

матов типа 2АН-14 с теоретической производительностью 150 изд./см при выработке мужских носков арт. 9с1260 разм. 27 в условиях Витебского ОАО «КИМ».

Рис. 1 показывает, что из различных начальных состояний технологическая система стремится перейти в состояние со значениями фазовых переменных X_s и Y_s . Этот факт, свидетельствуя об устойчивости технологических систем рассматриваемого класса, имеет и прямое практическое значение. Он указывает на существование оптимальных значений численности работающего оборудования X (т.е. размеров технологической системы), а также нормы обслуживания H_m . В представленном примере оптимальные с позиций устойчивости значения параметров технологической системы составляют: $X = 100$ автоматов, $H_m = 10$ автоматов.

Построенная модель может быть использована при проектировании новых и оценке устойчивости существующих технологических систем в трикотажном производстве с целью совершенствования их организации, а также поиска скрытых резервов эффективности.

Литература

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуревский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т.1.: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы. – 224 с.

УДК 677.02:681.3:519.22

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Литовский С.М.

Современные технологические процессы текстильной промышленности отличаются избыточной сложностью и интенсивностью, высоким уровнем автоматизации. В этих условиях особую важность приобретает проблема рационального управления такими процессами, часто приходится решать оптимизационные задачи. Необходимо отметить, что за последние 10-20 лет в отраслевых институтах и текстильных вузах СНГ было проведено много теоретико-экспериментальных исследований, раскрывающих закономерности технологических процессов, разработаны экспериментальные математические модели, позволяющие определить оптимальные режимы работы оборудования. Однако, как правило, все эти исследования базировались на традиционном подходе к решению оптимизационной задачи (рис.1).

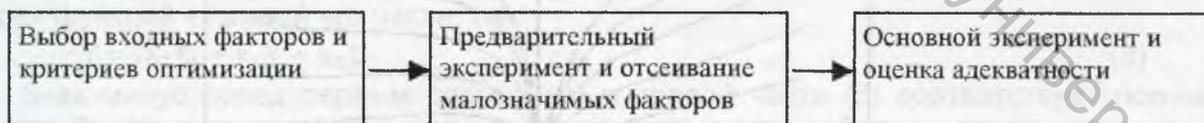


Рис.1.

Целесообразность такого подхода во многом была обусловлена именно сложностью исследуемых технологических процессов, наличием большого числа факторов, для которых трудно определить степень их влияния на критерий оптимизации, необходимостью проведения масштабного эксперимента в производственных условиях. Можно констатировать, что в большинстве случаев адекватность моделей, получаемых при таком подходе, была достаточной для принятия оптимальных технологических и управленческих решений. Вместе с тем, анализ научных публикаций и

диссертационных работ последних лет в области технологии текстильного производства свидетельствует о сложившихся стереотипах при постановке и проведении экспериментальной части исследований. Точность полученных результатов зачастую оказывается на грани допустимой, что ставит под сомнение достоверность технологических рекомендаций.

Детальный анализ традиционного подхода к оптимизации технологических процессов показал ряд вопросов, которые обуславливают высокую трудоемкость и стоимость исследований, а в определенных случаях могут негативно повлиять на адекватность искомых моделей:

- Отсевание малозначимых факторов традиционно считалось процедурой, правильное проведение которой позволяет снизить стоимость основного эксперимента и повысить точность получаемых результатов. Решение об исключении факторов из дальнейшего анализа принималось по результатам предварительного эксперимента, в ходе которого, как правило, исследовалось только непосредственное (линейное) влияние факторов на критерий оптимизации. Поэтому на практике в число отсеянных попадали факторы, имеющие влияние на процесс за счет эффекта взаимодействия. Правильный учет таких факторов целиком зависел от опыта исследователя, от его способности уже в ходе предварительного эксперимента анализировать совместное влияние факторов, т.е. до настоящего времени данный этап исследований не был формализован в той степени, которая позволила бы исключить ошибки.
- Традиционный подход предполагает наличие предварительного эксперимента, избежать которого можно только в том случае, если объект исследования достаточно изучен и имеется подробная информация об основных факторах и интервалах их варьирования. Поэтому проведение эксперимента в два этапа (предварительный и основной) является необходимым, но приводит к увеличению трудоемкости.
- Выбор методики основного эксперимента накладывает жесткие ограничения на общий вид получаемой модели и сужает варианты обработки и интерпретации экспериментальных данных, т.е. еще до проведения эксперимента исследователь должен предполагать, как в общем виде выглядит искомая модель. А это (ввиду недостаточной информации, полученной на предварительном этапе) может привести к выбору неоптимального плана эксперимента.
- Использование стандартных планов подразумевает наличие таких входных факторов, которые могут быть жестко зафиксированы на определенных уровнях, что не всегда является возможным или удобным.
- В большинстве случаев эксперимент, направленный на получение оптимальных характеристик тех или иных технологических параметров, является активным, что, как правило, требует вмешательства в ход технологического процесса и сопряжено со значительными издержками производства.

