

УДК 677.017

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ НЕРОВНОТЫ ПРЯЖИ

А.Е.РУДИН, С.М.ИВАНОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Под структурной неровнотой понимается неравномерность распределения одинаковых в отношении рассматриваемого свойства волокон во всем объеме продукта.

Как правило, структурную неровноту исследуют при оценке качества смешивания волокон путем рассмотрения поперечных срезов пряжи, сделанных на некотором расстоянии друг от друга. При анализе каждого среза в отдельности оценивается структурная поперечная неровнота, проявляющаяся в неравномерном распределении одинаковых волокон по площади поперечного сечения, а при обобщении результатов, полученных по нескольким сечениям – структурная неровнота продукта в целом.

Обычно для пряжи структурная неровнота носит случайный либо закономерный характер, проявляющийся в однонаправленном изменении концентрации волокон компонента от центра к периферии поперечного сечения пряжи – миграции. Это относится и к случаям формирования полуфабрикатов продольным сложением потоков, состоящих из волокон каждого компонента в отдельности, так как возникающая на первом этапе периодическая поперечная неровнота (ручьистость) устраняется за счет установки вытяжек соответствующих значений при дальнейшей переработке продукта в пряжу.

Таким образом, для комплексной количественной оценки структурной неровноты пряжи желательно, чтобы применяемый показатель позволял установить наличие и уровень миграции волокон компонентов, а

также оценить степень соответствия доли волокон каждого компонента рецепту смеси, неравномерность распределения волокон во всем объеме продукта и учесть влияние процентного содержания компонентов на общий уровень структурной неровноты.

Анализ известных показателей оценки структурной неровноты продуктов прядения [1], [2] свидетельствует о том, что ни один из них в полной мере не удовлетворяет перечисленным требованиям.

Для оценки структурной неровноты пряжи предлагается ее поперечное сечение разделить на кольцевые зоны через равные интервалы радиуса. После подсчета количества волокон компонентов в каждой зоне сечения определяется их фактическая доля:

$$\alpha_{ijz} = N_{ijz} / N_{iz}, \quad (1)$$

где α_{ijz} – фактическая доля j -го компонента в i -й зоне поперечного сечения z пряжи; N_{ijz} – количество волокон j -го компонента в i -й зоне поперечного сечения z пряжи; N_{iz} – общее количество волокон в i -й зоне поперечного сечения z пряжи:

$$N_{iz} = \sum_{j=1}^k N_{ijz}, \quad (2)$$

где k – количество компонентов смеси.

Полученные по результатам анализа m поперечных сечений значения α_{ijz} являются исходными данными для расчета пока-

зателя структурной неровноты пряжи (ПСН) по следующей методике.

Рассчитаем сначала среднюю дисперсию доли волокон каждого компонента во всем объеме продукта:

$$s_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \sum_{i=1}^n (\alpha_j - \alpha_{ijz})^2 N_{iz} / N_z, \quad (3)$$

где s_j^2 – средняя дисперсия доли волокон j -го компонента в пряже; α_j – доля по числу волокон j -го компонента в соответствии с рецептом смеси; N_{iz} – количество волокон в i -й зоне поперечного сечения z пряжи; m – количество исследованных сечений пряжи; n – количество кольцевых зон в сечении пряжи; N_z – количество волокон в сечении пряжи z :

$$N_z = \sum_{i=1}^n N_{iz}, \quad (4)$$

где N_z – количество волокон в сечении z пряжи.

В выражении (3) первая сумма от $i = 1$ до n позволяет оценить дисперсию по доле волокон каждого компонента в сравнении с заданной в различных зонах одного поперечного сечения. При этом множитель N_{iz}/N_z учитывает, что количественный вклад неровноты по доле волокон компонентов в каждой зоне в общий результат зависит от весомости зоны, а именно в данном случае основываемся на теореме математической статистики о дисперсии составной совокупности, состоящей из нескольких частных совокупностей различного объема [3]. Под составной совокупностью здесь понимается количество волокон в сечении, а под частной совокупностью – количество волокон в данной зоне. Суммирование по z дает возможность определить среднее значение дисперсии для всех m исследованных сечений, то есть для продукта в целом.

Для обобщения результатов по всем компонентам с учетом их доли в смеси предлагается использовать формулу

$$\text{ПСН} = 100 \sqrt{\sum_{j=1}^k \alpha_j s_j^2}, \quad (5)$$

где ПСН – показатель структурной неровноты пряжи, %.

