

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В  
ПРЯДИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ  
EVALUATION OF FIBERS BLENDING EFFICIENCY IN SPINNING  
PRODUCTION**

**Рыклин Дмитрий Борисович, Науменко Андрей Михайлович  
Ryklin Dzmitry Borisovich, Navumenka Andrei Mikhailovich**

*Витебский государственный технологический университет, Беларусь, Витебск  
Vitebsk State Technological University, Belarus, Vitebsk  
(e-mail: ryklin-db@mail.ru, andrew.navumenka@gmail.com)*

*Аннотация:* Рассмотрены направления развития методов оценки эффективности смешивания разнородных волокон в прядильном производстве. Показано, что для определения состава нетрадиционных смесей и неравномерности смешивания компонентов могут разрабатываться новые методы или адаптироваться известные методы. Предложены формулы для оценки минимальной неровноты смешивания волокон в двух- и трехкомпонентных продуктах прядения.

*Abstract:* The tendencies of methods development for evaluation of fibers blending efficiency are considered. It is shown that new methods can be developed or known methods can be adapted to determine the composition of unconventional fibers blends and their irregularity. Formulas are proposed for evaluation the limiting blending irregularity of two- and three-component fiber assemblies.

*Ключевые слова:* смешивание волокон, неровнота, эффективность, моделирование.

*Keywords:* fibers blending, irregularity, effectiveness, simulation.

В настоящее время смешанная пряжа составляет существенную долю продукции, выпускаемой прядильными фабриками по всему миру. Ее ассортимент включает как традиционные виды пряжи, выработанные, например, из смесей хлопка и вискозы или шерсти и полиакрилонитрильных волокон, так и пряжу из различных смесей для производства материалов специального назначения, содержащую арамидные волокна, волокна из нержавеющей стали и другие инновационные виды текстильного сырья.

Известно, что смешивание разнородных волокон позволяет получать текстильные материалы с требуемым комплексом потребительских свойств. Однако достижение заданных свойств текстильных материалов возможно только в случае равномерного распределения компонентов в смеси, а также при соответствии реального состава смеси ее рецепту. Из-за существенных различий в свойствах смешиваемых волокон существенное значение приобретает проблема оценки неровности их смешивания. С другой стороны, в ряде случаев компоненты смеси существенно отличаются по стоимости. Специальные виды волокон, использование которых и обеспечивает специальный эффект, как правило, значительно дороже остальных компонентов. Соответственно, для достижения этого эффекта

по всей длине нити и на всех участках полотна необходимо обеспечить требуемое количество наиболее дорогостоящих компонентов даже там, где его содержание значительно меньше среднего значения. Таким образом, чем неравномернее по составу пряжи, тем больше требуется в нее вложить дорогостоящих компонентов. Необходимо обратить внимание на то, проблема оценки эффективности смешивания волокон в настоящее время практически не рассматривается исследователями.

Для определения состава нетрадиционных смесей могут быть разработаны новые приборы и методы или адаптированы существующие подходы. Например, при разработке технологии производства пряжи из смеси 90 % хлопкового волокна и 10% стальных волокон Векінох возникла необходимость оценки соответствия полуфабрикатов рецепту смеси. Для решения данной задачи осуществлена попытка использования методов, описанных в ГОСТ 1833-2001 «Материалы текстильные. Методы количественного химического анализа двухкомпонентных смесей волокон». Несмотря на то, что данным стандартом не предполагается анализ волокнистых материалов рассматриваемого состава, поставлена задача оценки возможности использования методики, рекомендуемой для исследования смесей целлюлозного и полиэфирного волокон, применительно к смеси хлопка и волокна Векінох. Согласно данному методу из известной сухой массы смеси удаляют целлюлозное волокно в результате обработки раствором серной кислоты. Для оценки состава образцов ленты осуществлялось 3 повторности их испытаний. Предварительно каждая проба подготавливалась в соответствии со стандартом для удаления из нее различных примесей, а затем высушивалась и взвешивалась. В результате исследований определено, что содержание волокон Векінох в пробах изменялось от 9,1 до 9,5%. Среднее значение составило 9,3%, что несколько ниже установленного по рецепту значения (10%), а также ниже расчетного значения (10,6%). Этот факт может быть объяснен, в первую очередь, тем, что серная кислота может незначительно растворять нержавеющую сталь в процессе проведения испытаний. Несмотря на установленное отклонение, можно отметить, что содержание волокон Векінох достаточно близко к заданному значению, что позволяет рекомендовать использование данного метода для ориентировочной оценки содержания стальных волокон в смешанной ленте.