Анализ данных вопросов свидетельствует о том, что для получения результатов оптимизации традиционная схема эксперимента не всегда является оптимальной. Кроме того, непрерывное усложнение технологических процессов, их нестационарность и наличие дрейфа основных параметров не позволяют достигать требуемой точности обычными методами.

В последние годы в связи с бурным развитием вычислительной техники и соответствующего математического аппарата на первый план выдвигаются методы многомерного статистического анализа. Изучение успешных примеров их применения в различных областях естествознания (в первую очередь, в биологии, медицине, социологических науках [1, стр.498] и т.д.) свидетельствует в пользу того, что эти ме-

тоды могут с большой пользой быть использованы и в решении задач оптимизации (в том числе и для процессов текстильной промышленности).

Среди методов многомерного статистического анализа, прежде всего, необходимо отметить факторный анализ, а также дискриминантный и кластерный анализы. Эти методы являются мощным средством при исследовании объектов с большим числом признаков (факторов), особенно когда заранее неизвестна теснота взаимодействий между этими признаками. Они позволяют избежать детального трудоемкого анализа объекта исследования, а сам эксперимент, как правило, сводится к регистрации многомерных данных наблюдения, что исключает активный производственный эксперимент и значительно снижает издержки. Кроме того, применение таких методов исключает возникновение вышеописанных проблем, присущих традиционному подходу к оптимизации.

Наиболее ценным достоинством этих методов является повышение точности и снижение трудоемкости эксперимента, что будет рассмотрено на примере оптимизации процесса пневматического прядения, который достаточно глубоко изучен в лаборатории кафедры «Переработка натуральных и химических волокон» УО «ВГТУ». Данный процесс [2, стр. 91] характеризуется большим количеством входных факторов (геометрических параметров устройства и технологических параметров выработки пряжи): диаметр радиальных каналов (X1), внутренний диаметр иглы (X2), диаметр тангенциальных каналов (X3), давление в камере ложного кручения (X4), длина камеры ложного кручения (X5), диаметр камеры ложного кручения (X6), глубина входа иглы (X7), расстояние до оси радиальных каналов (X8), расстояние до основания диффузора (X9), диаметр камеры пневмоперепутывания (X10). По результатам предварительного эксперимента входные факторы были проранжированы по степени влияния на выходной параметр и разделены на 4 группы [2, стр.113], в каждой из которых проводился отдельный основной эксперимент. Всего на предварительном и основном этапе было проведено 248 опытов, по результатам которых были разработаны 4 регрессионные математические модели.

$$Y = 790 - 8 X_{10} - 22 X_1 - 11 X_{10} X_1 - 42 X_{10}^2 - 80 X_1^2$$

$$Y = 814 - 21 X_8 - 9 X_9 - 11 X_8 X_9 - 88 X_8^2 - 40 X_9^2$$

$$Y = 792 - 7 X_3 + 43 X_6 + X_2 + 13 X_3 X_2 + 7 X_6 X_2 - 40 X_3^2 - 63 X_6^2 + 54 X_2^2$$

$$Y = 772 - 11 X_7 - 21 X_4 + 7 X_7 X_4 - 14 X_7^2 - 4 X_5^2 - 9 X_4^2$$

Каждая из этих моделей обеспечивает точность в размере 80-85% дисперсии выходного параметра. В результате раздельного анализа данных моделей были рассчитаны оптимальные значения всех участвовавших в эксперименте параметров.