ПСН, удовлетворяя всем ранее выдвинутым требованиям, не учитывает лишь характер распределения волокон компонентов смеси внутри каждой кольцевой зоны. Однако если размеры кольцевых зон сделать небольшими, то эта неровнота на общий результат будет влиять незначительно.

Поскольку на практике управлять уровнем миграции затруднительно, то для иллюстрации информативной способности предложенного показателя используем математическое моделирование структурной неровноты на примере двухкомпонентной пряжи.

Принимаем, что волокна круглой формы в каждом сечении пряжи располагаются вокруг центрального волокна, образуя кольцевые зоны. При одинаковой толщине и соприкосновении волокон диаметр каждой последующей зоны будет больше диаметра смежной с ней внутренней зоны на два расчетных диаметра волокна и по отношению к диаметру первой зоны составит величину, равную

$$d_i = i d_1, \quad (6)$$

где d_i – диаметр по центрам волокон i -й кольцевой зоны пряжи, мм; i – порядковый номер зоны; d_1 – диаметр по центрам волокон первой кольцевой зоны, охватывающей центральное волокно.

Таким образом, принимается гексогональная модель расположения волокон в сечении пряжи и считается, что волокно принадлежит i -й зоне, если его центр находится на линии окружности диаметром d_i , очерчивающей границы зоны.

Если считать, что пряжа имеет круглое сечение и площадь, приходящуюся на каждое волокно в пряже, привести к площади круга, то диаметр последнего можно вычислить по формуле

$$d_b = D_n \sqrt{1/N}, \quad (7)$$

где d_b – диаметр круга, приходящегося на одно волокно в поперечном сечении пряжи, мм; D_n – средний диаметр пряжи, мм; N – среднее количество волокон в сечении пряжи.

Вследствие того, что диаметр первой кольцевой зоны равен $2d_b$, а диаметр пряжи с учетом (6), равный $D_n = (2n+1)d_b$, принимаем для упрощения $D_n \approx 2nd_b$, то согласно (7) получаем

$$n = 0,5\sqrt{N}. \quad (8)$$

Если рассматривать длины окружностей кольцевых зон волокон в пряже как элементы арифметической прогрессии, то при условии, что длина окружности первой зоны принимается за единицу, суммарную длину всех кольцевых зон в пряже можно вычислить по формуле суммы элементов арифметической прогрессии, которая в данном случае принимает вид

$$W = (1+n)n/2, \quad (9)$$

где W – сумма элементов прогрессии.

Поскольку количество волокон в каждой кольцевой зоне пропорционально ее длине, то с учетом (6) можно написать

$$N_i = i N/W \quad (10)$$

или

$$N_i = 2N i/(1+n)n, \quad (11)$$

где N_i – количество волокон в i -й кольцевой зоне пряжи.

С учетом долевого участия компонентов в продукте рассчитаем количество волокон каждого компонента в i -й кольцевой зоне пряжи:

$$N_{i,j} = N_i \alpha_j. \quad (12)$$

По приведенным выше формулам определим количество волокон в каждом слое при равномерном распределении

компонентов по сечению пряжи.

В процессе моделирования структурной неровности принимаем, что волокна одного из компонентов зона за зоной, начиная с первой от центра, полностью мигрируют в наружные зоны с последующим равномерным распределением между ними. Тогда для случая двухкомпонентной пряжи количество волокон условно первого компонента, мигрирующих наружу, в каждой последующей кольцевой зоне будет возрастать на величину

$$N_0 = N_{i,1} / (n-i), \quad (13)$$

где N_0 – количество волокон первого компонента, перешедшее из i -й кольцевой зоны в каждую последующую зону (i -я стадия миграции); $N_{i,1}$ – количество волокон первого компонента, находившееся до данной стадии миграции в i -й кольцевой зоне и перешедшее в последующие зоны $n-1 \geq i \geq 1$.

Одновременно волокна второго компонента будут вытесняться волокнами первого и соответственно мигрировать внутрь пряжи на места, освобождаемые мигрирующими наружу волокнами первого компонента. При этом общее количество волокон в каждой зоне остается постоянным.