Однако в ряде случаев применение методов, основанных на растворении компонентов, для оценки состава продуктов прядения не представляется возможным, например, при анализе хлопкольняных смесей.

В связи с этим, для оценки эффективности смешивания волокон разработан измерительный конденсатор, содержащий на экранированной плоской подложке две идентичные системы ленточных электродов, повернутых относительно друг друга на 90°. Над подложкой находится плоский заземленный экран, полностью закрывающий систему ленточных электродов и параллельного их плоскости [1]. Данная конструкция позво-

ляет создать плоскопараллельное электрическое поле между обкладками конденсатора в продольном и поперечном направлении. Величина рабочей емкости пропорциональна относительной диэлектрической проницаемости исследуемого материала. Установлено, что неровнота смешивания волокон пропорциональна коэффициенту вариации показателя анизотропии по диэлектрической проницаемости, определяемого по формуле:

$$K_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{\parallel}^H - \varepsilon_{\perp}^H}{\varepsilon_{\parallel}^B - \varepsilon_{\perp}^B}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{\parallel}^H$ ,  $\varepsilon_{\perp}^H$  – соответственно, относительная диэлектрическая проницаемость в продольном и поперечном направлении на низкой частоте;  $\varepsilon_{\parallel}^B$ ,  $\varepsilon_{\perp}^B$  – соответственно, относительная диэлектрическая проницаемость в продольном и поперечном направлении на высокой частоте.

Одной из проблем, возникающих при оценке качества смешивания, является определение минимально возможной неравномерности смешивания компонентов. Общеизвестно понятие минимальной (гипотетической) неровноты по линейной плотности идеального волокнистого продукта, значение которой рассчитывается по следующей формуле:

$$CV_{\text{lim}} = \frac{100}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где  $n$  – среднее количество волокон в сечении продукта.

Эта формула подтверждает известный факт, что неровнота по линейной плотности волокнистых продуктов, полученных по одной технологии, тем выше, чем меньше их линейная плотность. Впоследствии формула (2) модифицировалась, но смысл ее сохранился.

Аналогичный показатель для неравномерности смешивания в настоящее время отсутствует. В связи с этим представляет интерес вывод формулы для определения предельной неровноты продуктов прядения по составу и выявление факторов, оказывающих влияние на ее значение. Попытка разработки подобной формулы была предпринята ранее в работе [2]. Полученная в ней зависимость позволяет с достаточной точностью производить расчеты минимальной неровноты смешивания волокон, линейные плотности которых близки. В большинстве случаев это условие соблюдается. Однако при смешивании хлопкового волокна с котонизированным льном или со стальным волокном *VeKinox* линейные плотности волокон компонентов могут отличаться в 3 – 5 раз, что существенно повышает погрешность расчетов по формуле, полученной в работе [2].

С целью вывода новой формулы для расчета минимальной неровноты смешивания в системе компьютерной алгебры Maple была разработана

