

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЛОЖЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ

А.М. Науменко, Д.Б. Рыклин

В настоящее время на отечественных текстильных предприятиях проводится ряд работ по разработке и совершенствованию технологических процессов производства многокомпонентной пряжи с вложением льняного волокна. Переработка льносодержащих смесей позволяет расширить ассортимент выпускаемой продукции и частично заменить импортируемое хлопковое волокно. Однако льняное волокно характеризуется повышенной неоднородностью, как по длине, так и по линейной плотности. При высоком процентном вложении льна в смесь значительно ухудшаются физико-механические характеристики пряжи. В то же время низкое вложение льняного волокна ведет к существенному снижению качества смешивания, что вызывает необходимость усложнения технологического процесса или использования специального оборудования, обеспечивающего точное дозирование этого компонента. Для повышения эффективности технологических процессов производства льносодержащей пряжи возникает необходимость разработки методов оценки и прогнозирования качества смешивания многокомпонентных продуктов.

Одним из главных критериев, используемых для оценки качества смешивания, является квадратическая неровнота смешивания, предложенная А.Г. Севостьяновым [1] и определяемая по формуле:

$$C_{CM}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{\beta i}^2, \quad (1)$$

где $C_{\beta i}$ – квадратическая неровнота распределения вдоль продукта i -го компонента, %.

Данный показатель позволяет сравнивать между собой несколько продуктов с целью выявления рациональной технологии их производства.

Основным процессом выравнивания продуктов прядильного производства по составу является процесс сложения. В результате данного процесса показатели свойств складываемых участков приближаются к их среднему значению, и неровнота продукта по этим свойствам снижается. Таким образом, актуальной задачей является определение факторов, оказывающих влияние на эффективность процесса сложения неоднородных многокомпонентных продуктов.

Для решения данной задачи на первом этапе необходимо разработать математическую модель многокомпонентного продукта с целью определения зависимости неровноты смешивания волокон от линейной плотности компонентов и доли вложения их в смесь. Второй этап исследований включает моделирование процесса сложения многокомпонентных продуктов и оценку его эффективности с точки зрения снижения неровноты смешивания волокон.

При моделировании многокомпонентного неоднородного продукта количество волокон различных компонентов в каждом рассматриваемом поперечном сечении продукта задается в виде случайной величины, характеризующейся заданным законом распределения. Среднее количество волокон i -го компонента в сечении определяется по формуле

$$N_i = \frac{T}{T_{Bi} \cdot 100} \beta_i, \quad (2)$$

где T – средняя линейная плотность продукта, текс; T_{Bi} – линейная плотность волокон i -го компонента, текс; β_i – процентное вложение i -го компонента, задаваемое по рецепту, %.

Фактическое процентное вложение i -го компонента β_i рассчитывается по формуле

$$\beta_i = \frac{T_{Bi} \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n T_{Bi} \cdot N_i} \cdot 100. \quad (3)$$

Фактическая линейная плотность продукта T определяется по формуле

$$T = \sum_{i=1}^n T_{Bi} \cdot N_i. \quad (4)$$

По результатам моделирования рассчитываются основные статистические характеристики неровноты многокомпонентных волокнистых продуктов: среднее квадратическое отклонение линейной плотности σ_{CV} и долей компонентов σ_{β_i} , неровнота по линейной плотности C_{CV} , по доли компонента C_{β_i} и неровнота смешивания C_{CM} .

Данный способ моделирования позволяет оценить зависимость неровноты смешивания и неровноты по линейной плотности многокомпонентных продуктов от линейной плотности продуктов, доли вложения разнородных компонентов, линейной плотности волокон различных компонентов, закона распределения волокон в поперечном сечении. Оценка влияния линейной плотности компонентов смеси на качество их смешивания позволит выработать рекомендации по улучшению технологического процесса производства многокомпонентной пряжи на этапе составления сортировок.

Исходные данные для моделирования были установлены на основании анализа результатов экспериментальных исследований, проведенных в производственных условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» при освоении технологического оборудования производства льносодержащей пряжи пневмомеханическим способом прядения с использованием оборудования фирмы Rieter (Швейцария) [2]. Установлено, что в зависимости от интенсивности переработки линейная плотность льняного волокна T_{B1} находится в диапазоне от 0,4 до 1 текс. Для производства льнохлопковой пряжи может быть использовано хлопковое волокно линейной плотности T_{B2} от 0,12 до 19 текс. В процессе моделирования процентное вложение льняного волокна варьировалось от 10 % до 90 % с шагом 10 %. Линейная плотность чесальных лент принималась равной 6000 текс. Для обеспечения относительной погрешности расчета неровноты смешивания, не превышающей 0,5 %, проводилось моделирование 10000 сечений ленты.

