari. Prediction of polyester/cotton blended rotor-spun yarns hairiness based on the machine parameters // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 41, March 2016. P.19...25.

7. Fridman A.E. Fundamentals of metrology: a modern course. – St. Petersburg: Professional, 2008. ISBN 978-5-91259-018-4.

8. Sevostyanov P.A., Samoilova T.A. Spectral Properties of Ribbon Roughness by Component Composition // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 2. P. 68...72.

9. Sevastyanov B.A. Course of Probability Theory and Mathematical Statistics. - 3rd edition. – M.: URSS, 2019. ISBN 978-5-9710-6138-0

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления. Поступила 22.02.22.