В этих условиях количество волокон каждого компонента в зонах с индексом $n \geq y \geq i+1$ будет равно

– для первого компонента

$$N_{y,1} = N_0 + \hat{N}_{y,1}, \quad (14)$$

где $\hat{N}_{y,1}$ – количество волокон первого компонента в зоне y до миграции;

– для второго компонента

$$N_{y,2} = \hat{N}_y - N_{y,1}, \quad (15)$$

где $N_{y,1}$ и $N_{y,2}$ – количество волокон соответственно первого и второго компонентов в каждой последующей зоне y после миграции; \hat{N}_y – количество волокон обоих компонентов в зоне y до миграции.

Таким образом, расчет по вышеприведенным формулам позволяет моделировать встречную миграцию волокон в сече-

нии двухкомпонентной пряжи, а полученные величины $N_{i,j}$ являются исходными данными для расчета ПСН.

На первом этапе исследования моделировался процесс миграции для пряжи с количеством волокон в сечении, равным 100, при изменении содержания в смеси мигрирующего в наружные зоны компонента от 10 до 90% с шагом в 20%. При этом ограничивались рассмотрением только одного сечения, принимая значения $N_{i,j}$ в качестве средних для всех сечений пряжи. Разделение общего количества волокон в пряже на компоненты являлось чисто условным исходя из их заданной доли.

Одновременно для каждого варианта вычислялся миграционный индекс Гамильтона-М [1].

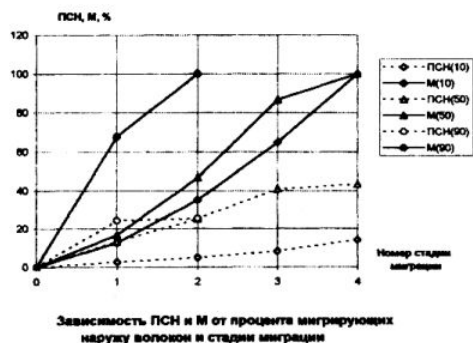


Рис. 1

На рис. 1 показано типичное изменение ПСН и М в зависимости от стадии миграции и процента волокон, мигрирующих в наружные зоны (указан в скобках). Нулевая стадия соответствует равномерному распределению волокон по зонам; первая – полному переходу мигрирующих волокон из первой зоны и их равномерному распределению по внешним (второй и далее) зонам; вторая – аналогично из второй зоны и так далее до полной сепарации волокон.

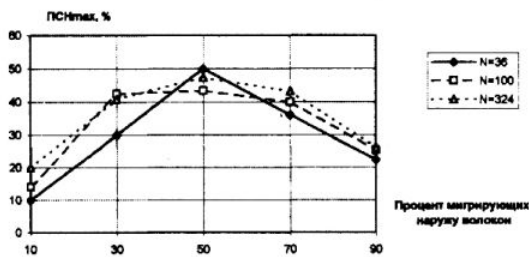
Очевидно, что оба показателя при равномерном распределении волокон компонентов по площади поперечного сечения продукта принимают нулевое значение, а по мере миграции значения показателей возрастают и достигают своего максимума при полной сепарации волокон. Это позволяет сделать вывод, что наряду с миграционным индексом и ПСН учитывает качественные изменения в характере распределе-

ния компонентов по площади поперечного сечения продукта.

В то же время, если миграционный индекс при полной сепарации компонентов независимо от их соотношения в смеси всегда дает одинаковый результат, равный 100, то ПСН принимает различные значения в зависимости от состава смеси, что представляется его преимуществом и свидетельствует о его больших информативных возможностях. Абсолютного максимума ПСН достигает в случае равного соотношения компонентов в смеси. При увеличении доли одного из компонентов максимальное значение критерия снижается, а его величина зависит от того, какой из компонентов мигрирует – с большим или меньшим содержанием в смеси.

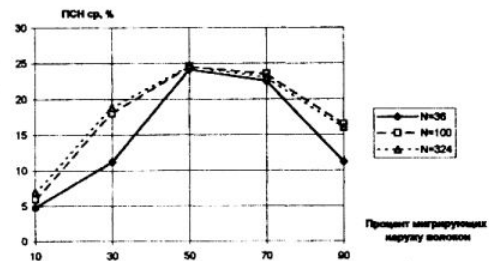
Очевидно, что абсолютно равномерной по структуре будет являться лишь однородная пряжа, а по мере увеличения в пряже доли второго компонента уровень структурной неровноты при наличии миграции или других проявлениях неравномерности распределения должен возрастать и достигать своего максимума при соотношении компонентов 50 на 50%. Представляется, что при иных соотношениях компонент с большим количеством волокон должен оказывать демпфирующее воздействие, примерно пропорциональное его доли в смеси.