При анализе неровноты смешивания использовалась модель идеальной волокнистой ленты. Для такой ленты количество волокон каждого компонента в ее поперечном сечении является случайной величиной, распределенной по закону Пуассона.

Результаты моделирования представлены на рисунках 1 и 2.

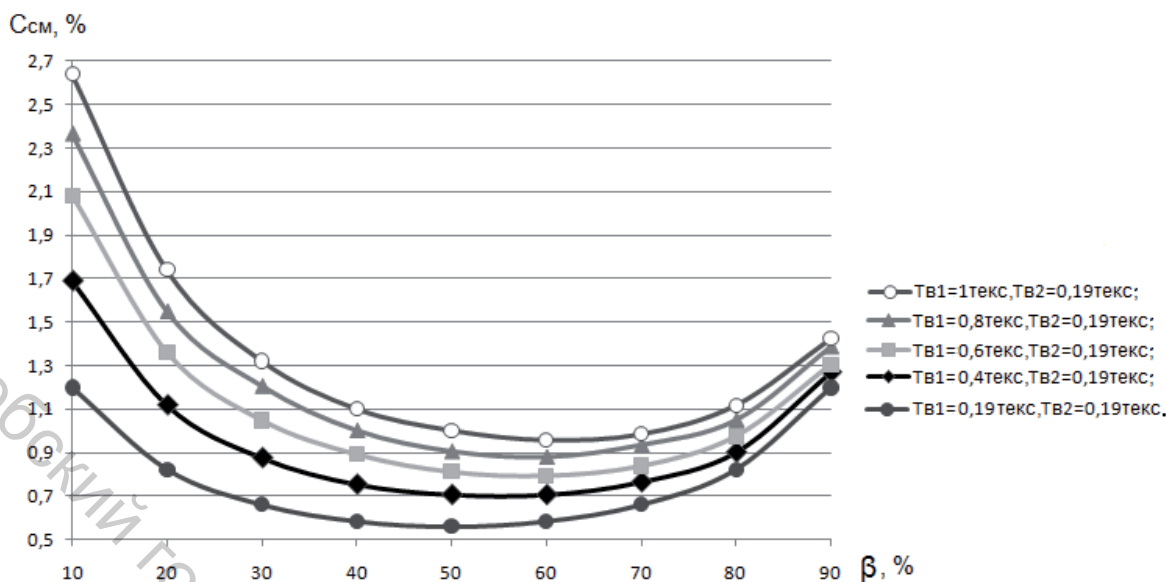


Рисунок 1 – Зависимость неровности смешивания волокон компонентов в хлопкольняной ленте от процентного содержания в ней льняного волокна различной линейной плотности

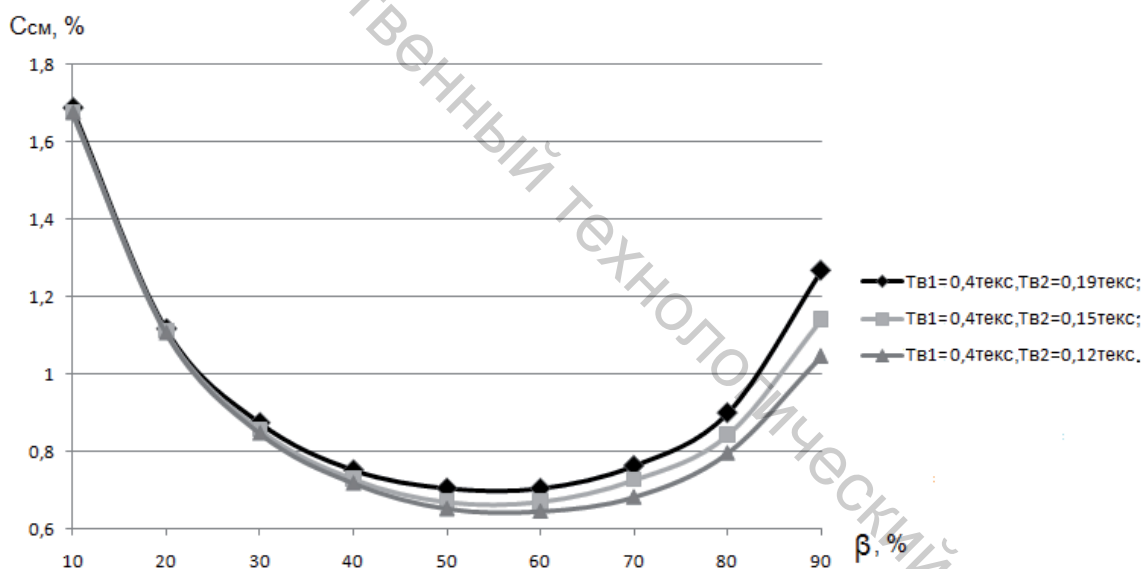


Рисунок 2 – Зависимость неровности смешивания волокон компонентов в хлопкольняной ленте от процентного содержания в ней льняного волокна при различной линейной плотности хлопкового волокна

