

УДК 677.017:004.9

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОПУСТИМЫХ ГРАНИЦ
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ПРОДУКТОВ ПРЯДИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ***

**DESIGNING OF ADMISSIBLE BORDERS
OF IMPORTANT QUALITY INDEXES OF SPINNING PRODUCTS**

О.А. ШАЛОМИН, А.Ю. МАТРОХИН
O.A. SHALOMIN, A.YU. MATROHIN

(Ивановская государственная текстильная академия, ООО "ТексПро")
(Ivanovo State Textile Academy)
E-mail: ttp@igta.ru

В статье определена последовательность этапов и установлены критерии проектирования допустимых границ определяющих показателей качества продуктов прядильного производства. В результате получены расчетные выражения для вычисления границ технологического доверительного интервала по определяющим показателям качества продуктов прядильного производства, которые могут быть использованы предприятиями с различным уровнем развития текстильной технологии. Методика является универсальной и позволяет текстильным предприятиям выбирать перечень определяющих показателей качества получаемых продуктов индивидуально, на основе своих потребностей.

Sequence of stages have been defined and criteria of designing of admissible borders of important quality indexes of spinning products have been established in the article. As a result calculated expressions for calculating the borders of a technological confidential interval by determinative quality indexes of spinning products, which may be used by enterprises with a different level of textile technology development, have been received. The method is universal and it allows textile enterprises to choose individually the list of determinative quality indexes of received products on the basis of its needs.

* Статья подготовлена в рамках выполнения гранта ИГТА для поддержки коллективов молодых ученых. Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Б.Н. Гусева.

Ключевые слова: продукты прядильного производства, качество, допустимые границы, технологический доверительный интервал.

Keywords: spinning products, quality, admissible borders, a technological confidential interval.

Потоковые технологические системы, к которым относится прядильное производство, характеризуются тем, что готовый продукт является результатом последовательных превращений материального потока [1], который можно считать непрерывным. Колебания показателей качества промежуточных продуктов способны оказать существенное влияние на качество пряжи, поэтому ими необходимо управлять на основе четких нормативов.

В связи с этим важнейшим результатом проектирования в прядильном производстве является установление допусков, то есть

интервалов приемлемых значений определяющих показателей качества.

Предлагается новая парадигма установления границ допусков, которая исходит из необходимости обнаружения отклонений, которые, с одной стороны, являются нехарактерными для текущего состояния технологического процесса, а, с другой стороны, имеют амплитуду существенно меньше, чем амплитуда колебаний, приводящих к фактическим проблемам. Методика установления допусков состоит из трех этапов (рис. 1).



Рис. 1

Исходными данными для кластер-анализа являются результаты оперативного мониторинга продуктов прядильного производства, представленные в виде временного ряда по каждой единице технологического оборудования. Временной ряд может представлять собой совокупность индивидуальных значений или средних арифметических значений в зависимости от вида и

способа представления продукции на контроль. Например, по показателям "удельная разрывная нагрузка пряжи" и "коэффициент вариации по разрывной нагрузке пряжи" целесообразно использовать усредненные данные с паковок, а по показателям качества ленты "коэффициент вариации по линейной плотности" необходимо подставлять данные измерений индивидуальных

значений. Длина временного ряда связана с вероятностью выхода контролируемого показателя за границы статистически управляемого процесса в данной мгновенной выборке p и количеством последовательных мгновенных выборок k . Вероятность того, что контролируемый показатель выйдет за контрольную границу через k выборок, равна вероятности произведений независимых событий:

$$P = p(1 - p)^{k-1}. \quad (1)$$

Согласно [2] средняя длина серий с учетом выражения (1) определяется по

$$\begin{aligned} \bar{P}(\delta) &= 1 - P(\mu_0 - u_{1-\alpha/2} \sigma / \sqrt{n} < \bar{Y} < \mu_0 + u_{1-\alpha/2} \sigma / \sqrt{n}) = \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{\mu_0 + u_{1-\alpha/2} \sigma / \sqrt{n} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}\right) + \Phi\left(\frac{\mu_0 - u_{1-\alpha/2} \sigma / \sqrt{n} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}\right), \end{aligned} \quad (3)$$

где μ_0 – центральный момент первого порядка, совпадающий с номинальным значением контролируемого показателя; $\Phi(x)$ – функция стандартного нормального закона распределения; $u_{1-\alpha/2}$ – квантиль стандартного нормального распределения при уровне $1 - \alpha/2$; α – принятая вероятность "ложной тревоги" – мощность критерия, $\alpha = 0,05$.