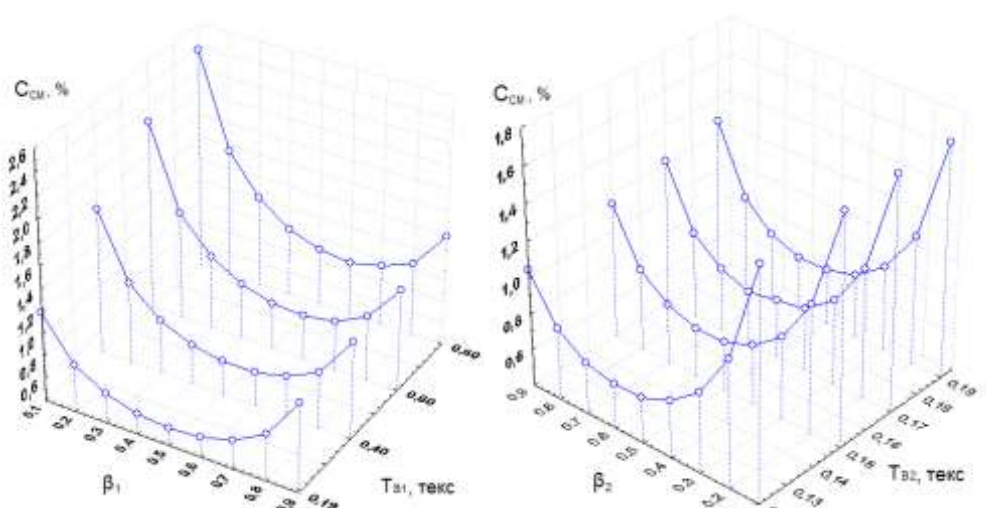
имитационная модель идеального многокомпонентного волокнистого продукта. В данной модели продукт рассматривался как сумма идеальных потоков, состоящих из волокон каждого компонента в отдельности, а плотность передних концов волокон на каждом участке каждого из потоков являлась случайной величиной, распределенной по закону Пуассона.

С использованием данной модели осуществлено моделирование волокнистой ленты линейной плотности 6 ктекс двух типов:

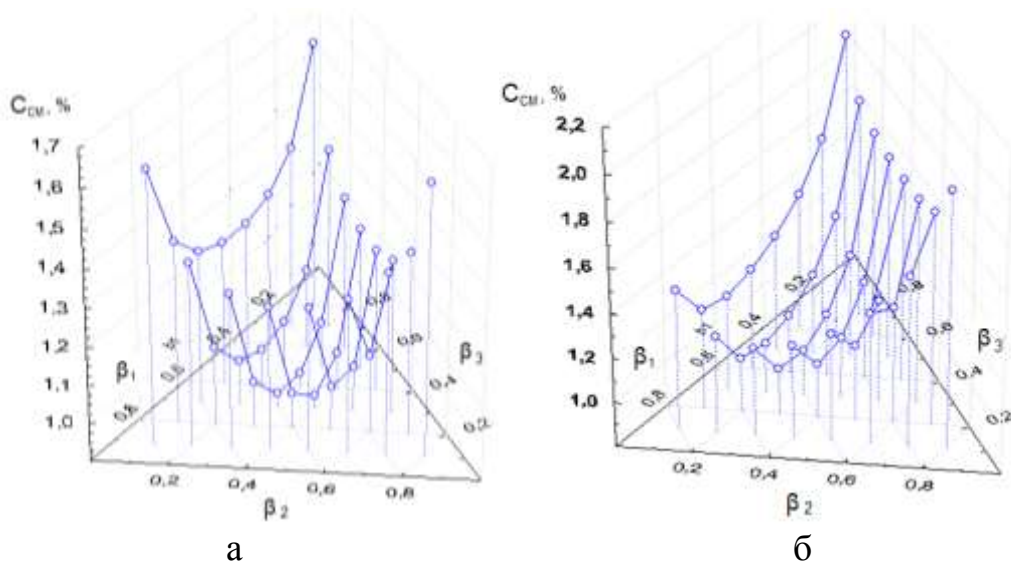
- двухкомпонентная лента, состоящая из волокон хлопка и котонизированного льняного волокна;
- трехкомпонентная лента, состоящая из волокон хлопка, полиэфирного волокна и котонизированного льняного волокна.

Выбор указанных составов лент был связан с тем, что лен является одним из важнейших видов текстильного сырья в Беларуси. Это единственный вид натуральных волокон, производимый в стране, в связи с чем исследование совместной обработки льна с другими видами волокон является одним из наиболее актуальных направлений исследований. С другой стороны, смешиваемые волокна существенно различаются по линейной плотности. Использование результатов моделирования позволит учесть это различие в разработанной модели, что было бы невозможно, например, при моделировании хлопкополиэфирной ленты.

Линейная плотность хлопкового волокна варьировалась в пределах от 0,12 до 0,19 текс, полиэфирного волокна – от 0,15 до 0,17 текс, котонизированного льняного волокна – от 0,19 до 0,8 текс. С целью достижения высокой точности расчетов для каждого варианта ленты осуществлено моделирование 10000 сечений. На рисунках 1 – 2 показаны результаты моделирования смешанных лент.