Графики, представленные на рисунке 1, отражают изменение неровности смешивания при уменьшении линейной плотности льняного волокна и постоянной линейной плотности хлопкового волокна ($T_{B2} = 0,19$ текс). При снижении линейной плотности льняного волокна до 0,19 текс неровнота смешивания волокон в моделируемой ленте достигает минимального значения при равном вложении компонентов. Однако такое существенное уменьшение линейной плотности практически недостижимо при современном уровне развития техники для механической катонизации короткого льняного волокна. При повышении линейной плотности льняного волокна неровнота смешивания увеличивается, при этом происходит значительный ее рост при вложении льняного волокна менее 30 %.

Графики, представленные на рисунке 2, отражают изменение неровноты смешивания при уменьшении линейной плотности хлопкового волокна и постоянной линейной плотности льняного волокна ($T_{B1} = 0,4$ текс). Можно отметить, что влияние линейной плотности хлопкового волокна оказывает значительно меньшее влияние на неровноту смешивания, чем линейная плотность льняного волокна, и проявляется только при вложении льняного волокна более 30 %.

Зависимость неровноты смешивания от процентного вложения компонентов в смесь с высокой точностью (коэффициент детерминации $R^2 > 0,96$) описывается параболической функцией:

$$C_{см} = a_2 \cdot \beta_1^2 + a_1 \cdot \beta_1 + a_0, \quad (5)$$

где a_0, a_1, a_2 – коэффициенты регрессии, зависящие от линейных плотностей волокон компонентов, β_1 – вложение льняного волокна, %.

В результате анализа полученных зависимостей установлены доли вложения льняного волокна, при которой достигается минимальная величина неровноты смешивания. Коэффициенты регрессии, минимальные значения неровноты смешивания и соответствующие им процентные вложения льняного волокна представлены в таблице 1.

Таким образом, доказано, что величина неровноты смешивания существенно зависит от линейных плотностей волокон и процентного вложения компонентов. При переработке льнохлопковых смесей вложение льняного волокна должно находиться в пределах от 40 % до 80 % для предотвращения значительного увеличения величины неровноты смешивания. Использование хлопкового волокна с более низкой линейной плотностью не приводит к значительному уменьшению величины неровноты смешивания, но сопровождается существенным удорожанием льносодержащей пряжи. Снижение неровноты смешивания должно происходить за счет снижения линейной плотности льняного волокна, так как при этом происходит снижения разницы в линейных плотностях компонентов.

Таблица 1 – Доля вложения льняного волокна, обеспечивающая минимальную неровноту смешивания

Линейная плотность льняного волокна $T_{\epsilon 1}$, текс	0,19	0,4	0,6	0,8	1	0,4	0,4	0,4
Линейная плотность хлопкового волокна T_{B2} , текс	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,15	0,12
Коэффициенты регрессии:								
a_0	1,521	2,084	2,535	2,875	3,192	2,084	2,055	2,045
a_1	-3,994	-5,29	-6,328	-7,09	-7,79	-5,295	-5,161	-5,088
a_2	3,994	4,861	5,533	6,078	6,534	4,861	4,618	4,446
Минимальная неровнота смешивания $C_{см}$, %	0,523	0,642	0,726	0,806	0,869	0,642	0,614	0,59
Доля льняного волокна β_1 , обеспечивающая минимальную неровноту смешивания $C_{см}$, %	50	54,46	57,18	58,35	59,62	54,46	55,88	57,22

Выравнивание льнохлопковых чесальных лент по составу и линейной плотности на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» осуществляется в результате процесса

сложения на ленточной машине RSB-D 40. При моделировании количество складываемых лент варьировалось от 2 до 6 лент, линейная плотность льняного волокна составляла $T_{B1} = 0,4$ текс, хлопкового волокна – $T_{B2} = 0,19$ текс.

Объектом моделирования были выбраны два варианта льносодержащей ленты:

– идеальная лента, при моделировании которой использовано распределение Пуассона;

– лента, параметры неровноты которой приближены к параметрам реальной ленты. В этом случае количество волокон в сечении ленты задавалось в виде случайной величины, распределенной по нормальному закону. На основании анализа результатов проведенных ранее исследований коэффициент вариации по количеству волокон каждого компонента в сечении ленты принимался в 3 раза большим, чем соответствующий показатель идеальной ленты.