Величина $(\mu_0 - \mu)$ характеризует смещение фактического центра группирования данной случайной величины относительно оптимального значения. Если выразить эту величину относительно среднего квадратического отклонения σ , то

$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma} = \frac{\mu_0 - \mu}{\sigma}. \quad (4)$$

Тогда с учетом свойств функции стандартного нормального закона распределения и выражения (2) получим общую формулу для вычисления минимальной длины временного ряда при различных значениях δ :

$$\bar{L}_1(\delta) = \left[\Phi(\delta\sqrt{n} - u_{1-\alpha/2}) - \Phi(-\delta\sqrt{n} - u_{1-\alpha/2}) \right]^{-1}. \quad (5)$$

Аналогично можно получить общую формулу для вычисления длины временного

формуле суммы членов арифметико-геометрической прогрессии:

$$L_1 = p^{-1}. \quad (2)$$

В случае соответствия распределения значений показателя стандартному нормальному закону с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2/n средняя вероятность события, заключающегося в выходе среднего за контрольные границы, определяется по формуле:

го ряда для индивидуальных значений при условии, что они распределены по нормальному закону с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2 :

$$L_1(\delta) = \left[\Phi(\delta - u_{1-\alpha/2}) - \Phi(-\delta - u_{1-\alpha/2}) \right]^{-1}. \quad (6)$$

На первой итерации проектирования, то есть при отсутствии предварительных данных о величине отклонения δ , длина временного ряда зависит только от принятого уровня доверия α и определяется выражением:

$$\bar{L}_1(0) = \alpha^{-1}. \quad (7)$$

При уровне $\alpha = 0,01$ в последовательности из 100 замеров в среднем возможен один "ложный сигнал". В зависимости от выбранной длины временного ряда и частоты контроля проектируемых параметров определяется временной период сбора данных.

Дополнительным вспомогательным инструментом для установления длины временного ряда (объема выборки) является соотношение между заданной точностью измере-

ний параметра и фактическим разбросом данных [3]:

$$p\left\{|\Delta y| < \frac{t_T \sigma}{\sqrt{n}}\right\} = P_{\text{дов}}, \quad (8)$$

где Δy – нормированная величина абсолютной погрешности измерения контролируемого параметра; $P_{\text{дов}}$ – доверительная вероятность, достаточная для принятия решения, выбирается равной 0,954 (согласно правилу "двух сигм"); t_T – квантиль распределения Стьюдента, определяемый по результатам предварительного эксперимента при доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$.

Отсюда минимальное число данных временного ряда можно определить по формуле:

$$n = L_2 \geq \left(\frac{t_T \sigma}{\Delta y}\right)^2. \quad (9)$$

Если погрешность нормируется в виде относительного значения в долях или в процентах, то выражение (9) необходимо преобразовать следующим образом:

$$n = L_2 \geq \left(\frac{t_T C_V}{\delta y_3}\right)^2, \quad (10)$$

где C_V – коэффициент вариации контролируемого параметра, определенный в ходе предварительного эксперимента; δy_3 – нормированная величина относительной погрешности измерения контролируемого параметра (в долях).

Таким образом, выбор длины временного ряда подчиняется выражению:

$$L = \max(L_1, L_2). \quad (11)$$

Целью предварительных процедур является формирование генеральной совокупности данных, представляющих однородные кластеры. На первом этапе предварительного анализа по каждому кластеру необходимо построить контрольные карты индивидуальных (средних) значений по проектируемым показателям согласно [4].

Формирование генеральной совокупности данных по ключевым показателям качества продуктов пряжильного производства позволяет приступить к проектированию допустимых границ. Прежде всего необходимо получить состоятельные точечные оценки генеральной совокупности.

Состоятельная оценка математического ожидания генеральной совокупности может быть получена как средневзвешенное значение из математических ожиданий входящих в нее отдельных кластеров:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^N \bar{Y}_i L_i / \sum_{i=1}^N L_i, \quad (12)$$

где \bar{Y}_i – среднее арифметическое i -го временного ряда (кластера данных); L_i – объем данных (длина) i -го временного ряда без учета резко выделяющихся значений; N – количество кластеров, включенных в генеральную совокупность.

Состоятельная оценка среднеквадратического отклонения генеральной совокупности может быть получена только в связи с новым математическим ожиданием генеральной совокупности по формуле:

$$\sigma_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{L_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2 / \left[\left(\sum_{i=1}^N L_i \right) - N \right]}, \quad (13)$$

где Y_{ij} – j -е индивидуальное (среднее групповое) значение i -го временного ряда (кластера данных).

Промежуточным этапом установления допустимых границ является определение системного доверительного интервала каждой генеральной совокупности, для определения ширины которого используется понятие интерквартильного размаха, то есть разности между третьим и первым квартилями эмпирического распределения ω_X :

$$\Delta \omega_Y = (\omega_{0,75})_Y - (\omega_{0,25})_Y, \quad (14)$$

где $(\omega_{0,75})_Y$ и $(\omega_{0,25})_Y$ – верхний и нижний квартили распределения контролируемого параметра (уровни 0,75 и 0,25 соответственно).

Системный доверительный интервал является мерой ресурса "управляемости" показателя качества продукта при идеальных условиях. Если эмпирическое значение показателя выходит за пределы системного доверительного интервала, то это означает, что объект не подчиняется системным требованиям, то есть проявляет некоторую индивидуальность. Сама же величина отклонения может рассматриваться как мера индивидуальности данного продукта. Использование интерквартильного интервала для установления ограничений на результаты технологического процесса является

слишком жестким, поскольку вероятность выхода за эти границы в будущем составляет порядка 50%. Поэтому необходимо установить технологический доверительный интервал. В математической статистике [5] известна методика представления доверительного интервала выборочного распределения "box and whisker" (рис. 2), который является оптимальным для проектирования граничных значений ключевых показателей как с точки зрения установленных требований, так и с точки зрения технологических возможностей.

