

## **ОБ ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КРУГЛОЧУЛОЧНЫХ АВТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*И.Г. ЦИТОВИЧ, Н.В. ГАЛУШКИНА, И.Е. БАБУШКИНА, В.В. МАЛЮТА*

**(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)**

Насыщение современного рынка круглочулочными автоматами различных фирм, прежде всего итальянских производителей, и пробивающих себе дорогу в конкурентной борьбе странами Азии (Южная Корея, Китай и др.) ставит перед потребителями вопрос о конкурентном преимуществе тех или других машин. При этом обычно рассматривают технологические возможности машин в части многообразия получаемого ассортимента, видов переплетений и перерабатываемого сырья. Именно такой подход реализуют современный менеджмент и бизнес-процессы в России, ориентируясь на ассортимент продукции, оценивая способности оборудования оперативно формировать периодически новые коллекции изделий, гибко корректировать торговую линейку продукции, используя художественно-технологический и конструктивный дизайн и программирование. В стремлении сократить технологический цикл рассматриваются также важнейшие преимущества машин,

отражающие их эффективность, возможность реализации однопроцессной технологии, робототехнической и безотходной технологии, в частности, на основе использования различных способов автоматизации закрытия мыска (известные бренды Lin-Тое, Rimaglio и др.), а также автоматизации вспомогательных операций при формировании и упаковке изделий (съем и одевание изделий, подбор в пары, комплектование и пр.).

Вместе с тем, практика использования современного оборудования в производстве обнаруживает значительное количество отходов (до 5...10%), наличие разного вида дефектов изделий, непредвиденный перерасход сырья, неоднородность изделий и т.д. Все это в целом снижает эффективность производства, вызывает потери ресурсов, нарушает непрерывность производственного цикла (подбор изделий в пары, штопка изделий и т.д.). Причины этого заключаются в том, что при управлении производством используют технологи-

ское оборудование, не учитывая его важнейшие свойства: технологическую точность и надежность [1]. Обеспечение требований технологической точности и надежности (как следствие стабильности и воспроизводимости) – неотъемлемая процедура управления качеством (ИСО 9000)[2]. Обеспечение точности размеров чулочно-носочных изделий (соответственно их растяжимости) – одна из важнейших задач в этом секторе трикотажного производства. Изыскание способов стабилизации размеров изделия, повышение структурной однородности трикотажного полотна постоянно привлекают внимание исследователей в отечественной, а также зарубежной науке и практике трикотажного производства. Проблему низкой размерной точности чулочно-носочных изделий, изготавливаемых в промышленности, относят к "проблеме неоднородности изделий", иллюстрацией которой является рис. 1.



Рис. 1

Проблема зебростости и межсистемной полосатости также в основе своей связана с низкой технологической точностью процесса. Определенные успехи в управлении точностью процессов изготовления чулочно-носочных изделий связывают с использованием устройств контроля и управления натяжением и скоростью нити (фирмы BTSR, Memminger и др.).<sup>1</sup>

Причины изменения структурных параметров полотен (как следствие, массы и

расхода сырья на изготовление изделий) достаточно хорошо изучены. Эти причины обусловлены изменением характеристик параметров нити на входе в вязальную машину: свойств нити (линейной плотности, деформационных характеристик, фрикционных показателей), параметров режима вязания (натяжения и скорости нити); параметров настройки (юстировки) машин и ошибок программирования параметров технологических регуляторов трикотажных машин (прежде всего, координат положения петлеобразующих органов) и др. Из-за действия указанных факторов на процесс вязания показатели качества продукции реализуются в виде случайного процесса с характеристиками, близкими к нормальному закону распределения [3]. В зависимости от рабочих характеристик машин и их технологического оснащения реализуются различные по точности технологические процессы и показатели качества изготовления продукции.

В целом процесс вязания как объект управления реализуется в структуре параметров "вход-выход" как двумерный случайный процесс. Входные параметры – регулируемые, относящиеся к управлению процесса вязания посредством различных регуляторов; выходные относятся к качеству изготавливаемой продукции. При этом всегда имеется определенная рабочая характеристика процесса вязания или функция связи параметров "вход-выход"<sup>2</sup>. В качестве основного целевого критерия (в том числе критерия оптимизации) целесообразно рассматривать минимум квадрата отклонений (ошибок) фактических показателей от заданных требований, поскольку входные параметры не являются детерминированными величинами. Как показывает опыт, технологи и операторы при этом не знают те характеристики, которые необходимы для какого-либо точного регулирования процесса. Известные знания относятся, в лучшем случае, к направлению влияния регулируемых параметров, а количественные оценки влияния неизвестны.