Одновременно обращает на себя внимание тот факт, что в одинаковых на первый взгляд случаях с соотношением компонентов 10/90 и 90/10 значения ПСН получаются различными. Однако анализ результатов показывает, что если наружу мигрирует компонент с малым содержанием волокон, то в силу большой вместимости наружной зоны все его волокна могут полностью уместиться в ней и при этом структура пряжи будет минимально отличаться от однородной. Если тот же компонент мигрирует внутрь, то в силу малой вместимости внутренних зон его волокна будут располагаться в нескольких зонах пряжи и ее структура будет менее однородной, чем в предыдущем случае, что соответственно отражается на величине ПСН.



Зависимость максимального значения ПСН от процента мигрирующих наружу волокон для пряжи с различным количеством волокон в поперечном сечении

Рис. 2



Зависимость среднего значения ПСН от процента мигрирующих наружу волокон для пряжи с различным количеством волокон в поперечном сечении

Рис. 3

Результаты моделирования миграции при тех же условиях, но при различном количестве волокон в поперечном сечении пряжи представлены на рис. 2 и 3.

На рис. 2 показана зависимость максимальных для смеси каждого состава значений ПСН, соответствующих случаю полной сепарации волокон компонентов, от процента мигрирующих волокон. Видно, что характер изменения критерия соответствует ранее высказанному тезису о влиянии состава смеси на структурную неровноту пряжи и не зависит от ее толщины.

Аналогичный характер имеют представленные на рис. 3 зависимости среднего арифметического значения ПСН от процента мигрирующих волокон. Расчет среднего производился по значениям ПСН, соответствующим каждой стадии миграции от равномерного распределения компонентов смеси до полной их сепарации, то есть средние арифметические из ординат с рис.1.

Анализ позволяет сделать следующий вывод – на величину ПСН оказывают влияние закономерный и случайный факторы. При этом под закономерным понимается установленный характер влияния состава смеси на уровень структурной неровноты, а под случайным – возможные особенности расположения мигрирующих волокон по кольцевым зонам сечения пряжи.

Так, например, при общем числе волокон в сечении $N=36$ пряжа имеет три кольцевых зоны емкостью соответственно 6, 12 и 18 волокон. При таких условиях вплоть до соотношения 50/50 волокна мигрирую-

щего компонента могут полностью уложиться только во внешней зоне и на этом этапе ПСН растет линейно, достигая своего максимума, равного 50 %, при полной сепарации волокон, их строгом разделении по зонам и равенстве по количеству (18 во внутренних зонах и 18 в наружной).

Аналогичная ситуация и при другом количестве волокон в сечении, когда при полной сепарации мигрирующие волокна занимают целое количество зон. В этих случаях наблюдаются пики ПСН вблизи значения 50 %, которые могут повторяться для различных смесей и стадий миграции волокон, что отражается на характере кривой, придавая ей более пологую форму в области максимума ПСН или оказывая влияние на расположение самого максимума.

Полученные результаты показывают, что изменение в сечении количества волокон оказывает незначительное, но в целом пропорциональное влияние на величину ПСН. Это объясняется большими структурными изменениями, происходящими в пряже по мере увеличения в ней количества кольцевых зон и перераспределения волокон между ними.

Наибольшие как средние, так и максимальные значения ПСН соответствуют смесям с равным или близким к нему соотношением компонентов. Миграция в наружные слои волокон большего в процентном отношении компонента дает структурную неровноту пряжи бóльшую, чем в противоположном случае.

Использование приведенной методики оценки структурной неровноты проиллю-

стрировано на примере пряжи, состоящей из двух компонентов, однако их количество может быть любым, а в качестве компонентов можно рассматривать волокна, отличающиеся по любым интересующим признакам.

ВЫВОДЫ

Предложен показатель для количественной оценки структурной неровноты пряжи и методика его определения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hamilton J.B.* The Radial Distribution of Fibers in Blended Yarns/ Part 1. Characterization by Migration Index // *J.Text.Inst.* – №9, 1958.

2. *Севостьянов А.Г.* Методы и средства исследований механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1980.

3. *Виноградов Ю.С.* Математическая статистика и ее применение в текстильной и легкой промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1970.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 23.12.03.