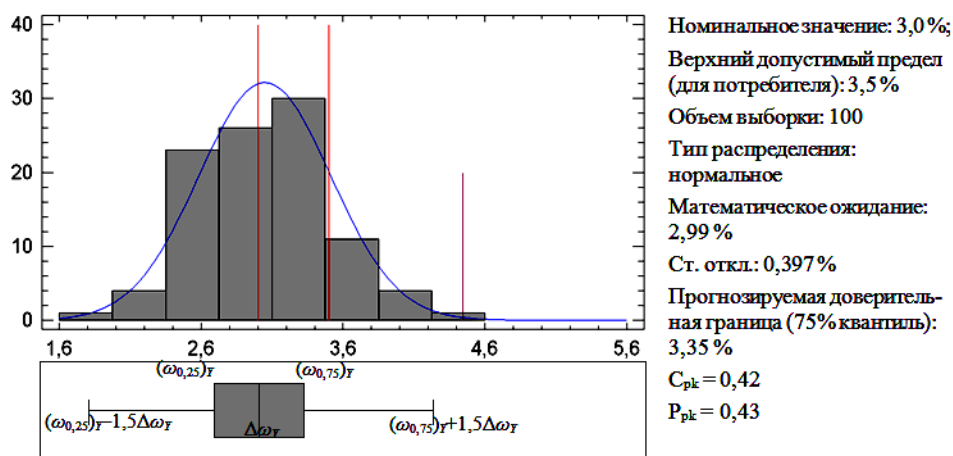


Рис. 2

Согласно предлагаемому решению величина технологического доверительного интервала определяется по формуле:

$$\|\Delta\omega_Y\| = 4\Delta\omega_Y. \quad (15)$$

Если распределение случайной величины будет стремиться к нормальному закону, то указанный интервал будет содержать 99,3 % всех значений. Допускаемые границы ключевых показателей качества продуктов прядильного производства с

учетом расчетных номинальных значений $\|X\|$ можно вычислить по формуле:

$$\begin{aligned} \|Y_{\min}\|_B &= \|Y\| - 2\Delta\omega_Y; \\ \|Y_{\max}\|_B &= \|Y\| + 2\Delta\omega_Y. \end{aligned} \quad (16)$$

Окончательно границы допуска устанавливаются по результатам сопоставления вычисляемых допускаемых границ с требованиями соответствующих нормативных документов (стандартов):

$$\begin{cases} \|Y_{\min}\| = \min(\|Y_{\min}\|_B; \|Y\|_{\text{НД}}) & \text{— для позитивных показателей;} \\ \|Y_{\min}\| = \min(\|Y_{\min}\|_B; \|Y\|_{\text{НД}}) & \text{— для негативных показателей;} \end{cases} \quad (17)$$

где $\|Y\|_{\text{НД}}$ – нормативное значение проектируемого показателя качества.

Допускаемые границы играют роль ограничений на индивидуальные или средние значения соответствующего показателя, оп-

ределяемые согласно плану оперативного мониторинга. Выход этих значений за верхнюю или нижнюю границу является сигналом о наличии отклонений в технологическом процессе и необходимости предупреждающих или корректирующих действий (профилактического осмотра или наладки соответствующей единицы оборудования, анализа результативности предыдущих технологических этапов и т.д.). Эти границы также являются критерием необходимости пересмотра структуры нейронной сети или передаточных выражений, используемых для расчета номинальных значений проектируемых показателей [6].

Выпуск продукции в соответствии с рассчитанными допусками представляет собой не конечную цель для производителей и менеджеров, а "начало отсчета" в улучшении качества продукции и технологического процесса. При этом допуски должны последовательно изменяться в сторону ужесточения, отражая фактически достигнутый уровень улучшений.

ВЫВОДЫ

1. Определена последовательность этапов и установлены критерии проектирования допустимых границ определяющих показателей качества продуктов прядильного производства.

2. Получены расчетные выражения для вычисления границ технологического доверительного интервала по определяющим показателям качества продуктов прядильного производства, которые могут быть использованы предприятиями с различным уровнем развития текстильной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Матрохин А.Ю., Чистякова Н.Э., Гусев Б.Н.* Определение эффективности технологического процесса // Методы менеджмента качества. – 2005, №11. С. 6...9.
2. *Клячкин В.Н.* Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009.
3. *Севостьянов П.А.* Математические методы обработки данных. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2004.
4. ГОСТ Р 50779.42–99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта.
5. *Nelson L.S.* Evaluating overlapping confidence intervals // Journal of Quality Technology. – Vol. 21, - 1989. PP. 140...141.
6. *Шаломин О.А., Матрохин А.Ю., Шубин А.С.* Проектирование номинальных значений показателей качества текстильных изделий с использованием нейросетевого анализа // Изв. вузов. технология текстильной промышленности. – 2012, №3. С. 18...25.

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии ИГТА.
Поступила 29.06.12.