Исходные данные вышеописанного эксперимента было решено подвергнуть факторному анализу. Вообще, факторный анализ позволяет преобразовать некоторый набор коррелированных факторов в значительно меньшее число уже некоррелированных (агрегированных) факторов, являющихся линейной комбинацией первоначальных факторов. Целесообразность привлечения факторного анализа в каждом конкретном случае определяется, в первую очередь, возможностью придания полученным агрегированным факторам обоснованной трактовки [3, стр.224].

Факторный анализ был проведен по методу главных компонент с помощью программного пакета «STATISTICA 4.3». Использование критерия «Varimax», с помощью которого осуществляется вращение осей главных компонент в факторном пространстве до нахождения оптимального решения, позволило наилучшим образом провести группировку факторов и получить единую нормированную модель исследуемого процесса:

$$Y_{\text{норм}} = 0,6438 f_1 + 0,4857 f_2 + 0,3915 f_3, \text{ где}$$

f_1 - первый главный фактор (39% от общей дисперсии), линейно связанный с факторами X_{10} , X_1 , X_8 и X_9 , который следует определить как фактор пневмоперепутывающей камеры;

f_2 - второй главный фактор (29% от общей дисперсии), линейно связанный с факторами X_3 , X_4 , X_5 и X_6 , который следует определить как фактор параметров камеры ложного кручения;

f_3 - третий главный фактор (23% от общей дисперсии), линейно связанный с факторами X_2 и X_7 , который следует определить как фактор иглы.

Данная группировка принципиально отличается от той, которая была принята по традиционному варианту эксперимента и, что самое важное, она абсолютно не зависит от желания исследователя, т.е. вероятность ошибки на данном этапе эксперимента исключается. Кроме того, такая группировка факторов позволяет комплексно взглянуть на процесс формирования пряжи в пневматическом устройстве, а нормированная модель наглядно демонстрирует величину вклада каждого узла пневматической форсунки.

Данная модель обеспечивает 93% дисперсии выходного параметра эксперимента, что свидетельствует в пользу ее более высокой точности по сравнению с моделями, полученными традиционным путем. Используя матрицу нормированных значений можно рассчитать оптимальные значения всех параметров процесса пневматического прядения. Необходимо отметить, что практически все они отличались от рассчитанных по традиционному эксперименту на 3-7%. Следовательно, можно говорить о соответствующем повышении точности в результате применения факторного анализа (в данном случае).

Кроме того, использованное в традиционном эксперименте количество опытов (248) является избыточным для факторного анализа. Повторные расчеты показали, что требуемая точность (не менее 90% дисперсии выходного параметра) обеспечивается и по результатам выборки из 100 опытов, т.е. трудоемкость данного эксперимента может быть снижена в 2,5 раза без потери точности, что является весомым плюсом.

К минусам факторного анализа можно отнести сложность расчета оптимальных значений параметров технологического процесса, что требует определенной квалификации персонала и необходимой производительности вычислительной техники.

Кроме вышеописанного, был проведен целый ряд аналогичных экспериментов, по результатам которых можно сделать следующий вывод: методы многомерного статистического анализа могут быть с успехом использованы для решения задач оптимизации механико-технологических процессов текстильной промышленности.

Литература

1. Боровиков В.П., Боровиков И.П. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. - М., ИИД «Филинь», 1997. - 608 с.
2. Литовский С.М. Разработка и исследование технологии производства комбинированной пряжи пневматическим способом: Дис. ... канд.техн.наук: 05.19.03 – Технология текстильных материалов /Науч.рук. А.Г.Коган; ВТИЛП. - Витебск, 1993. - 225с. + Прил.
3. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 2: Пер. с англ. Под ред. Э. Ллойда, У.Ледермана, С.А. Айвазяна, Ю.Н. Тюрина. М., «Финансы и статистика», 1990. - 526 с.: ил.
4. Электронная версия справочного пособия «STATISTICA for Windows», США, StatSoft Inc., 1993.