<sup>1</sup> Необходимым условием является контроль фрикционных свойств.

<sup>2</sup> Обычно неизвестная потребителю и, как следствие, процесс оказывается неуправляемым (!).

В общем виде средний квадрат ошибок есть некоторая функция от варьируемых параметров  $\sigma_{xi}^2$  (понимая под ошибкой разность между желаемым и реальным сигналом). Всю совокупность ошибок на входе процесса вязания можно разделить на две группы: во-первых, погрешности, вносимые процессом вязания (оценкой которых может быть дисперсия  $\sigma_{0x}^2$ ); во-вторых, погрешности, обусловленные ошибками в регулировании машин  $\sigma_{\Delta x}^2$  (должны быть сведены к минимуму, если процесс является управляемым).

При необходимости мы можем анализировать двумерный массив ("вход-выход") наблюдений, корреляционную связь (в виде корреляции  $K_{xy}$  средних значений параметров  $\bar{X}$  и  $\bar{Y}$ ) и дисперсии  $\sigma_x^2$  и  $\sigma_y^2$  любых наблюдаемых случайных величин  $x$  и  $y$ , чтобы иметь исчерпывающие сведения о процессе вязания на конкретной машине. Известные подходы к определению функциональных зависимостей ("входа-выхода") процесса вязания на ос-

нове искусственно поставленного эксперимента, в том числе на основе многофакторного эксперимента и построения регрессионных моделей, на самом деле, справедливы при определенных жестких ограничениях на изменение входных параметров и отсутствия корреляционных связей между ними. На практике такое не имеет места, хотя и представляет интерес для оценки коэффициентов, что важно для выбора стратегии управления.

Нас же интересует оценка именно случайных ошибок, дестабилизирующих процесс не только на одной машине, а на группе машин, как типичной картины для массового производства продукции. Корреляционная связь случайных величин "входа-выхода" ( $\sigma_{0x}^2$ ,  $\sigma_{\Delta x}^2$ ,  $\sigma_{0y}^2$ ,  $\sigma_{\Delta y}^2$ ) позволяет не исследовать сам процесс вязания, а судить о качестве данного процесса, в частности, по отклонениям размеров готовой продукции (или других метрических характеристик качества трикотажной продукции, например, длине нити в петле).

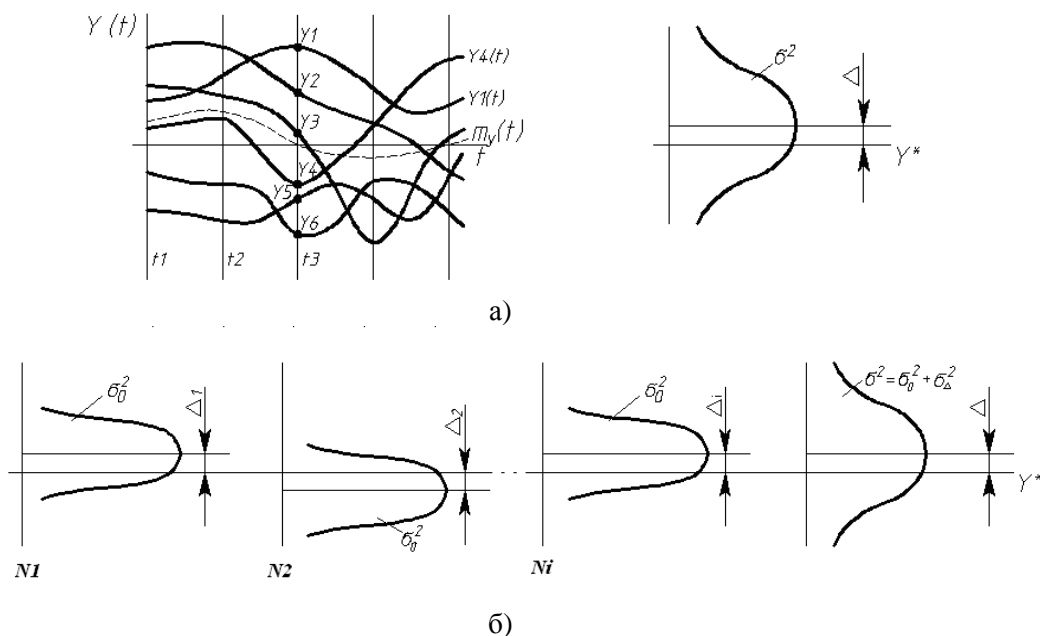


Рис. 2

В общем виде (рис. 2 – формирование дисперсий ошибок при вязании трикотажных изделий на группе машин: а) – в виде случайных процессов  $Y(t)$ ; б) – в виде случай-

ных  $\sigma_0^2$  и систематических погрешностей  $\sigma_\Delta^2$ ) отклонения размеров (и массы изделий) реализуются в виде случайного про-

цесса  $Y(t)$  для различных реализаций  $y_i$  во времени  $t$  с математическим ожиданием  $m_y(t)$ . При отсутствии корреляции процессов на группе машин дисперсии могут быть представлены суммарной дисперсией  $\sigma^2$ . При заданном номинальном значении  $y^*$  возникает также суммарная средняя систематическая погрешность  $\Delta$  изготовления продукции и дисперсия ошибок  $\sigma_\Delta^2$ , имея в виду наличие на отдельных машинах систематических погрешностей  $\Delta_i$  того или иного знака.

Таким образом, в результате изготовления изделий на группе машин мы имеем суммарную дисперсию ошибок  $\sigma^2$  на выходе в виде суммы случайных составляющих  $\sigma_0^2$  и дисперсии систематических погрешностей  $\sigma_\Delta^2$  в виде

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 + \sigma_\Delta^2, \quad (1)$$

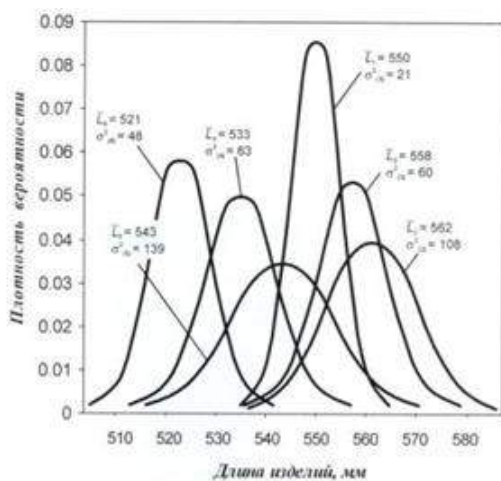
или в доленой оценке

$$\frac{\sigma_0^2}{\sigma^2} + \frac{\sigma_\Delta^2}{\sigma^2} = 1, \quad (2)$$

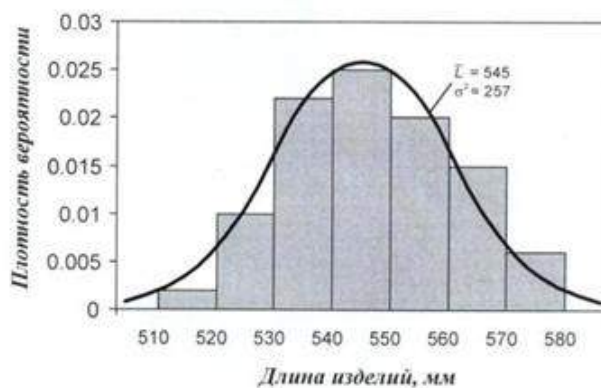
Из соотношения (1) видно, что отклонения процесса вязания (так же, как и вообще всего технологического процесса) зависят от качества или технического уровня машин (составляющая  $\sigma_0^2$ ) и качества обслуживания оборудования: контро-

ля, регулирования (составляющая  $\sigma_\Delta^2$ ). При формировании погрешностей на группе машин при массовом производстве продукции можно говорить о суммарной дисперсии ошибок управления  $\sigma_\Delta^2$  и дисперсии процессов  $\sigma_0^2$ .

Эксперимент проводился на случайной выборке на складе подготовленных к пошиву детских колготок (размер 13-14), связанных в различные смены из одного вида сырья (пряжа хлопчатобумажная, линейная плотность  $T=25$  текс, комплексная пневмосоединенная полиамидная нить с эластомерной лайкрой, суммарная линейная плотность  $T=10$  текс). Объем выборки составил 6 десятков пар (по 10 пар в группе изделий, связанных в различное время на различных круглочулочных автоматах). Изделия измерялись по длине с погрешностью не более 0,5 см и взвешивались на электронных весах с погрешностью не более 0,001 г. Изделия индивидуально идентифицировались с целью определения коэффициента корреляции после их ВТО в готовом виде. Результаты измерений подвергались статистической обработке. Для каждого десятка пар были построены функции плотности распределения, для всей выборки – гистограммы распределения и функции плотности распределения, а также их числовые характеристики – оценки средних значений (математического ожидания) и дисперсий.



а)



б)

Рис. 3

На рис. 3-а, б приведены соответствующие характеристики распределения и оценки экспериментальных данных для каждой из групп изделий и суммарной выборки для изделий в готовом виде. Аналогичные характеристики были получены для изделий-полуфабрикатов в суровом виде. Хотя контроль размеров трикотажных полотен (без обеспечения условий достижений состояния релаксации) в полной мере не является эффективным, фактические размеры после длительной отлежки (сухой релаксации) и после ВТО дают достаточное основание судить о погрешностях размеров. Следует также иметь в виду, что при вязании чулочно-носочных изделий с пневматической оттяжкой различия деформаций чулочных изделий по длине не являются существенными (по сравнению с ранее использованным механическими системами).

Сравнение графиков распределения плотности вероятности длины изделий в отдельных группах (рис.3-а) и во всей партии (рис.3-б), а также оценки средних значений и дисперсий позволяют сделать определенные выводы.

Плотность распределения значений длины изделий в отдельных группах значительно превышает значения, которые характеризуют всю партию (максимальное значение 0,08 против 0,025 для всей партии). Аналогичный результат следует при анализе дисперсий. В среднем дисперсия случайных отклонений  $\sigma_0^2$  отдельных групп изделий составляет  $\sigma_0^2=73 \text{ мм}^2$  ( $\sigma_0=8,5$ ). При суммарной дисперсии всей партии,  $\sigma^2=257$  ( $\sigma_0=16$ ).

Из соотношения (1) следует, что доля систематической погрешности (связанной с регулированием машин и вмешательством в процесс обслуживающего персонала) при этом составляет:

$$\frac{\sigma_{\Delta}^2}{\sigma^2} = 1 - \frac{\sigma_0^2}{\sigma^2} = 1 - \frac{73}{257} = 0,72 \text{ (72\%)}$$

В результате расчетов было получено, что разнородность изделий составляет после вязания  $L=613\pm 50 \text{ мм}$ , а после ВТО  $L=545\pm 32 \text{ мм}$ , при доверительной вероятности  $p=0,95$ . Коэффициент парной кор-

реляции длины колготок после пошива и после ВТО составил  $r=0,71$ , то есть разнородность изделий оказывает существенное влияние на размеры изделий в готовом виде. Однако имеют место "перемешивание" и "выравнивание" размеров при снижении отклонений за счет усадки изделий по длине (примерно на 12%), что необходимо учитывать при проектировании изделий. Это свидетельствует о том, что в структуре погрешностей (отклонений) размеров чулочно-носочных изделий при вязании на современных круглочулочных автоматах из-за различных классов машин (при постоянном диаметре игольного цилиндра используется различное количество игл), а также различной юстировке и отсутствии точных алгоритмов управления воздействия по корректировке длины изделий являются случайными и вносят большие систематические погрешности по дисперсии ошибок ( $\sigma_{\Delta}^2$ ). Как видно, их доля в суммарной погрешности превышает 50...70%. Практически не представляется возможным выделить полезный сигнал (его величину и направление) по регулированию круглочулочных автоматов. Процесс вязания, таким образом, является неуправляемым, а деятельность обслуживающего персонала является в определенном смысле бесполезной. Полученные результаты свидетельствуют также о том, что изменение массы изготавливаемых изделий при постоянной линейной плотности свидетельствует о соответствующих изменениях структурных свойств чулочно-носочных изделий. С точки зрения теории случайных процессов, в производственных условиях при вязании изделий на группе машин мы имеем процесс с сильным перемешиванием, когда корреляция по управлению "вход-выход" отсутствует, а основанные на интуиции и опыте корректирующие действия (метод проб и ошибок) не являются адекватными.

В то же время качество (точность) процессов, реализуемых на отдельных машинах по оценке дисперсии ( $\sigma_0^2$ ), является достаточно высокой, отклонения размеров не превышают 5%. Если в качестве норматива принять такой технологический до-

пуск, то процесс также может быть оценен как неуправляемый, так как в основном изделия попадут в долю "брака".

В рамках совместных работ МГТУ им. А.Н. Косыгина (г. Москва) и ОАО "АЧНФ "Алсу"" (г. Альметьевск) была разработана модель управления процессами вязания на круглочулочных автоматах, обеспечивающая получение изделий в соответствии с заданными при проектировании номинальным значениям структурных параметров участков изделий и стабилизацию размеров изделий в пределах отклонений, которые не превышают 3...5% от заданных (номинальных) значений.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Цитович И.Г.* Технологическое обеспечение качества и эффективности процессов вязания поперечновязаного трикотажа: Моногр. – М.: Легпромбытиздат, 1992.

2. *Боб Робертсон.* Лекции об аудите качества. – М.: Стандарты и качество, 1999.

3. *Леонов Ю.П., Раевский С.Я., Райбман Н.С.* Помощник автоматики (статистическая динамика в автоматике).– М.: АН СССР, 1961.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 19.06.08.

---