**Рис. 1. Зависимости неровности смешивания волокон в двухкомпонентной ленте от долевого содержания и линейной плотности волокон компонентов (1 – лен, 2 – хлопок)**



**Рис. 2. Зависимости неравноты смешивания волокон в трехкомпонентной ленте от процентного содержания волокон компонентов (1 – лен, 2 – хлопок, 3 – полиэфирное волокно)**  
 а)  $T_{B1} = 0,19$  текс,  $T_{B2} = 0,19$  текс,  $T_{B3} = 0,19$  текс;  
 б)  $T_{B1} = 0,8$  текс,  $T_{B2} = 0,19$  текс,  $T_{B3} = 0,15$  текс

Можно отметить, что при небольшом процентном содержании каждого компонента его распределение в ленте становится более неравномерным, что приводит к увеличению неравномерности смешивания. Этот результат подтверждает известный факт, что в реальных условиях получение равномерного распределения компонента с низким содержанием достигается значительно большими усилиями.

Анализируя представленные зависимости, можно отметить, что в случае равенства линейных плотностей смешиваемых волокон, минимальное значение неравноты смешивания достигается при их равном содержании в ленте. Однако для смешанных волокон разной линейной плотности предельная неравномерность смешивания минимальна при другом их процентном соотношении.

В результате статистической обработки полученных при моделировании данных выведены следующие формулы для расчета минимальной неравноты смешивания волокон:

- для двухкомпонентных продуктов прядения:

$$C_{см} = \frac{100}{\sqrt{2T_{\Pi}}} \sqrt{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} - 2\sqrt{T_{B1}\beta_2K_1^2 + T_{B2}\beta_1K_2^2}}; \quad (3)$$

- для трехкомпонентных продуктов прядения:

$$C_{см} = \frac{100}{\sqrt{6T_{\Pi}}} \sqrt{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \frac{1}{\beta_3} - 3\sqrt{T_{B1}S_1K_1^2 + T_{B2}S_2K_2^2 + T_{B3}S_3K_3^2}}, \quad (4)$$

где  $T_{\Pi}$  – линейная плотность продукта, текс;  $T_{Bi}$  – линейная плотность волокна  $i$ -того компонента, текс;  $K_i$  – коэффициент учитывающий неровноту  $Cv_{Bi}$ , %, по линейной плотности волокна  $i$ -того компонента

$$K_i = \sqrt{1 + \left(\frac{Cv_{Bi}}{100}\right)^2}, \quad (5)$$

$S_i$  – коэффициент, зависящий от соотношения долевого содержания компонентов в продукте

$$S_i = (1 - \beta_i)(\beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 - 0,5) + \frac{4\beta_1\beta_2\beta_3}{\beta_i}. \quad (6)$$

Кроме того, в результате моделирования получены формулы, позволяющие рассчитать значение минимальной неровноты смешивания волокон для отрезков продукта прядения любой длины.

Очевидно, что реальная неровнота смешивания волокон всегда выше минимально возможного значения, рассчитанного по формулам (3) – (6). Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных показало, что для чесальных хлопкольняных лент с содержанием льноволокна от 35 до 65% фактическая неровнота смешивания значительно превышает предельное значение в 31 – 35 раз. Это соотношение можно назвать индексом неровноты смешивания. После обработки на одном переходе ленточной машины Rieter RSB D-40 индекс неравномерности смешивания снижается до 20 – 24, что свидетельствует о высокой гомогенизации лент. Можно утверждать, что эффект смешивания составляет около 1,5.

Таким образом, полученные формулы могут быть использованы для анализа и оценки эффективности технологических процессов производства смесовой пряжи, состоящей из двух или трех компонентов.

### Список литературы

1. Науменко, А. М. Разработка диэлькометрического метода оценки эффективности смешивания компонентов при производстве хлопкольняной пряжи / А. М. Науменко, Д. Б. Рыклин, А. А. Джежора // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2010. – Выпуск 18. – С. 69 – 74.

2. Рыклин, Д. Б. Гипотетическая неровнота смешивания волокон в идеальном многокомпонентном продукте / Д. Б. Рыклин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 3 (290). – С. 41 – 43.

© Рыклин Д.Б., Науменко А.М., 2020