Результаты моделирования процесса сложения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Неровнота смешивания льнохлопковых лент при распределении волокон компонентов в сечении по нормальному закону и закону Пуассона

Вложение льняного волокна, %	Неровнота смешивания волокон при использовании закона распределения Пуассона, %				Неровнота смешивания при использовании нормального закона распределения, %			
	Исходной ленты	Выпускаемой ленты при числе сложений			Исходной ленты	Выпускаемой ленты при числе сложений		
		2	4	6		2	4	6
10	1,689	1,187	0,842	0,685	5,088	3,588	2,535	2,069
20	1,118	0,780	0,554	0,454	3,369	2,397	1,689	1,387
30	0,876	0,619	0,438	0,360	2,653	1,873	1,320	1,069
40	0,753	0,528	0,376	0,308	2,264	1,607	1,130	0,921
50	0,706	0,502	0,349	0,287	2,095	1,479	1,061	0,857
60	0,706	0,500	0,353	0,288	2,107	1,479	1,041	0,861
70	0,764	0,537	0,378	0,311	2,289	1,614	1,134	0,930
80	0,901	0,639	0,449	0,368	2,756	1,949	1,366	1,105
90	1,269	0,893	0,631	0,518	3,860	2,709	1,915	1,546

Выравнивающий эффект определялся по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_{CM}^{ex}}{C_{CM}^{внх}}, \quad (6)$$

где C_{CM}^{ex} – неровнота смешивания исходной ленты; $C_{CM}^{внх}$ – неровнота смешивания ленты, полученной в результате сложения.

Обработка результатов моделирования свидетельствует о том, что выравнивающий эффект по составу при числе сложений d , равном 2, составляет: $\mathcal{E} = 1,418 \pm 0,002$, при $d = 4$ – $\mathcal{E} = 2,009 \pm 0,006$, при $d = 6$ – $\mathcal{E} = 2,458 \pm 0,011$. Таким образом, неровнота смешивания при сложении лент уменьшается в \sqrt{d} раз. Следовательно, выравнивающий эффект процесса сложения по составу равен выравнивающему эффекту по линейной плотности и не зависит от линейных плотностей и долей вложения компонентов смеси.

ВЫВОДЫ

В процессе моделирования установлено, что неровнота смешивания многокомпонентных продуктов в значительной степени зависит от процентного вложения компонентов и от соотношения линейных плотностей разнородных волокон. При производстве льнохлопковой пряжи снижение неровноты

смешивания должно происходить за счет уменьшения линейной плотности льняного волокна, что связано с приближением его свойств к свойствам хлопкового волокна. При этом также повышается эффективность технологических процессов переработки льносодержащих смесей.

Выявлено, что выравнивающий эффект процесса сложения по составу не зависит от линейных плотностей и долей вложения компонентов смеси, равен выравнивающему эффекту по линейной плотности и определяется как квадратный корень из числа сложений.

Список использованных источников

1. Севостьянов, А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности : учебник для вузов / А. Г. Севостьянов. – Москва : Легкая индустрия. 1980. – 392 с.
2. Васильев, Р. А. Изучение свойств льняного волокна в технологическом процессе производства чистольняной пряжи пневмомеханическим способом прядения / Р. А. Васильев, Д. Б. Рыклин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2011. – Вып. 20. – С. 16-23.

Статья поступила в редакцию 14.10.2011 г.

SUMMARY

The article is devoted to development of imitation model of a blended fibrous product. Influence of linear density and blended components on blend irregularity of spinning products is researched. Blending effect of doubling process is calculated as square root of slivers number.

УДК В6. 047.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.И. Ольшанский, В.И. Ольшанский

Процесс сушки характеризуется сложными закономерностями переноса тепла и влаги как внутри влажного тела, так и при взаимодействии поверхности материала с окружающей средой. Поэтому при описании кинетики сушки широко используются экспериментальные зависимости, основанные на наиболее общих закономерностях процесса.

Длительность сушки – важнейший параметр процесса, определяющий качество высушиваемого материала. Для практики сушки актуальной задачей является использование экспериментальных зависимостей с минимальным количеством констант, определяемых из опыта, что значительно упрощает исследование кинетики сушки, и отпадает необходимость проведения трудоемких и сложных экспериментов.

Представляется важным установить точность и границы использования данного метода для расчета кинетики процесса и времени сушки.

К таким методам относятся метод А.В. Лыкова [1], метод Р.В. Красникова [2], метод Н.Ф. Докучаева и М.С. Смирнова [3].

Докучаев и Смирнов [3, 4], применив уравнение фильтрации пара через пористую структуру влажного материала, получили уравнение кривой сушки в виде: