

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

А. А. Науменко
И. С. Карпушенко

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ
НИТЕЙ**
МОНОГРАФИЯ

Витебск
2020

УДК 677.017.2/7
ББК 37.230
Н 34

Рецензенты:

профессор кафедры товароведения непродовольственных товаров УО «Белорусский государственный экономический университет», доктор технических наук Садовский В. В.;

профессор кафедры товароведения УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации», доктор технических наук Сыцко В. Е.

Рекомендовано к изданию Советом УО «ВГТУ»,
протокол № 4 от 27.12.2019.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 10 от 30.12.2019.

Науменко, А. А.

Н 34 Технологическая надежность нитей : монография / **А. А. Науменко**,
И. С. Карпушенко. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 166 с.
ISBN 978-985-481-634-0

В монографии рассмотрены вопросы, связанных с технологической надежностью текстильной нити и ее оценкой в условиях производства, представлены возможности разработанной информационно-аналитической системы для оценки качества технологической надежности нитей в условиях трикотажного производства

Издание предназначено для специалистов предприятий текстильной промышленности и студентов, изучающих материаловедение, технологию текстильного производства, производственный менеджмент.

УДК 677.017.2/7
ББК 37.230

ISBN 978-985-481-634-0

© УО «ВГТУ», 2020

**НАУМЕНКО АЛЕКСАНДР
АЛЕКСАНДРОВИЧ**

доцент, кандидат технических наук

05.07.1947–20.03.2019 гг.

В период работы над монографией ушел из жизни ее автор, авторитетный ученый и талантливый преподаватель –

*Науменко
Александр
Александрович ...*

Практически вся его профессиональная деятельность была тесно связана с нашим университетом. В **1966** году Науменко А. А. поступил в Витебский технологический университет легкой промышленности (ВТИЛП), в **1971** году окончил его обучение, получив квалификацию «инженер-технолог» по специальности «Трикотажное производство».

После окончания ВТИЛП по распределению работал ассистентом кафедры «Трикотажное производство», а с **1972** призван на службу в ряды Советской Армии. В **1974** году Александр Александрович поступил в аспирантуру Московского текстильного института, которую успешно окончил и в 1979 году защитил диссертационную работу «Разработка способа оперативного регулирования глубины кулирования на круглочулочных автоматах с целью снижения неоднородности капроновых чулок» (науч. руководитель – проф., д.т.н. Севостьянов А. Г.).



Памяти автора ...

Время обучения в аспирантуре сам Александр Александрович вспоминал и ценил как уникальную научно-педагогическую школу, которая сформировала его научные интересы и позволила раскрыть талант преподавателя.

С **1982** по **1989** год Наumenко А. А. – заведующий кафедрой «Текстильное материаловедение», а с **1997** по **2002** год – заведующий кафедрой «Товароведение» (позднее – «Стандартизация»).

За время работы в университете он опубликовал более 150 научных работ, в том числе монографию «Устойчивость технологических систем в трикотажном производстве». Являлся руководителем диссертационных работ, состоял членом Советов по защите диссертаций в УО «БГЭУ ПК» (г. Гомель) и УО «БГЭУ» (г. Минск), выступал в качестве оппонента на защитах кандидатских диссертаций в УО «ВГТУ» и других вузах, руководил научно-исследовательскими работами различного уровня: отраслевых, хоздоговорных и госбюджетных.

Как ученый Александр Александрович отличался глубокими фундаментальными знаниями, открытостью к познанию нового, взвешенностью суждений, мастерством аргументации и нестандартностью мышления. Он умел за очевидным рассмотреть уникальное, соединить знания из различных областей науки, всегда получал эстетическое удовольствие как от результатов, так и от самого процесса научного творчества. Его мнение ученого высоко ценили как коллеги, так и специалисты-практики. Результаты научно-исследовательских работ Наumenко А. А. внедрены на ОАО «КИМ», ОАО «Витебские ковры», ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» и др.

Александр Александрович участвовал в многолетних совместных исследованиях со специалистами УО «ВГМУ» в области математического моделирования процессов в сердечно-сосудистой системе человека, по результатам которых в соавторстве с проф., д.м.н. Родионовым Ю. Я., проф., д.м.н. Лоллини В. А. и др. опубликовано более 20 работ.

По учебной работе Наumenко А. А. разработал и вел преподавание по 15 различным дисциплинам. В разные годы им написаны и изданы более 30 методических разработок. Он участвовал в разработке образовательных стандартов, рецензировании учебников и учебных пособий.

Студенты запомнят Александра Александровича как преподавателя высочайшего уровня, которого отличали острый ум, особая культура речи, образность примеров, умение просто объяснить сложное.

Наumenко Александр Александрович останется в памяти многих людей примером интеллигентного, умного, талантливого человека с удивительной внутренней свободой, которая позволила успешно реализоваться в различных направлениях его деятельности.

Памяти автора ...

Одним из увлечений Александра Александровича была поэзия: он не только ценил стихотворные произведения, но и написал несколько поэтических сборников.

Раньше у нас было время,
Теперь у нас есть дела,
И это извечное бремя
Может душу известь до тла.

Влекомые призрачным раем,
(Чего невозможно понять),
Мы только, когда теряем,
Способны разуму внять.

Короткая жизнь недаром
Нам всем, как аванс, дана,
Чтобы не сделать кошмаром
Ту жизнь, что нам всем суждена.

И чтобы к последнему дню
Прийти в душевном покое,
Все главное я сохраню,
Остальное пусть время смое ... (2015 г.)

Остались незавершенными многие планы, но данная монография усилиями соавтора и коллег завершена и издана, что позволит донести некоторые идеи ученого и результаты их реализации до заинтересованного круга читателей.

*Коллектив кафедры «Техническое регулирование
и товароведение»*

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	8
Краткий исторический обзор	13
Глава 1. Качество нитей и их технологическая примени- мость	18
1.1 Оценка качества текстильных нитей в трикотажном производстве. Содержание понятия «качество» текстильной нити	18
1.2 Технологические аспекты оценки качества нитей	20
1.3 Характеристика системы показателей, используе- мых для оценки качества нитей в трикотажном произ- водстве	22
Глава 2. Технологическая надежность как обобщенная мера способности нитей к производственной переработке	32
2.1 Содержание понятия «технологическая надежность нити»	32
2.2 Критерии технологической надежности нитей	34
2.2.1 Единичные критерии технологической надежности нити	35
2.2.2 Комплексный критерий технологической надежности нитей	43
2.3 Технологическая надежность нитей и устойчивость производственного процесса	49
2.3.1 Статистический подход к описанию производственных процессов	55
2.3.2 Анализ технологической надежности нитей с ис- пользованием эстиматоров функций распределения	58
Глава 3. Определение показателей технологической надежности нитей	70
3.1 Методы и средства определения показателей, используемых для оценки технологической надежности нитей	73
3.2 Автоматизация испытательного цикла маятниковых разрывных машин	76
Глава 4. Информационно-аналитическая система для оцен- ки технологической надежности нитей	86
4.1 Информационно-аналитические системы и задачи, решаемые при их применении	86

4.2	Общая характеристика компьютерных систем, применяемых для оценки качества текстильных материалов	91
4.3	Структура информационно-аналитической системы для трикотажного производства и определяющие ее факторы	97
4.4	Организация базы данных и способы ее информационного наполнения	111
4.5	Особенности обработки данных в информационно-аналитических системах	116
Глава 5. Методы решения задач, связанных с оценкой технологической надежности нитей, с помощью информационно-аналитической системы		119
5.1	Формирование группы показателей для оценки технологической надежности нитей	119
5.2	Оценка весомости факторов, определяющих технологическую надежность нитей	123
5.3	Сравнительная оценка технологической надежности нитей	125
5.4	Прогнозирование технологической надежности нитей	130
5.5	Выбор оптимального маршрута переработки нитей	139
Заключение		141
Список использованных источников		144
Приложения		152

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основополагающим в управлении качеством продукции является тезис – «не исправление брака, а создание условий, исключающих брак» [1, 2]. Менеджмент качества в производственной сфере реализует концепции управления процессами для достижения оптимальных параметров качества продукции, точное и оперативное планирование уровня качества продукции на начальной стадии технологического цикла [3].

Объектом исследований, описанных в монографии, является текстильная нить, которая является базовым сырьем для предприятий текстильной отрасли. Предметом исследований являются свойства текстильной нити, характеризующие ее способность к переработке в условиях конкретного производства. Основные разработки авторов, производственная база для их апробации определили область исследований – трикотажное производство.

Изучение проблематики, освещенной в монографии, начато доц., к.т.н. Науменко А. А. несколько десятков лет назад. В процессе взаимодействия и сотрудничества с производством ставились новые задачи, и теоретические концепции получали практическую реализацию в виде конкретных разработок, преимущественно в трикотажном производстве.

Важнейшим этапом управления производственными процессами, планированием и обеспечением качества продукции является входной контроль качества сырья, т. е. качества текстильных нитей в условиях трикотажного производства. Его результаты во многом определяют возможность переработки нити, условия протекания производственного процесса, ассортимент и качество готовой продукции, поэтому разработка подходов к достоверной, обоснованной и оперативной оценке характеристик текстильной нити на стадии входного контроля является актуальной задачей.

Информация о качестве исходного сырья позволяет:

- повышать технологическую надежность процесса вязания за счет сокращения обрывности нитей и отходов;
- совершенствовать систему рационального использования сырья;
- стимулировать экономию сырьевых ресурсов.

В настоящее время в текстильной промышленности в целом и трикотажном производстве, в частности, контроль качества сырья в лаборатории входного контроля сводится к оценке соответствия фактических значений показателей качества требованиям, регламентированным техническими нормативными правовыми актами (ТНПА). Вместе с тем реализация комплексного подхода к оценке качества нитей с позиции их технологической применимости существенно повысила бы значимость такой оценки.

Одной из задач, имеющих большое значение для практики, является отыскание эффективных методов оценки способности нити к переработке на трикотажном оборудовании в реальных производственных условиях. Нити и пряжа, поступающие на предприятие, всегда характеризуются разнообразием конкретных свойств, показатели которых способны изменяться в процессах переработки под воздействием, например, температуры, влажности, параметров технологического режима вязания и др. Это приводит к тому, что факторы, обуславливающие возможность использования нити на том или ином виде вязальных машин или круглочулочных автоматов, обладают непостоянством действия. Именно это делает актуальной задачу поиска той группы показателей качества нити, которая определяет способность ее к переработке в конкретном технологическом режиме. Решение такой задачи придает большую обоснованность требованиям, предъявляемым к нитям, и повышает «информационный вес» лабораторий входного контроля в производственном процессе.

Комплекс свойств, определяющих поведение нитей при переработке и применении, достаточно широк. Он включает механические, физические, геометрические и другие свойства, а также характеристики изменений этих свойств под влиянием различных внешних факторов. В этом комплексе наибольшее значение имеют механические свойства. Следовательно, способность нити к вязанию обусловлена в первую очередь ими.

Условия переработки нитей на трикотажных машинах в большинстве случаев значительно отклоняются от стандартных условий, в которых оцениваются показатели их качества в лабораториях входного контроля.

Поэтому для правильного анализа и прогнозирования поведения нитей в технологических процессах переработки необходим выбор соответствующей группы показателей их качества. Вместе с тем практика показывает, что возможность переработки нитей существенно зависит не только от их свойств, но и от параметров режима вязания.

Это позволяет предположить, что существуют определенные соотношения между показателями свойств нитей и характеристиками режима, при которых нить оказывается пригодной к вязанию.

Диапазон нитей, применяемых в трикотажном производстве, достаточно широк. В не меньшей мере широк и парк оборудования, на котором эти нити можно переработать. А это значит, что в трикотажном производстве, как быть может ни в каком другом, существуют реальные условия для технологического маневра, имеющего своей целью повышение эффективности использования имеющегося сырья.

Особенностью трикотажного производства является то, что одни и те же нити могут применяться на разных видах оборудования, режимы работы которых резко отличаются один от другого. Например, в

производстве изделий чулочно-носочного ассортимента применяются круглочулочные автоматы с частотой вращения игольного цилиндра от 260 до 1000 и более об/мин. Совершенно очевидно, – и практика это подтверждает, – что текстильные нити не могут проявлять одинаковую способность к переработке в столь неодинаковых условиях.

Однако указать наиболее выгодный режим для конкретной текстильной нити не представляется возможным, так как не известны зависимости между свойствами конкретных нитей и их способностью к вязанию в реальных условиях.

Важно заметить, что такие зависимости и не могут быть неизменными с качественной и количественной сторон. Конкретный их вид определяется конкретным сырьем, перерабатываемым в конкретных режимах. Следовательно, задачей входного контроля является оперативное получение значений, прежде всего, той группы показателей физико-механических свойств, которые определяют способность нитей к вязанию, а также указывают на характеристики такого режима вязания, в котором применение этих нитей наиболее эффективно. Это дает возможность более широкого подхода к выбору информативных показателей качества сырья на стадии входного контроля.

В связи со всем сказанным направление, выбранное в данной работе, характеризуется привлечением показателей технологической надежности нитей, определяемых не с традиционных вероятностных позиций, а через значения показателей физико-механических свойств и параметров технологического процесса. Это позволяет обострить видение технологической ситуации, связанной с их переработкой, создавая тем самым условия для управления ею.

Совершенно очевидно, что первейшим условием управления надежностью является прогнозирование, так как именно оно создает предпосылки для изменения в желаемую сторону будущей ситуации посредством принятия управленческого решения в ситуации текущей, в ситуации «здесь и сейчас».

Однако решение задачи прогнозирования наталкивается на многие препятствия. Они обусловлены необходимостью одновременного учета многих факторов, характер влияния которых на протекание технологического процесса или состояние объекта известен, как правило, приближенно, нередко лишь на качественном уровне. Практически всегда численные значения параметров, формы зависимостей между ними известны плохо. Сплошь и рядом ситуация осложняется тем, что они существенно меняются во времени. Поэтому количественный анализ технологической информации в условиях реального производства всегда требовал и требует применения гибких алгоритмов.

В данной работе использована концепция адаптационного моделирования, наибольший успех которой связан с решением задач краткосрочного прогнозирования [4].

Использование адаптивных моделей для прогнозирования показателей, определяющих технологическую надежность нитей, дает возможность, как показывает опыт, достаточно уверенно ориентироваться в непрерывно меняющейся, информационно «подвижной» производственной ситуации, а значит видеть и осмысленно распоряжаться теми потенциальными возможностями, которые она всегда в себе таит.

Анализ свойств текстильных нитей в проведенной работе связан с попыткой построения критериев технологической надежности нитей, а также алгоритмов поиска такой группы показателей, которые, определяя надежность, в то же время придавали бы выразительность различиям между нитями.

Технические вопросы при этом связаны, с одной стороны, с модернизацией существующих и разработкой новых измерительных средств с целью получения необходимых данных для оценки показателей технологической надёжности нити, а с другой – с созданием компьютерных систем, способных хранить с малым временем доступа и обрабатывать данные в ходе решения задач управления производственными процессами в трикотажном производстве.

В работе реализовано несколько идей:

- способность нити к переработке рассматривается как ее технологическая надежность, которая оценивается не первичными, имеющими размерность факторами, а безразмерными комплексами, специальным образом составленными из этих факторов и носящими критериальный характер;

- независимых показателей, характеризующих технологическую надежность нити, не может быть много, так как в противном случае модуль векторной суммы скоростей их изменения теряет чувствительность к изменениям его компонентов;

- в производственной среде всегда действуют детерминированные, случайные и неопределенные факторы, что делает ее информационно подвижной, непрерывно меняющейся, а в зависимости от соотносительного уровня их влияния технологический процесс может протекать как устойчивый, теряющий устойчивость, и неустойчивый, а нить, как элемент этого процесса, проявлять разный уровень технологической надежности;

- повышение точности прогнозов технологической надежности нити возможно при отказе от представлений о постоянстве состава группы определяющих факторов, а также вида уравнения прогнозирования;

- с помощью измерительных и информационно-аналитических систем лаборатории входного контроля предприятий могут быть превращены в основной источник информации, необходимой для рационального распределения поступающего сырья по возможным техноло-

гическим маршрутам в пределах предприятия с условием обеспечения наибольшей технологической его надежности.

В работе предпринята попытка показать, что развитие этих идей приводит, с одной стороны, к новым приемам и методам оценки способности нитей к вязанию, с другой – к пониманию того, до какого уровня и как повысить плотность информационного потока, необходимого для управления ею в технологическом процессе, постоянно подвергающемуся действию внутренних и внешних возмущений. Несмотря на длительный период времени от идеи, ее теоретического обоснования до апробации в условиях производства, и сегодня положения, формулируемые в монографии, актуальны и практико-ориентированы.

Витебский государственный технологический университет

Краткий исторический обзор

Гибкая нить как объект со специфическими свойствами издавна привлекала внимание исследователей. Одной из первых, имеющих несомненное практическое значение, была задача по определению кривой провисания тяжелой гибкой нити. Еще Галилей считал, что форма свободно провисающей нити – параболическая. Решение этой задачи оказалось возможным лишь в самом конце XVII века в связи с появлением дифференциального исчисления.

В 1690 году И. Бернулли сформулировал задачу нахождения формы цепи, подвешенной в двух точках. Она была решена одновременно Лейбницем, Гюйгенсом и И. Бернулли в 1691 году, что ознаменовало собой появление статики гибкой нити как раздела механики. Примерно в это же время по мере развития самой математики начали ставиться задачи, связанные со стационарным движением гибкой нити.

В 1775 году Л. Эйлер выводит свою знаменитую формулу (впоследствии получившую его имя), устанавливающую зависимость между натяжением ветвей нити, огибающей цилиндрическую поверхность с трением. В 1842 году Штурм Ж., а затем Клебш А. – в 1860-м, Томпсон В. – в 1867-м и Раус Е. – в 1884-м годах поставили и получили решения ряда практических задач, связанных с движением нерастяжимых гибких нитей. В 1880 году Шелль В. ввел задачу о равновесии растяжимой гибкой нити, а Аппель П. дал ее решение в наиболее законченном виде [5].

В течение этого же исторического периода возникло и начало быстро развиваться машинное производство трикотажа. Первая трикотажная машина была изобретена Вильямом Ли в 1589 году. С этого момента история трикотажного производства уже не прерывалась. Оно совершенствовалось, стремительно вытесняя ручное. Вряд ли может вызывать сомнение, что вопрос о пригодности нити к машинному вязанию возник одновременно с появлением трикотажных машин.

В отличие от ручного вязания на машинах нить испытывает гораздо большие напряжения. Особые требования предъявляются к ровноте, засоренности пороками, жесткости на изгиб, фрикционным ее свойствам.

Давно известны и повсеместно применяются и сейчас такие простые и действенные способы улучшения способности нитей к вязанию, как парафинирование и замасливание.

В 1849 году появляется язычковая игла, которая позволила значительно повысить скорость вязания. К этому моменту уже существовал ряд теоретических положений будущей механики нити, которые позволяли понять действие различных факторов на процесс петлеобразования.

В 1870 году получен искусственный шелк, и к началу 20-го века основы современного трикотажного производства были заложены.

Установилось четкое различие между пряжей и нитями для ткацкого и трикотажного производства. Надо отметить, что трикотажное производство быстро развивалось лишь за рубежом.

В России первые трикотажные фабрики появились только в самом конце XIX и, главным образом, в начале XX века. В 20-х годах XX века механика гибкой нити продвигалась вперед усилиями Минакова А. П. – профессора Московского текстильного института, первая работа которого по механике гибкой нити была опубликована в 1927 году [6].

Примерно в этот же период в области трикотажного производства начали работать Мильченко И. С. [7–9], Пинхасович В. Г. [10] и другие, развивавшие научный подход к переработке нитей на трикотажных машинах. Именно к началу 30-х годов XX века следует отнести и постановку задачи о переработке нитей на трикотажных машинах различных типов, так как в этот период началось активное изучение факторов, определяющих способность нити к вязанию: натяжения [10, 11], жесткости на изгиб [12], трения [13].

В послевоенный период в работах Далидовича А. С. [14], Минакова А. П. [15], а позднее его учеников – Якубовского Ю. В., Петрова А. С. и Кармишина А. В., механика нити была доведена к концу 60-х годов XX века до законченных очертаний и как полноценный раздел теоретической механики, стала в дальнейшем научной основой изучения процессов переработки нитей и в трикотажном производстве.

Как таковая задача об оценке способности нити к переработке на трикотажных машинах была впервые поставлена в работах профессора МГТУ Щербакова В. П. [16]. Он ввел понятие «вязальная способность» нити, а также использовал термин «работоспособность нити», непосредственно связанный с теорией и практикой оценивания надежности объектов и процессов и представленный в соответствующих ГНПА. В его трудах заложены научные основы переработки нитей на трикотажных машинах, открыты теоретические направления определения способности нитей к вязанию и ее прогнозирования [17].

Им введена так называемая функция повреждаемости нити при переработке на трикотажных машинах, которая рассматривалась как критерий получения ответа на вопрос – будет ли нить работоспособной в рассматриваемых условиях. При оценке пригодности нити к вязанию проф. Щербаков В. П. использовал как один из критериев отношение натяжения нити в зоне вязания к ее разрывной нагрузке. Им показано, что натяжение реальной нити в процессе петлеобразования зависит от длительности цикла петлеобразования, а такая зависимость объяснялась им релаксационными свойствами нити.

В то же время им отмечено, что на высокоскоростных круглошпульных автоматах деформирование нити в зоне вязания из-за его скорости идет практически без релаксации напряжения. В целом введение функции повреждаемости явилось эффективной попыткой аналити-

ческим путем решить проблемы, связанные с определением возможности переработки нитей на вязальных машинах, опираясь на систему априорных показателей.

Он доказал, что в рамках детерминистического, а порой и чисто аналитического описания процессов трикотажного производства, можно далеко продвинуться в понимании их скрытых механизмов. Дальнейшие публикации проф. Щербакова В. П. свидетельствуют о продолжении им изысканий в этом актуальном направлении [18].

Обширные исследования процесса переработки нитей в трикотажном производстве проведены проф. Цитовичем И. Г. Его монографии [19, 20] следует рассматривать как большой вклад в решение практических задач в этой области. Им показано, что обрывность нити, как одна из характеристик технологической надежности процесса вязания трикотажа, зависит не только от показателей ее качества, но и должна рассматриваться как следствие нарушений процесса петлеобразования, особенностей взаимодействия нити с петлеобразующими деталями, факторами внешней среды. Им введены критерии разрушения и обрывности нити при вязании.

Обрыв нити является следствием возникновения критического напряженного состояния и сопровождается полным ее разрушением. Оценка частичного разрушения и обрыва нити приводит к рассмотрению надежности процесса вязания и определению количественных ее оценок.

Надежность процессов, как и изделий, оценивается на основании опытных данных статистики отказов, которые позволяют судить о законах распределения времени безотказной работы (или, как иногда называют, о законах безотказности). При этом статистическая надежность измеряется одной из следующих величин: вероятностью безотказной работы $P(t)$, частотой отказов (плотностью вероятности) $f(t)$, интенсивностью отказов $\lambda(t)$, долговечностью T_{cp} , которые математически связаны между собой [20].

Применение в качестве характеристик обрывности показателей надежности λ , T и $P(t)$ может быть вполне эффективным при сравнительной оценке различных технологических процессов, различающихся способом вязания, типом оборудования, используемым для вязания сырья [20].

В 1985 году появляется статья проф. Матукониса А. В. [21], в которой перечисляются конкретные факторы, определяющие способность нитей к вязанию на машинах различных типов [21].

При этом, однако, указываются лишь факторы, связанные с физико-механическими свойствами нитей. Особенность этой небольшой работы состоит в том, что в ней наряду с другими аналогичными по содержанию впервые появляется термин «технологическая надежность нити». Впрочем, это остается практически незамеченным, и позже в

своей работе [20] Цитович И. Г. по-прежнему пользуется принятой им терминологией.

Большой интерес вызывает работа проф. Перепелкина К. Е. по оценке качества нити с точки зрения ее технологической переработки, хотя она прямо и не связана с производством трикотажа [22].

В ней предложены простые критерии работоспособности нитей в технологическом процессе, выражающиеся через применяющиеся на практике единичные показатели качества текстильных нитей, и показано, что технологическая работоспособность нитей может с полным правом рассматриваться как один из основных факторов стабильности производственного процесса.

Из последних работ в заявленной области исследований особый интерес представляют работы, посвященные разработке метода оценки критерия технологичности текстильной нити в процессе ткачества. В частности, в работе [23] в основе предложенного метода находится понятие критерия технологичности нити.

Авторами получено математическое выражение, описывающее технологическую способность нити к переработке. Критерий технологичности нити τ является безразмерной величиной и по своему физическому смыслу с возрастанием технологического потенциала, то есть τ , условия выработки ткани улучшаются, нити на станке в этом случае имеют высокий запас прочности. Утверждается, что для каждого вида нитей и вида ткацких переплетений должно существовать свое критическое значение критерия τ , ниже которого процесс переработки нити основы на ткацком станке.

Функциональная модель, построенная с применением методов теории подобия, устанавливает зависимость критерия технологичности нити τ от натяжения нити основы за период образования раппорта ткани по утку, частоты вращения главного вала ткацкого станка, разрывной нагрузки нити основы, линейной плотности нитей основы, плотности ткани по основе, раппорта ткани по основе и по утку, числа основных и уточных перекрытий в раппорте по основе и по утку.

Оценке технологичности нитей при выработке тканей различных переплетений посвящена работа [24], в которой автором разработан метод оценки технологичности нитей при выработке тканей различных переплетений на основе теории подобия и анализа размерностей с учетом разрывной нагрузки и выносливости пряжи к многократному растяжению.

Под «технологичностью» нитей предлагается понимать их способность перерабатываться на ткацком станке с минимальной обрывностью. Кроме того, автором установлена математическая модель коэффициента технологического потенциала текстильной нити, определяемого их многоцикловыми характеристиками.

Таким образом, исследования, связанные с поиском критериев применимости нитей к технологической переработке, ведутся сейчас по нескольким направлениям. И все же то, что сделано в отношении количественной оценки способности нити к переработке на трикотажных машинах, еще не обрело необходимой степени завершенности и достаточного уровня применимости в условиях реального производства, отличающегося большой вариативностью параметров, вызванной действием случайных и неопределенных факторов. Но проведенный краткий исторический обзор показывает, что уже достаточно велик период времени, в течение которого решается эта задача, являющаяся неизмеримо более сложной, чем любая из решенных задач, связанных с технологическим использованием нитей.

ГЛАВА 1

КАЧЕСТВО НИТЕЙ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРИМЕНИМОСТЬ

1.1 Оценка качества текстильных нитей в трикотажном производстве. Содержание понятия «качество» текстильной нити

Технологическую схему трикотажного производства, как и любого другого, составляет последовательность этапов, содержание которых определяется ассортиментом производимой продукции, технико-экономическими возможностями предприятия и его инфраструктурой. Безусловно, главным этапом в технологическом цикле трикотажного производства является непосредственная переработка сырья в изделия, но предшествующая ему оценка качества сырья создает информационное поле, в котором принимается решение о возможности переработки сырья в то или иное изделие на имеющемся в распоряжении предприятия оборудовании с наименьшими затратами [25]. Таким образом, технология трикотажного производства не сводится лишь к материальной составляющей. Большое значение имеет информационное обеспечение, позволяющее наиболее эффективно достичь конечной производственной цели – выпуска качественной продукции.

Более того, рациональное использование сырьевых материалов в условиях трикотажного производства создает резерв экономии материальных ресурсов, что является одной из приоритетных задач для современных предприятий. Из [20, 26] известно, что примерно 60–80 % дефектов трикотажа вызвано свойствами и пороками сырья, 15–20 % – неполадками оборудования и 10–15 % обусловлены недостатками в технологии. Это свидетельствует о том, что вопросам оценки качества сырьевых материалов должно уделяться самое пристальное внимание.

Для определения места процедуры оценки качества сырья в общей схеме трикотажного производства, информационных результатов этой оценки и ее взаимосвязи с другими процессами использовались принципы методологии IDEF0 [27]. Она применяется для создания функциональных моделей (описаний) сложных систем и процессов при разработке, внедрении и улучшении результативности систем менеджмента качества, основанных на «процессном подходе» [28].

Одним из принципов методологии IDEF0 является принцип декомпозиции, согласно которому сложный процесс разбивается на составляющие его процессы. Очевидно, что относительно трикотажного производства основным производственным процессом является процесс «Производить трикотажные изделия». По отношению к нему применя-

ется принцип декомпозиции, т. е. деления, результаты которого представлены в приложении А. Используя графический язык описания процессов, рекомендуемый методологией IDEF0, построены функциональные модели, в том числе процессов жизненного цикла продукции, которые включают процесс оценки качества сырья.

Декомпозиция процесса «Реализовать процессы жизненного цикла» (приложение А) не только указывает и определяет место оценки качества сырья в производственно-технологическом цикле трикотажного производства, но и позволяет оценить роль информации. Она является результатом реализации практически всех блоков функциональных моделей, а информация, полученная в результате оценки качества сырья, является основной (базовой) для принятия решения о переработке сырья в изделия. То есть эффективная реализация технологического цикла производства трикотажных изделий зависит не только от материальной, но и от информационной составляющей.

Оценка качества в общем смысле и на уровне определения стандартов серии ISO – это систематическая проверка того, насколько объект способен выполнять установленные требования [28]. В условиях трикотажного производства нить как объект оценки качества обладает рядом свойств, отражающих ее способность быть переработанной в изделия. Текстильное сырье, какими бы идеальными свойствами ни обладало, не может быть одинаково пригодным для вязания на любом типе оборудования, в любые виды изделий. Самая хорошая по свойствам пряжа не может быть признана удовлетворительной, если она не соответствует требованиям вырабатываемого изделия или не обеспечивает надежный процесс вязания на имеющемся оборудовании. Поэтому при определении требований к сырью для трикотажного производства следует руководствоваться условиями, связанными с качеством вырабатываемых изделий, техникой и организацией производства [29].

Понятие «качество» нити как любого другого объекта в общем случае определяется как соответствие ее свойств требованиям, определяющим пригодность к переработке и использованию по назначению [30]. Собственные характеристики текстильной нити определяются перечнем ее свойств (физико-механические, химические и другие), характеризующих способность удовлетворять требованиям. Независимо от природы и происхождения нить является объектом со специфическими свойствами, обусловленными ее строением и областями промышленного применения.

На практике, в частности в условиях трикотажного производства, набор стандартных показателей, контролируемых в процессе оценки, дает представление о качестве нити с учетом ее природы и свойств, приобретенных в процессе прядения (линейная плотность, разрывная нагрузка, крутка и др.) [31, 32]. Стандартная номенклатура показателей в основном характеризует геометрические и физические свойства нити,

дает общее представление о качестве. Однако на этапе входного контроля важно знать, как «поведет» себя нить в процессе переработки. Нить является полноправным «участником» технологического процесса, от ее способности быть переработанной зависит и качество технологического процесса, и качество готового изделия. Проходя полный производственный цикл, нить взаимодействует с рабочими органами различных механизмов и машин, подвергается натяжению, трению, различным деформационным нагрузкам. Следовательно, качество нити, как сырьевого материала, должно быть дополнено показателями других свойств, влияющих на процесс ее переработки на технологическом оборудовании.

Согласно [20] в совокупности свойств сырья для трикотажного производства необходимо выделять помимо общих свойств нити и свойства ее технологичности, характеризующиеся совокупностью физико-механических характеристик, отражающих способности нити противостоять действию нагрузок и перемещений, которые возникают в процессе вязания. К группе технологических обычно относят свойства, от которых зависит обрывность нитей и дефектность полотен и изделий.

Практика трикотажного производства показывает, что качество нити может характеризоваться не только показателями, определенными в лабораторных условиях, но и полученными в результате опытной переработки. Эти показатели ценны, как характеристики качества нити с технологической точки зрения.

Таким образом, понятие качества нити как объекта дальнейшей переработки не может характеризоваться набором лишь стандартных показателей. Его необходимо расширить за счет тех показателей, которые характеризовали бы способность нити к переработке на трикотажном оборудовании и возможность выработки из данного вида сырья качественной продукции. Таким образом, понятие «качество нити» приобретает технологическую окраску, что более полно характеризует нить, используемую как сырьевой материал для трикотажного производства.

1.2 Технологические аспекты оценки качества нитей

Как уже говорилось выше, понятие «качество» нити обязательно должно учитывать технологическое назначение нити как объекта дальнейшей переработки. В различных литературных источниках и на практике не существует однозначного определения термина, обозначающего такую способность. Используются термины «работоспособность», «перерабатываемость», «технологическая надежность», «вязальная способность», «технологичность», «технологическая работоспособность»,

«переработочная способность» и другие. Термины «работоспособность» и «вязальная способность» впервые введены профессором Щербаковым В.П., который изучал научные основы переработки нитей на трикотажных машинах и разрабатывал теоретические направления оценки и прогнозирования способности нитей к вязанию [17]. Автором термина «технологическая надежность» нити можно считать профессора Матукониса А.В., который впервые ввел его наряду с другими аналогичными по содержанию в своей работе [21]. В работах профессора Перепелкина К.Е. по оценке качества нити с точки зрения ее технологической переработки применяется термин «технологическая работоспособность» нити [22]. Терминологическая множественность связана, прежде всего, с тем, что пригодность к вязанию – это сложное качество нити, которое зависит от целого ряда факторов (физико-механических свойств, назначения, условий применения и т. д.).

На практике способность нити к вязанию определяется набором показателей качества нити, которые должны быть выбраны с учетом особенностей нити, режимов и условий ее использования, а также последствий отказов, например, обрывности или появления дефектов в готовых изделиях.

Показатели всех групп физико-механических свойств, определяющие качество нити, характеризуют ее как объект, поведение которого в процессах переработки не может быть однозначным. Ясно, что технологическая значимость свойств нити изменяется в зависимости от условий и режима переработки. Как показывает практика, одна и та же нить обнаруживает неодинаковую способность к переработке, например, на машинах разных типов и классов или в разных скоростных режимах. Это обстоятельство заставляет учитывать при оценке качества не только показатели свойств нити, определяемые в условиях лаборатории, но и апостериорные показатели, определяемые в процессе переработки. Поэтому есть основания утверждать, что не существует обособленного свойства, в максимальной степени отражающего способность нитей к переработке. Следовательно, по-настоящему признать можно только комплексную оценку способности нити к переработке.

На практике наиболее распространенные способы выявления пригодности нити к вязанию состоят в:

- оценке сортности нити (пряжи) путем определения в лабораторных условиях выбранных заранее показателей физико-механических свойств и сравнения их с нормативными значениями;
- опытной переработке нити, в ходе которой оценивается качество полученного продукта и характеристики процесса вязания, включая анализ негативного воздействия нити на трикотажную машину.

Из них основным является первый путь. Опытная переработка используется как дополнительный способ и чаще применяется при поступлении на предприятие новых видов нитей.

Так, набор показателей качества, по которому оценивается пригодность нитей к вязанию, делится две группы показателей: априорные, т. е. получаемые до переработки в лабораторных условиях, и апостериорные, отражающие результаты ее опытной переработки. Сочетание показателей из обеих групп информативнее и имеет большую технологическую значимость, нежели любой из двух составляющих его групп показателей, поэтому такой подход широко используется на производстве.

Априорные показатели известны из технических нормативных правовых актов (ТНПА), а апостериорные – из литературных источников [31–33] и практического опыта.

К апостериорным относятся уровень обрывности нити, уровень дефектности изделий и величина отходов, обусловленные свойствами нитей, а также качественная оценка негативного воздействия нити, по меньшей мере, на игольно-платинные изделия.

Таким образом, нить, имеющая высокий уровень способности к переработке, характеризуется низкой или даже нулевой обрывностью, не является причиной дефектов в готовых изделиях и отходов, обусловленным теми или иными свойствами самой нити, не оказывает негативного воздействия на применяемое оборудование. Такая нить является технологически пригодной и не создает проблем по ее переработке.

На каждом предприятии существует более или менее установившийся перечень показателей, по которым оценивается качество нити с учетом ее технологического значения и содержания. Такая система показателей – это результат синтеза требований ТНПА, опыта переработки и данных научных исследований. Это обстоятельство можно рассматривать как свидетельство того, что содержание понятия «качество нити» не является установившимся.

1.3 Характеристика системы показателей, используемых для оценки качества нитей в трикотажном производстве

Технологическое применение нитей в трикотажном производстве всегда связано с приложением к ним различных сил. Поэтому качество нитей должно оцениваться показателями тех свойств, которые отражают реакции нити на соответствующие силовые воздействия. Со способностью нитей к переработке в трикотажном производстве в существенной мере связан ряд их физико-механических свойств и их показателей. Выявлению и изучению этих свойств посвящен ряд работ, в частности [17, 20–22].

Свойства, имеющие технологическое значение, можно объединить в следующие группы: геометрические, прочностные, деформаци-

онные, фрикционные, релаксационные. Охарактеризуем свойства каждой группы и определяющие их показатели.

Геометрические свойства отражают форму и размеры поперечного сечения нити, а также все виды ее неровноты, например, пороки. К этой группе свойств следует отнести и компактность нити [20], характеризующую постоянство формы поперечного сечения нити при деформациях различного вида. Единичными показателями геометрических свойств являются: линейная плотность, компактность, крутка, коэффициент крутки, число пороков на 100 км.

Прочностные свойства определяют способность нитей противостоять разрушению или необратимому изменению её состояния под действием внешних нагрузок. В узком смысле слова прочность – это только способность сопротивляться разрушению. Оценка прочности, получаемая при испытании, зависит не только от вида нити, ее структуры и волокнистого состава, но и от вида напряженно-деформированного состояния (растяжение, изгиб и др.), от условий испытания – температуры, скорости нагружения. Количественные показатели прочности зависят от характера действия факторов, стремящихся разрушить нить. Существует несколько подходов к построению теории прочности полимерных материалов [34, 35]. На практике каждому подходу соответствуют свои количественные меры прочности. В частности, разрушение нити можно объяснить [34]:

- появлением наибольшего нормального напряжения;
- возникновением наибольшего относительного удлинения;
- действием наибольших касательных напряжений, то есть развитием в нити пластических деформаций;
- работой внешних сил, превышающих потенциальную энергию связей элементов нити, приходящуюся на единицу ее объема.

На практике каждому из этих факторов соответствует конкретный количественный показатель.

Деформационные свойства характеризуют развитие деформации в пробе испытываемой нити под действием приложенной силы. Эти свойства отражают реакцию нити на действие нагрузки. К этим свойствам следует отнести жесткость нити на растяжение, изгиб, кручение и т. п., составные части полной деформации, ползучесть [36].

Согласно [37] переход любой системы из неравновесного состояния в равновесное называется релаксацией. Если при этом состояние системы характеризуется изменением напряжения, то речь идет о релаксации напряжения и т. д. Одним из важнейших свойств является скорость релаксации. При быстрых и медленных темпах нарастания нагрузки деформация нити развивается неодинаковым образом, и нить соответственно будет обнаруживать разную прочность, жесткость на изгиб и др. Поэтому релаксационные свойства нитей имеют принципиальное значение, так как для них важна не только способность дефор-

мироваться, но в большей мере способность деформироваться за заданный интервал времени.

Взаимодействие нити с нитью и с петлеобразующими деталями трикотажных машин является контактным. В связи с этим фрикционное их взаимодействие оказывает большое влияние на натяжение нити в зоне петлеобразования. Согласно [20], под фрикционными свойствами можно понимать результат действия всех тех факторов, изменение которых в той или иной мере оказывает влияние на натяжение нити. В отличие от других свойств фрикционные свойства в определенной степени поддаются непосредственному управлению. Так при подготовке нитей к вязанию широко применяется парафинирование и замасливание, которые снижают фрикционное сопротивление движению нити по петлеобразующим деталям в процессе вязания.

Рассмотренные выше физико-механические свойства нити, имеющие технологическое значение, находят свое отражение в системе количественных показателей, обладающих достаточно высокой информативностью. Общая структура системы априорных показателей, которые могут быть рекомендованы для оценки качества нити в трикотажном производстве, приведена в таблице 1.1. Эти показатели можно назвать технологическими.

Как показывает таблица 1.1, число априорных показателей, используемых в трикотажном производстве, достаточно велико. Среди них содержатся и те, которые не относятся к стандартизованным, и поэтому реже используемым на практике. Например, прочность нити оценивалась по разрывной нагрузке на всем историческом периоде становления и развития текстильного и трикотажного производства.

В то же время фрикционные свойства нитей, несмотря на их очевидную технологическую значимость, определяются эпизодически лишь на тех предприятиях, где имеются соответствующие измерительные устройства и работают специалисты, понимающие роль этих свойств в процессе вязания и влияние их на качество выходного продукта.

Группа показателей, представленных в таблице 1.1, оказывается удивительно «пестрой» с позиций возможности и целесообразности активного применения их для оценки состояния технологических процессов не только трикотажного, но и всего текстильного производства. Однако в качестве основных показателей, определение которых узаконено системой соответствующих нормативных правовых актов, приняты не самые информативные, а, как правило, самые простые с точки зрения технической реализации требуемых средств измерений. Так из всех возможных видов испытаний текстильных нитей подавляющее распространение получили испытания на растяжение, являющиеся, конечно, самыми простыми. И все же именно они оказались к настоящему времени основным источником сведений о механических свойствах нитей,

существенных для технологии их применения.

Таблица 1.1 – Система априорных показателей для оценки качества нити в трикотажном производстве

Наименование группы свойств	Наименование показателя	Размерность показателя
<i>Геометрические свойства</i>	Линейная плотность	текс (г/км или мг/м)
	Компактность	безразмерная величина
	Крутка	m^{-1}
	Коэффициент крутки	безразмерная величина
	Число пороков	$км^{-2}$
	Число сложений	безразмерная величина
<i>Прочностные свойства</i>	Разрывная нагрузка	Н
	Относительная разрывная нагрузка	Н/текс
	Работа разрыва	Н·м
	Удельная работа разрыва	(Н·м)/г
<i>Релаксационные свойства</i>	Время релаксации	с
<i>Деформационные свойства</i>	Разрывное удлинение	м
	Относительное разрывное удлинение	%
	Податливость на растяжение	м/Н
	Модуль жесткости на растяжение	$Н/м^2$
	Показатель жесткости на растяжение	Н/м
	Показатель жесткости на изгиб	$Н·м^2$
	Показатель удельной жесткости на изгиб	$(Н·м^2)/текс$
<i>Фрикционные свойства</i>	Коэффициент тангенциального сопротивления	безразмерная величина
	Коэффициент трения	безразмерная величина

Проанализируем некоторые их нестандартизованных показателей таблицы 1.1, чтобы показать их технологическую значимость и те особенности переработки нитей в трикотажном производстве, которые в них отражаются.

Показатель жесткости нити на растяжение – g – имеет размерность [Н/м] (табл. 1.1). На первый взгляд, в этом основное отличие показателя g от известного из ряда литературных источников **модуля**

жесткости нити на растяжение E , размерность которого $[Н/м^2]$. Однако совпадение размерности величины E с размерностью величины механического напряжения в пробе с площадью поперечного сечения S в процессе ее растяжения позволяет получить формулу, связывающую величины E и g .

В случае приведенных ниже размерностей величин она имеет вид:

$$E = 124877,35 \frac{\delta \cdot g}{T}, \quad (1.1)$$

где E – модуль жесткости нити на растяжение, $Н/м^2$; δ – условная плотность нити, $мг/мм^2$; T – линейная плотность нити, текс ($г/км$); g – показатель жесткости нити на растяжение, $Н/м$.

Из формулы (1.1) видно, что принципиальное сходство величин E и g основывается на том, что обе эти величины функционально связаны между собой и являются мерой способности нити растягиваться под действием нагрузки, действующей вдоль ее оси. Однако показатель g имеет неоспоримое преимущество перед показателем E – оно обусловлено метрологическими соображениями: из формулы (1.1) следует, что погрешность определения E в принципе выше погрешности величины g , так как E вычисляется еще и через величины δ и T . Последние две величины вводятся в выражение (1.1) для отображения площади поперечного сечения нити S . При этом предполагается, что сечение является круглым, а это вносит дополнительную скрытую погрешность в определение E , обусловленную неопределенностью действительной форме поперечного сечения нити.

Существует, однако, и еще одно тонкое различие между величинами: E является характеристикой материала нити и поэтому она безотносительна к геометрическим характеристикам конкретной нити, в то время как g – характеристика конкретной нити. Это соображение обосновывает целесообразность применения E для оценки свойств нитей при растяжении, несмотря на его метрологическую уязвимость.

Итак, показатели E и g могут, взаимно дополняя друг друга, применяться для оценки важных в технологическом отношении свойств нитей в качестве нестандартизованных.

С величинами E и g легко связать известную из других технических областей и терминологически выразительную величину, которая называется податливостью на растяжение и определяется как обратная им. Если величины E и g отражают способность нити сопротивляться действию растягивающих внешних нагрузок, то *податливость на растяжение* – λ , наоборот, – способность нити удлиняться под действием растягивающих сил. Она численно равна удлинению нити, вызванному единицей силы. Эта величина в некоторых ситуациях, возникающих в

процессе технологической переработки, более отчетливо объясняет «поведение» нити.

Необходимо все же отметить, что E , g и λ хорошо характеризуют реакцию нити на растягивающие нагрузки, по меньшей мере, до предела пропорциональности, то есть до тех пор, пока диаграмма растяжения нити линейна. Однако, как отмечается в отдельных работах, в частности в [38], и за пределом пропорциональности эти показатели могут быть также использованы, если рассматривать их как функции деформации, и нелинейность кривой растяжения объяснять зависимостью указанных величин от деформации. Иначе говоря, эти величины имеет смысл связывать не только с упругой составляющей полной деформации нити, а использовать их в качестве характеристик напряженно-деформированного состояния нити в диапазоне деформаций от 0 до L_p .

Прочностные свойства нити являются одними из определяющих маршрут и режимы переработки. Важным показателем этих свойств является *удельная работа разрыва*. По сравнению с разрывными характеристиками нити этот показатель характеризует устойчивость материала нити к применению разрушающих нагрузок. Работа разрыва показывает, какое количество энергии надо затратить, чтобы преодолеть энергию связи между частицами структуры испытываемой нити при ее растяжении до разрушения [30] и имеет размерность [Н·м]. Для сравнения нитей по способности сопротивляться разрушению под действием растягивающих усилий применяется показатель, называемый удельной работой разрыва r и вводимый через соотношение (1.2):

$$r = \frac{R}{m}, \quad (1.2)$$

где r – удельная работа разрыва, (Н·м)/г; R – работа разрыва, Н·м; m – масса участка испытываемой пробы, подвергающегося непосредственно растяжению в процессе испытания, г.

Если массу участка пробы выразить как

$$m = T \cdot L, \quad (1.3)$$

где m – масса участка пробы, г; T – линейная плотность нити, текс; L – зажимная длина пробы, мм,

то

$$r = \frac{10^{-6} \cdot R}{T \cdot L}, \quad (1.4)$$

где величина r имеет размерность [Н·м/г].

При фиксированной зажимной длине, в частности, при $L=500$ мм и при P , выраженной в [Н], получим более простое выражение для определения удельной работы разрыва:

$$r = \frac{0,002 \cdot R}{T}. \quad (1.4)$$

Исходя из размерности, удельная работа разрыва отражает уровень концентрации энергии связей материала нити в единице его массы. Как и всякая комплексная характеристика, удельная работа разрыва облегчает оценку прочностных свойств материала в целом, так как позволяет сравнивать нити разного волокнистого состава и линейной плотности. Чем выше удельная работа разрыва, тем большую энергию требуется затратить для разрушения материала. Особое значение приобретает этот показатель для оценки способности нити сохранять целостность в условиях, когда она подвергается внезапному рывку и особенно тогда, когда в нити развиваются усилия, близкие к разрывной нагрузке. Следовательно, удельная работа разрыва может рассматриваться как показатель ее стойкости к обрыву.

Информативность удельной работы разрыва очевидна. Тем не менее, до сих пор она остается довольно редко применяемым показателем прочностных свойств нитей, хотя известна работа, авторы которой рассматривают снижение работы разрыва нити после вязания в качестве критерия пригодности комплексных нитей для переработки в трикотажном производстве [39].

По мере компьютеризации средств измерений, применяемых в производственных лабораториях, использование этого показателя становится все более широким вследствие повышения оперативности его определения.

Главной особенностью текстильных материалов является выраженная зависимость их свойств от продолжительности действия силы, существование которой обусловлено химическим строением и структурой полимера, составляющего основу этих материалов. Такая зависимость находит свое отражение в релаксационных процессах, возникающих в полимерных нитях, помещаемых в силовые поля. Одним из важнейших показателей таких процессов является **время релаксации напряжения**. Будучи исключительно сложной системой, полимерный материал всегда стремится к состоянию термодинамического равновесия, из которого он выводится внешними воздействиями, например, нагружениями. Любой процесс нагружения полимерного материала, обуславливающий рост напряжений в нем, всегда сопровождается текущей на встречу релаксацией напряжения. В рамках простейшей механической модели свойств полимера (модели Максвелла) скорость релаксации напряжения при постоянной деформации пропорциональна

самой величине напряжения [34]. Таким образом, в нити, подвергающейся деформации, развиваются два встречных процесса: нарастание напряжения, обусловленное деформацией, и спад его, определяемый релаксацией. Чем выше скорость релаксации, тем меньше напряжение в деформируемой нити в любой момент времени в любом ее сечении. Отсюда сразу становится понятной важность знания спектра времен релаксации напряжения для оценки способности нити к переработке на трикотажных машинах, в частности для прогнозирования их обрывности. Очевидно, что при одной и той же прочности нитей та нить будет иметь более низкую обрывность, у которой процесс релаксации протекает быстрее. В простейшем случае спектр времен релаксации может быть представлен средним временем релаксации. Мерой среднего времени релаксации τ может служить отношение η к E , где η – показатель вязкости полимера, E – модуль жесткости нити на растяжение.

Зависимость механических свойств полимера от времени действия силы отображается известным, например, из [40] критерием Деборы, вычисляемым как $D = \tau/t$. Чем больше этот критерий, тем ближе полимер по свойствам к твердым материалам.

Рассмотренные показатели g , R , τ определяют форму кривой, описываемой функцией $P(\ell)$. Поэтому $P(\ell)$ можно рассматривать как комплексный показатель, отражающий совместное влияние трех названных единичных показателей.

Как говорилось выше, ряд показателей при проведении оценки качества определяют в результате опытной переработки. Эти показатели характеризуют поведение конкретной нити в определенных условиях переработки. Все апостериорные показатели качества нити, используемые в трикотажном производстве, сведены в таблицу 1.2.

Представленная в таблице 1.2 система показателей, сложившаяся в условиях большинства предприятий трикотажного производства, построена таким образом, чтобы в наибольшей степени отражать поведение нити в процессе ее технологической переработки. Кроме того, показатели выбраны так, что по ним можно оценивать не только работу оборудования и качество получаемых изделий, но также технико-экономические показатели производственного процесса в целом.

Данные таблицы 1.2 демонстрируют, что в качестве апостериорных используются три свойства процесса выработки трикотажных изделий: обрывность нити, величина отходов на стадии вязания и уровень дефектности вырабатываемых изделий.

Достоинствами всех этих показателей является то, что они характеризуют нить в переработке, имитирующей реальный технологический процесс. Они дают возможность оценить качество нити непосредственно в процессе вязания. Однако апостериорные показатели отражают только фактический результат обрыва, образования отходов и появления дефектных изделий и не дают информации о причинах этих явле-

ний.

Таблица 1.2 – Показатели опытной переработки нитей, используемые в трикотажном производстве

Наименование группы свойств	Наименование показателя	Размерность показателя
обрывность нити	масса нити, ушедшей в отходы из-за обрывов нити, на единицу массы переработанной нити	%
	число обрывов нити на единицу массы одного или десятка пар изделий	кг ⁻¹
величина отходов на стадии вязания	средняя абсолютная масса отходов, образующихся при выработке одного или десятка пар изделий	кг
	средняя абсолютная масса отходов, приходящаяся на единицу массы одного или десятка пар изделий	%
уровень дефектности изделий	количество скрытых дефектов в изделии, приходящихся на 100 км нити	м ⁻¹

Поэтому основная трудность применения представленной системы апостериорных показателей обусловлена необходимостью разделения причин обрывов, отходов и дефектов на несколько групп: связанные с сырьем, обусловленные техническим состоянием машин и вызванные действиями работников.

Все показатели, включенные в номенклатуру для оценки качества (табл. 1.1 и 1.2), в комплексе способны дать исчерпывающую оценку технологической надежности нити и охарактеризовать ее поведение в процессе переработки. Однако их определение сопряжено с рядом трудностей, например, с большими затратами времени, что является невозможным в условиях непрерывного производственного процесса. Кроме того, методики определения показателей требуют наличия большого парка испытательного оборудования и средств измерений. Сложность или, наоборот, простота определения того или иного показателя для предприятия вполне может перевесить значимость этого показателя. Поэтому методы оценки нитей по показателям качества во многом предопределяют систему этих самых показателей, используемую на предприятиях.

Таким образом, важной задачей представляется выделения такой группы показателей технологических свойств нитей, по которой можно

было бы строить уверенный прогноз способности нитей к вязанию применительно к конкретному технологическому режиму.

Выявлено, что контроль качества нитей на уровне лабораторий входного контроля является неотъемлемой частью производственного процесса, информационно обеспечивающей его эффективную реализацию.

Установлено, что при оценке качества нитей в условиях трикотажного производства необходимо учитывать показатели качества, определяющие способность нити к переработке на вязальном оборудовании, т. е. понятие «качество нити» в сфере производства имеет технологический смысл.

Установлено, что используемая на практике система показателей качества, отражающая основное назначение нити – переработку в изделие посредством вязания, учитывает не все технологически значимые показатели качества и существует необходимость в совершенствовании количественной оценки качества нитей, предназначенных для переработки в трикотажном производстве.

ГЛАВА 2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ КАК ОБОБЩЕННАЯ МЕРА СПОСОБНОСТИ НИТЕЙ К ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

2.1 Содержание понятия «технологическая надежность нити»

Надежность – это сложное свойство объекта, которое в общем случае сводится к его безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. В то же время все показатели, характеризующие надежность, связаны с упоминавшимся выше понятием отказа. Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта [41, 42]. Применительно к нити отказ выражается в ее неспособности участвовать в процессе вязания. Во многих случаях она обусловливается обрывом нити. Именно поэтому обрывность нити – важный показатель ее технологических свойств, применяемый на практике.

Для технологических процессов, как ядра любого производства, одним из важнейших качеств является надежность. Вопросам, связанным с надежностью процессов вязания поперечновязаного трикотажа, посвящена обширная работа [20], в которой отмечается: нить – важнейший элемент этих процессов. Понятно, что от надежности нити в высокой степени зависит надежность процесса вязания в целом. Поэтому оценка ее надежности в рамках технологического процесса представляет несомненный практический интерес, тем более что к настоящему времени имеется большой опыт переработки многих видов нитей в производстве широкого ассортимента трикотажных изделий.

Вряд ли может вызвать возражения представление о технологической надежности нити как сложном качестве, отражающем пригодность ее к вязанию. Понятно, что с такой точки зрения она зависит в первую очередь от физико-механических свойств нити. С другой стороны, если ее интерпретировать как меру пригодности нити к переработке на вязальных машинах, то представляется уже принципиально невозможным адекватный анализ надежности нити вне процесса вязания. Поэтому в технологической надежности можно усматривать и способность нити поддерживать на требуемом уровне показатели производственного процесса в течение заданного времени.

Оценка нитей с позиций надежности открывает также перспективы использования математических соотношений и понятийного аппарата теории надежности. Достигнувшая к настоящему времени высокого уровня, эта теория имеет целью разработку способов выбора оптимальных технических или технологических решений, связанных с поддержанием характеристик объектов и их элементов, а также процессов на

требуемом уровне в течение заданного интервала времени в определенных условиях. Положительная особенность оценки качества нити с точки зрения ее надежности состоит еще и в том, что в этом случае пригодность нити к переработке естественно рассматривать как функцию, с одной стороны, физико-механических свойств ее, а с другой – параметров режима вязания, что значительно лучше соответствует физической сущности надежности [43]. Кроме того, понятие технологической надежности нити терминологически хорошо сочетается с понятием надежности технологического процесса вязания, по отношению к которому нить – гибкий его элемент.

Приведенные соображения, а также обращение к литературным источникам, например [21], в которых этот термин, по меньшей мере, введен как равноправный с другими, положены в данной работе в качестве основания для принятия термина «технологическая надежность» нити и увязки его со способностью нити к переработке в трикотажном производстве.

Привлечение положений теории надежности для описания поведения нитей в процессах ее переработки требует, прежде всего, раскрытия содержания ключевых понятий и определений, лежащих в ее терминологической основе. Центральными понятиями являются надежность нити и производные от него.

Надежность нити – это свойство ее сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность ее к переработке на конкретном виде технологического оборудования в конкретных режимах. Надежность – сложное качество нити, которое в зависимости от назначения нити и режима переработки, определяется сочетанием тех или иных ее свойств и параметров этого режима.

На трикотажных машинах нити вместе с петлеобразующими деталями образуют специфические механические системы. Главная их особенность состоит в том, что нити в них являются одновременно и объектами технологической обработки и гибкими деформируемыми звеньями петлеобразующих систем [44].

Зону петлеобразования можно представить как пространственно обособленную область, в которую непрерывно поступает нить и детали петлеобразования. На время, равное длительности цикла петлеобразования, они образуют своеобразную механическую систему, в которой захваченный иглой участок нити образует гибкое звено, механически сцепленное с другими петлеобразующими деталями. По завершении цикла петлеобразования сформированная петля уходит в полотно, но гибкое звено не исчезает, т. к. момент начала перехода петли в полотно в точности совпадает с моментом начала сцепления с ней следующего участка нити (операция соединения) [45].

Иными словами, гибкое звено, образываемое участком нити,

присутствует в составе системы петлеобразования в принципе непрерывно. При этом в качестве такого звена нить испытывает деформации растяжения, изгиба, кручения, т. е. с участком нити как гибким звеном происходит то же, что и с любым другим звеном петлеобразующей системы. Поэтому, как и о всяком элементе системы, по отношению к нити можно говорить о ее надежности.

Так как деформации перечисленных видов зависят от применяемой технологии, то очевидно, что и надежность ее естественно рассматривать в технологическом аспекте. А это значит, что термин «технологическая надежность» – более конкретный, чем просто «надежность».

Известны работы, в которых подчеркивается, что оценивать поведение текстильных материалов (в частности нитей) при переработке по данным лабораторных испытаний не представляется достаточно обоснованным, т. к. в процессе вязания критические значения нагрузок и деформаций, испытываемых перерабатываемыми нитями, существенно отличаются от значений, получаемых в процессе лабораторных испытаний [46].

Ситуация становится иной, когда используются показатели надежности, определяемые для различных видов воздействий, испытываемых материалом в реальных условиях переработки. Сравнительная же оценка качества текстильных материалов с учетом показателей надежности способна дать принципиально новые результаты.

Приведенные соображения отражают представления о нити как об элементе, неотделимом от процесса переработки, а надежность ее – как качество, обнаруживающееся только в этом процессе.

Иными словами, постулируется, что конкретный уровень технологической надежности одной и той же нити определяется спецификой процесса переработки. Такой подход позволяет обозначить направление поиска новых количественных мер технологической надежности нитей, а в условиях производства – организовать действенную систему по ее контролю и управлению.

2.2 Критерии технологической надежности нитей

При практической оценке технологической надежности нити целесообразным является построение критериев, характеризующих ее количественно. Они могут рассматриваться как единичные, отображающие влияние групп различных свойств [47]. Таким образом, на первом этапе задача состоит в том, чтобы, используя некоторую исходную группу показателей качества нитей, сформировать величины, которые можно наделять статусом единичных критериев технологической надежности нитей.

2.2.1 Единичные критерии технологической надежности нити

Сформируем исходную группу величин, определяющих технологическую надежность нити, и установим взаимосвязи между ними.

В разделе 1 представлено более двадцати показателей, отображающих свойства нитей, важные в технологическом отношении. Из этих показателей необходимо сформировать группу показателей, определяющих комплексный показатель качества, который может быть построен с помощью метода анализа размерностей. Величины, которые могут составить исходную группу, должны удовлетворять определенным требованиям. Прежде всего, они должны иметь размерность. Это диктуется сущностью применяемого метода [48]. Кроме того, для успешного применения анализа размерностей общее число показателей качества нитей необходимо сократить. Согласно [49], численность группы показателей, определяющих технологическую надежность нити, не должна превышать 10, а в качестве критерия отбора показателя в группу целесообразно выбрать его информативность. Это означает, что в каждом из показателей, вводимых в группу исходных, должно отражаться влияние возможно большего числа как контролируемых, так и неконтролируемых параметров.

Анализ размерностей как метод изложен в ряде литературных источников [50–52]. Используя данный метод для построения критериев технологической надежности нитей для группы исходных величин, приведенной в таблице 2.1, введем систему единиц измерения, в которой вводятся следующие обозначения: M – единица массы, кг; L – единица длины, м; Q – единица времени, с; F – единица силы, Н.

Введем функцию, отражающую зависимость величины λ от остальных параметров, содержащихся в таблице 2.3:

$$\lambda = f(P, r, V, T, t, P', P'', q). \quad (2.1)$$

Для исследования ее с помощью анализа размерностей запишем следующую форму:

$$\lambda = f(P^a, r^b, V^c, T^d, t^e, P'^g, P''^h, q^i), \quad (2.2)$$

где a, b, c, d, e, g, h, i – некоторые безразмерные показатели степеней, отражающие характер влияния величин, стоящих в правой части выражения (2.2), на выходной параметр.

Для определения введенных показателей степеней заменим в выражении (2.2) обозначения величин соответствующими формулами размерностей, взятыми из таблицы 2.1:

Таблица 2.1 – Группа исходных величин, определяющих технологическую надежность нитей

Название величины	Обозначение	Размерность в системе СИ	Формула размерности
Длина участка нити, переработанного между двумя последовательными отказами (обрывами) нити	λ	м	L
Разрывная нагрузка	P	Н	F
Скорость движения нити	V	м/с	$L \cdot Q^{-1}$
Линейная плотность нити	T	кг/м	$M \cdot L^{-1}$
Время наблюдения	t	с	Q
Натяжение нити в зоне вязания	P''	Н	F
Удельная работа разрыва	r	(Н·м) / кг	$F \cdot L \cdot M^{-1}$
Входное натяжение	P'	Н	F
Скорость образования отходов	q	кг/с	$M \cdot Q^{-1}$

$$L = f[(F)^a, (F \cdot L \cdot M^{-1})^b, (L \cdot Q^{-1})^c, (M \cdot L^{-1})^d, (Q)^e, (F)^g, (F)^h, (M \cdot Q^{-1})^i.] \quad (2.3)$$

Однородность соотношения (2.3) достигается при выполнении следующих соотношений между показателями степеней:

$$\begin{aligned} \text{для единиц массы } M: & \quad 0 = -b + d + i; \\ \text{для единиц длины } L: & \quad 1 = b + c - d; \\ \text{для единиц времени } Q: & \quad 0 = -c + e - i; \\ \text{для единицы силы } F: & \quad 0 = a + b + g + h. \end{aligned} \quad (2.4)$$

В итоге имеем систему из 4 уравнений с 8 неизвестными. Выразим неизвестные c, d, h, e через a, b, g, i .

$$\begin{aligned} c &= 1 - i; \\ d &= b - i; \\ h &= -a - b - g; \\ e &= 1. \end{aligned}$$

Подставляем значения показателей a, b, g, i в формулу (2.3):

$$\lambda = f[P^a, r^b, V^{1-i}, T^{b-1}, t^1, P'^g, P''^{-a-b-g}, q^i], \quad (2.5)$$

Объединяя величины, имеющие одинаковые показатели степеней, получим:

$$\frac{\lambda}{V \cdot t} = f \left[\left(\frac{P}{P'} \right)^a, \left(\frac{r \cdot T}{P''} \right)^b, \left(\frac{q}{V \cdot T} \right)^g, \left(\frac{P'}{P''} \right)^i \right], \quad (2.6)$$

Если ввести следующие обозначения:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{\lambda}{V \cdot t}; \\ K_2 &= \frac{P}{P'}; \\ K_3 &= \frac{P''}{r \cdot T}; \\ K_4 &= \frac{q}{V \cdot T}; \\ K_5 &= \frac{P'}{P''}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

получаем следующее выражение:

$$K_1 = f[K_2, K_3, K_4, K_5]. \quad (2.8)$$

В выражении (2.8) K_1 можно рассматривать как обобщенный критерий, а $K_2 \dots K_5$ – как единичные критерии технологической надежности. Величины K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 являются безразмерными, что указывает на то, что функция (2.8) существует.

Из выражений (2.7) и (2.8), определяющих единичные и обобщенный критерии технологической надежности нити, следует, что для их вычисления требуется иметь значения ряда показателей физико-механических свойств нити, а также параметров режима ее переработки. Эта взаимосвязь отображена на рисунке 2.1.

На схеме четко видны три основных уровня: *первый* уровень – обобщенный критерий технологической надежности, *второй* – единичные критерии и *третий* уровень, представленный двумя подуровнями, – параметры режима переработки и показатели физико-механических свойств нитей.

Каждая величина третьего уровня коррелирована с множеством определяющих ее факторов. Например, скорость движения нити зависит от частоты вращения игольного цилиндра, длины нити в петле и ряда других. Таким образом, представленная схема, образно выражаясь, уходит своими корнями в массивы единичных факторов, причинно-обуславливающих конкретное значение каждой величины третьего уровня.

**Обобщенный критерий
технологической надежности нити**

$$K_1 = \frac{\lambda}{V \cdot t}$$

Единичные критерии технологической надежности нити

$$K_2 = \frac{P}{P'}$$

$$K_3 = \frac{P''}{r \cdot T}$$

$$K_4 = \frac{q}{V \cdot T}$$

$$K_5 = \frac{P'}{P''}$$

Показатели физико-механических свойств нити

<i>Разрывная нагрузка, P</i>	<i>Удельная работа разрыва, r</i>	<i>Линейная плотность, T</i>
------------------------------	-----------------------------------	------------------------------

Параметры режима переработки нити

<i>Входное натяжение, P'</i>	<i>Натяжение в зоне вязания, P''</i>	<i>Скорость движения нити, V</i>	<i>Средняя величина безотказной переработки нити, λ</i>	<i>Скорость образования отходов, q</i>
------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------------------------	----------------------------------------

Рисунок 2.1 – Структура связи обобщенного и единичных критериев технологической надежности нити, показателей физико-механических свойств и параметров режима переработки

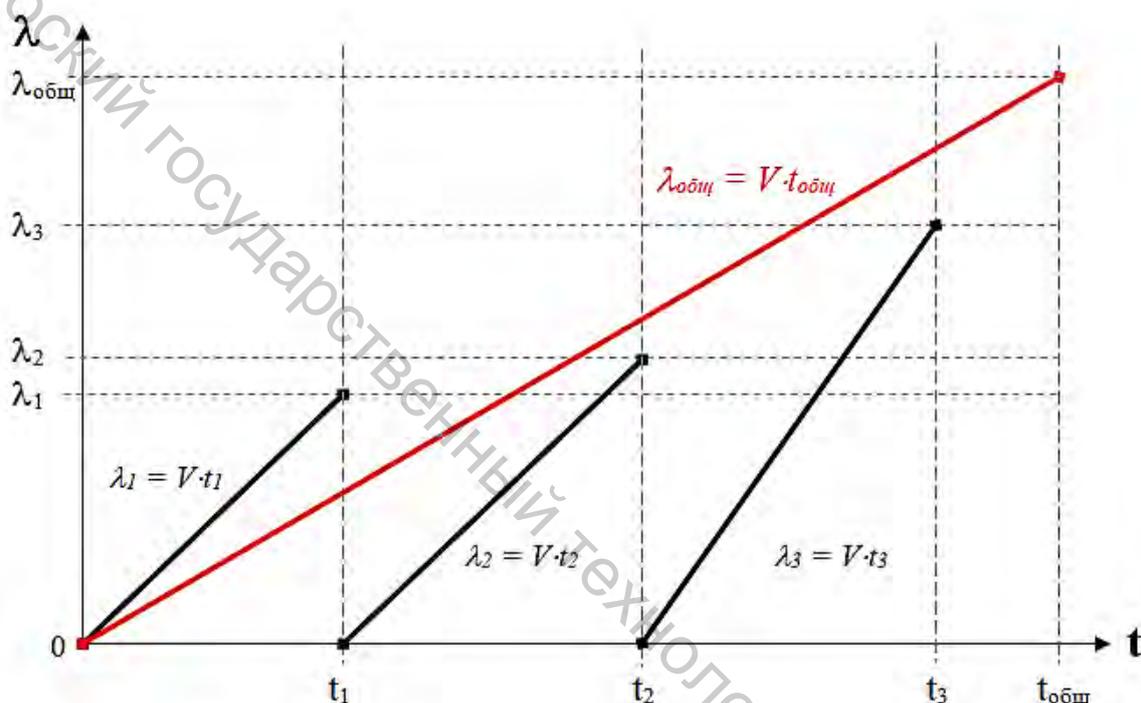
Соотношением (2.8) введена модель связи обобщенного K_1 и единичных ($K_2 - K_5$) критериев технологической надежности нитей. С другой стороны, соотношения (2.7) определяют математическую структуру каждого критерия, включая и критерий K_1 .

Полученные критерии K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 представляют собой безразмерные комбинации величин, входящих в исходную группу для проведения анализа размерностей. Установим физический или технологический смысл каждой из величин в соотношении (2.8).

Рассмотрим левую часть данного соотношения. Числитель стоящей здесь комбинации K_1 – это первая из величин, введенных в таблице 2.3, – длина участка нити, переработанного за время между двумя последовательными отказами (обрывами) нити. Причем размерность величины – [м]. В знаменателе комплекса K_1 присутствует произведение

скорости движения нити V на время наблюдения t .

Это произведение представляет собой ни что иное, как переработку нити за время t и также имеет размерность длины. Семантически величина K_I отражает тот факт, что нить, потребляемая трикотажной машиной в процессе вязания, разделяется на отдельные участки со случайной длиной λ отказами нити, вызывающимися либо остановками машины, сопровождающимися или не сопровождающимися возникновением дефектов в вырабатываемом изделии, либо появлением дефектов, не вызывающих остановку машины (рис. 2.2).



$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – длина нити переработанной до 1, 2, 3-го отказов соответственно

t_1, t_2, t_3 – время возникновения отказа

$t_{общ}$ – общее время переработки

$\lambda_{общ}$ – общая длина перерабатываемой нити

Рисунок 2.2 – Графическое представление разделения перерабатываемой нити отказами

С геометрической точки зрения вероятность переработки участка нити длиной λ можно оценить отношением $\lambda / (V \cdot t)$. Оно физически нормировано, т. к. участок нити между двумя последовательными отказами нити не может превысить всей длины нити, переработанной за время t . Иными словами, $\lambda / (V \cdot t)$ принадлежит интервалу $[0;1]$, что полностью соответствует определению вероятности случайного события.

Время t в принципе должно превышать интервал времени между двумя следующими один за другим отказами нити – t_1 , где единицей обозначена разность порядковых номеров отказов нити. При $t_1 = t$, $\lambda /$

$(V \cdot t) = 1$, что будет соответствовать безотказной переработке нити.

Это и понятно, так как на интервалах времени t_1 нить перерабатывается действительно безотказно. Поэтому интервал времени t и рассматривается вообще как время наблюдения за процессом. Принимать его следует равным длительности какого-либо нормативного периода, например, рабочей смены.

Итак, процесс переработки нити целесообразно рассматривать как поток событий, связанных с переработкой участков нити со случайной длиной λ , каждое из которых во времени имеет случайную длительность t_1 .

Вероятность любого такого события обусловлена определенными факторами. При $\lambda \rightarrow 0$ вероятность безотказной переработки участка нити также стремится к нулю; при $\lambda \rightarrow V \cdot t$, $\lambda / V \cdot t \rightarrow 1$. Важно отметить, что отказ нити, вызывающий остановку машины, не обязательно приводит к появлению отходов. Возможно, останов машины окажется следствием обрыва нити, и его ликвидация путем связывания ее концов приводит к восстановлению процесса, без возникновения отходов. А это говорит о том, что критерии K_1 и K_4 отображают несводимые друг к другу составляющие процесса переработки нитей на трикотажных машинах.

Учитывая все приведенные соображения, можно утверждать, что безразмерный комплекс K_1 , интерпретируемый как вероятность безотказной переработки участка нити длиной λ , является первым критерием технологической надежности нити при ее переработке на трикотажной машине.

Проанализируем теперь комбинации величин, стоящих в правой части выражения (2.8). Безразмерная комбинация K_2 представляет собой отношение натяжения нити в зоне петлеобразования к разрывной нагрузке нити, отображая тем самым величину этого натяжения на фоне прочности нити. Иными словами, K_2 есть мера запаса прочности нити в цикле петлеобразования (или мера отбора, а при определенных условиях мера потери прочности). $K_2 < 1$ всегда, так как при $K_2 > 1$ вязание осуществляться не может ввиду того, что прочность нити должна быть не ниже тех нагрузок, которые действуют на нить при вязании.

Таким образом, в принципе $0 < K_2 < 1$, то есть этот критерий, также как и критерий K_1 , физически нормирован. Для анализа безразмерной комбинации K_3 представим ее в следующем виде:

$$K_3 = \frac{P'' \cdot r}{T}. \quad (2.9)$$

Числитель полученного выражения есть не что иное, как удельная нагрузка на нить, линейная плотность которой равна T . Размер-

ность этой величины такая же, как и удельной работы разрыва r . Кроме того, обратим внимание на то, что

$$r = \frac{1}{m} \int_0^{L_p} P(L) dL = (\eta \cdot P \cdot L_p) / m, \quad (2.10)$$

где L_p – длина пробы нити в момент разрыва; η – коэффициент полноты диаграммы растяжения; m – масса участка нити между зажимами разрывной машины в начальный момент времени.

Очевидно, что $L_p = L_o + \Delta L$, где ΔL – абсолютное разрывное удлинение, L_o – зажимная длина нити. Поэтому

$$r = \frac{\left[m \cdot \eta \cdot P \left(1 + \left(\frac{\Delta L}{L_o} \right) \right) \right]}{L_o}. \quad (2.11)$$

Так как

$\Delta L / L_o = \varepsilon$ (относительное разрывное удлинение нити),

$m / L_o = T$ (линейная плотность нити), то

$$r = \frac{\eta \cdot (1 + \varepsilon) \cdot P}{T}. \quad (2.12)$$

Последнее соотношение показывает, что величину (P''/T) можно рассматривать как меру той части энергии связей элементов нити, которая расходуется на поддержание целостности нити в процессе вязания.

Исходя из такой трактовки комплекса величин K_3 , можно заключить, что K_3 – это критерий запаса энергии связей элементов нити в процессе вязания или критерий энергетического уровня напряженно-деформированного состояния нити в период вязания. Очевидно, что $K_3 < 1$, так как энергетическая отдача нити не может превышать той полной энергии связей ее элементов, которая определяется величиной удельной работы разрыва. Так как $P'' < P \cdot \eta \cdot (1 + \varepsilon)$ всегда, то критерий K_3 также физически нормирован.

Комплекс K_4 перепишем в виде:

$$K_4 = \frac{q}{T} / V. \quad (2.13)$$

Величина (q/T) – это удельная скорость образования отходов. Данное отношение показывает – какая величина отходов, выраженная в

единицах длины, образуется в единицу времени из массы, приходящейся на единицу длины. Размерность величины (q/T) – [м/с]. Следовательно, K_4 – это отношение двух скоростей: удельной скорости образования отходов и скорости поступления нити в зону вязания. Очевидно, что удельная скорость образования отходов, выраженная в [м/с], не может превысить скорости поступления нити в зону вязания, то есть туда, где она может превратиться в отходы. Таким образом, и этот критерий технологически нормирован, т. е. $0 < K_4 < 1$

С другой стороны: $V = \Delta L / \Delta t$, где L – длина перерабатываемой нити, t – время. Тогда

$$K_4 = \frac{q \cdot \Delta t}{T \cdot \Delta L}. \quad (2.14)$$

Произведение $(q \cdot \Delta t)$ имеет размерность массы и действительно является массой отходов, образовавшихся за время Δt . Произведение $(T \cdot \Delta L)$ также имеет размерность массы и есть не что иное, как масса участка нити длиной ΔL , переработанной за время Δt . Поэтому комплекс K_4 с полным основанием можно интерпретировать как долю отходов нити, возникающих при вязании. В свою очередь доля может рассматриваться в качестве оценки вероятности появления отходов.

Итак, K_4 – это критерий, являющийся мерой вероятности превращения в отходы единицы длины нити с линейной плотностью T . С другой стороны, из (2.8) $K_4 = q/(V \cdot T)$, причем размерность $(V \cdot T) = [\text{кг/с}]$. Поэтому произведение $(V \cdot T)$ есть основания оценивать как меру общего расхода нити в процессе переработки, в котором образуется и полезный продукт и отходы.

Если q – скорость (или интенсивность) образования отходов, а размерность $q = [\text{кг/с}]$, то $q/(V \cdot T)$ можно рассматривать в качестве показателя относительной интенсивности потока отходов.

Безразмерная комбинация K_5 есть величина, обратная коэффициенту тангенциального сопротивления нити при движении ее по петлеобразующим деталям. Справедливо следующее двухстороннее неравенство:

$$0 < \frac{P'}{P''} < 1. \quad (2.15)$$

Так как $P' < P''$ всегда, то очевидно, что чем ближе P'' к P' , то есть, чем ближе P'/P'' к единице, тем слабее влияние фрикционных свойств нити на напряженно-деформированное состояние ее в процессе вязания. Поэтому K_5 есть мера влияния всех тех факторов, действие которых приводит к появлению разности натяжений входной и выходной ветвей нити при ее перемещении по рабочим кромкам петлеобразующих деталей. К таким факторам относятся и фрикционные свойства ни-

ти, и ее жесткость на изгиб, и неровнота и любые другие. Иначе говоря, K_5 в «свернутом» виде отражает действие как «видимых», так и «невидимых» факторов.

Таким образом, анализ исходной группы параметров приводит к выводу о существовании комплексных безразмерных величин, имеющих характер критериев, определяющих технологическую надежность нити. Необходимо отметить, что факторы, входящие в комплекс, могут изменяться, в то время как сам комплекс может оставаться неизменным. Теперь введем комплексный критерий технологической надежности нити.

2.2.2 Комплексный критерий технологической надежности нитей

Под комплексным критерием технологической надежности нити понимаем модель правой части уравнения (2.8). Таким образом, вводятся два сложных критерия технологической надежности нити: обобщенный, трактовка которого представлена выше, и комплексный, в котором объединяются найденные единичные критерии $K_2 \dots K_5$.

Выбор вида модели необходимо связывать с теми особенностями изучаемой зависимости, которые обязательно должны быть отображены функцией, представляющей выбранную модель. Такие особенности обусловлены или физически или технологически. К ним можно отнести следующие:

– при стремлении к единице любого из безразмерных критериев, стоящих в правой части (2.8), левая часть этого выражения независимо от значений остальных критериев в правой части должна стремиться к нулю. Технологически это означает, что при достижении любым критерием в правой части (2.8) максимального значения происходит отказ нити, вызывающий останов машины независимо от значений других критериев;

– левая часть соотношения (2.8) может стать равной единице тогда и только тогда, когда все критерии в ее правой части станут равными нулю.

Выясним вначале характер изменения найденных частных критериев технологической надежности нити при изменении входящих в них величин.

Для единичных критериев K_2, K_3, K_4 изменение их от 0 до 1 соответствует снижению технологической надежности нити. Иными словами, эти критерии оказываются негативными. Пятый критерий – K_5 – позитивный, так как изменение его от 0 до 1 соответствует повышению технологической надежности нити. Преобразуем его в негативный, ис-

пользуя следующую линейную операцию:

$$K'_5 = 1 - K_5 = 1 - \frac{P'}{P''} = \frac{P'' - P'}{P''} = \Delta \frac{P}{P''}. \quad (2.16)$$

Теперь, когда разность натяжений $\Delta P \rightarrow 0$, изменение K'_5 от 0 до 1 соответствует переходу от равенства натяжений $P'' = P'$ к неравенству $P'' > P'$, то есть к снижению технологической надежности нити.

Однако существует вариант ввода этого критерия в состав K_2 и K_3 . Обратим внимание на то, что в критерии K_2 и K_3 входит величина P'' – натяжение нити в зоне петлеобразования. Присутствие ее в указанных критериях придает им прозрачный физический смысл. В то же время, используя определение коэффициента тангенциального сопротивления нити $k = (P''/P')$, можно написать, что $P'' = k \cdot P'$.

В отличие от P'' , оперативный мониторинг, за которым при нынешнем уровне измерительной техники в трикотажном производстве, не может идти и речи, величины P' и k вполне могут контролироваться: входное натяжение нити P' – довольно распространенными на производстве приборами, а k – коэффициент тангенциального сопротивления – лабораторными техническими средствами. Теперь критерии K_2 и K_3 примут вид:

$$K_2 = \frac{k \cdot P'}{P}; \quad K_3 = \frac{k \cdot P'}{r \cdot T}. \quad (2.17)$$

Так как величина k вошла в критерии K_2 и K_3 , то от функционально связанного с ней критерия K_5 можно отказаться. В итоге:

$$K_1 = f[K_2, K_3, K_4]. \quad (2.18)$$

Вернемся теперь к вопросу о том, какой может быть форма уравнения связи критериев технологической надежности нити.

Двум приведенным выше требованиям удовлетворяет форма так называемой производственной функции, известная, например, из [34] и дающая возможность определить комплексный критерий технологической надежности нити через произведение частных:

$$\frac{1}{V \cdot t} = \left[1 - \frac{k \cdot P'}{P}\right]^a \cdot \left[1 - \frac{k \cdot P'}{r \cdot T}\right]^b \cdot \left[1 - \frac{q}{V \cdot T}\right]^c. \quad (2.19)$$

Выбор именно произведения обусловлен еще и тем, что оно содержит две обязательные особенности, сформулированные в начале данного раздела и отображает не только раздельное, но и совместное

влияние единичных критериев технологической надежности нити на комплексный критерий. Иными словами, форма (2.19) моделирует эффект взаимодействия единичных критериев, в пределах которого изменение одного критерия может быть компенсировано изменением других. Однако форма (2.19) обладает двумя существенными недостатками:

- в ней присутствует столько неизвестных показателей степеней, сколько содержится сомножителей в ее правой части;
- наличие неизвестных показателей приводит к тому, что влияние каждого сомножителя в правой части рассматриваемой формы определяется не только его величиной, но и значением показателя степени, в которую он возводится.

Почти полностью устранить эти недостатки можно, перейдя к логарифмам, в частности, применив в качестве модели зависимости (2.19) форму, содержащую логарифмы по основанию 2:

$$\frac{1}{V \cdot t} = \log \left(2 - \frac{k \cdot P'}{P} \right)^a \cdot \log \left(2 - \frac{k \cdot P'}{r \cdot T} \right)^b \cdot \log \left(2 - \frac{q}{V \cdot T} \right)^c. \quad (2.21)$$

Используя свойства логарифмов и привлекая унифицированное обозначение единичных критериев технологической надежности нити, введенных ранее, перепишем (2.8) в виде:

$$K_1 = a \cdot b \cdot c \prod_{i=2}^4 \log(2 - K_i). \quad (2.21)$$

В последнем соотношении значения каждого логарифмического сомножителя принадлежат интервалу $[0; 1]$. Следовательно, и возможные значения всей правой части введенной формы принадлежат этому же интервалу. Так как $K_i < 1$ всегда, то появляются основания ввести дополнительное соотношение для показателей степеней $a \cdot b \cdot c < 1$.

Рассматривая логарифмическую форму изучаемой зависимости, необходимо отметить, что она является нелинейной ее моделью. При $K_i \rightarrow 1 \log(2 - K_i) \rightarrow 0$. Рассмотрим, как будет изменяться функция $Y = \log(2 - K_i)$ при изменении K_i от 0 до 1. Представим результаты расчетов в таблице 2.4.

Данные таблицы 2.2 свидетельствуют о том, что при изменении K_i от 0,1 до 1 показатель ΔY скорости изменения функции Y возрастает почти в 2 раза.

С точки зрения логики производственного процесса переработки нитей это не выглядит неприемлемым. В самом деле, трудно представить, что скорость снижения показателей производственного процесса пропорциональна скорости снижения технологической надежности нити на всем интервале изменения K_i -критериев.

Таблица 2.2 – Оценка скорости изменения логарифма единичного критерия технологической надежности нити

K_i	$Y = \log(2 - K_i)$	$\Delta Y = Y_i - Y_{i-1}$
0,0	1,000	–
0,1	0,926	0,074
0,2	0,848	0,078
0,3	0,765	0,083
0,4	0,678	0,087
0,5	0,585	0,083
0,6	0,485	0,100
0,7	0,378	0,106
0,8	0,263	0,115
0,9	0,137	0,125
1,0	0,000	0,137

Практика свидетельствует, например, о том, что при увеличении входного натяжения нити количество брака растет быстрее, а, например, коэффициент полезного времени работы трикотажных машин снижается быстрее, чем возрастает это натяжение. Таким образом, логарифмическая модель (2.19) в сравнении со степенной формой (2.18) может быть оценена как предпочтительная и в целом работоспособная.

Из теории надежности систем известно, что надежность системы определяется произведением надежностей ее элементов, выраженных логарифмическими формами. Поэтому в соотношении (2.19) каждый сомножитель может рассматриваться как количественная мера технологической надежности нити по отдельному свойству. При этом важно, что изменение величины любого критерия в правой части (2.19) может быть до определенных пределов компенсировано соответствующими изменениями остальных критериев.

Например, снижение прочности нити может быть компенсировано уменьшением входного натяжения перерабатываемой нити или уменьшением скорости ее движения. Однако, если любой из единичных критериев станет равным 1, то соответствующий сомножитель в уравнении (2.8) превратится в ноль, и вся правая часть окажется равной нулю независимо от значений остальных критериев, что соответствует технологическому отказу нити. Поэтому левую часть соотношения (2.19) можно рассматривать в качестве обобщенного критерия технологической надежности нити, а правую – как выражение, раскрывающее структуру всегда равного ему конкретного показателя.

При анализе функции, описывающей обобщенный критерий технологической надежности нити, интерес, прежде всего, представляет оценка скорости его изменения при изменении единичных критериев от 0 до 1. Для оценки чувствительности обобщенного критерия технологической надежности нити к изменению любого i -го единичного крите-

рия используем частную производную первого порядка. Обратим внимание на симметрию формы (2.21) относительно операции дифференцирования: вид функции, описывающей первую производную от этой формы, не зависит от того, по какому аргументу проводится дифференцирование. Поэтому общность результатов анализа не снизится, если будет рассмотрена производная только по одному из аргументов, например, по K_2 . Продифференцируем (2.21) по K_2 :

$$\frac{dK_1}{dK_2} = -A \cdot \log(2 - K_3) \cdot \log(2 - K_4) \cdot \frac{1}{2 - K_2}, \quad (2.22)$$

где $A = a \cdot b \cdot c$.

Или

$$\frac{dK_1}{dK_2} = \frac{B}{2 - K_2}, \quad (2.23)$$

где $B = -A \times \log(2 - K_3) \cdot \log(2 - K_4)$, причем $|B| < 1$.

График функции (2.23) изображен на рисунке 2.3. Из выражения (2.22) следует, что $K_1 = 1$ при $K_2 = 0$ и $K_1 = 0$ при $K_2 = 1$.

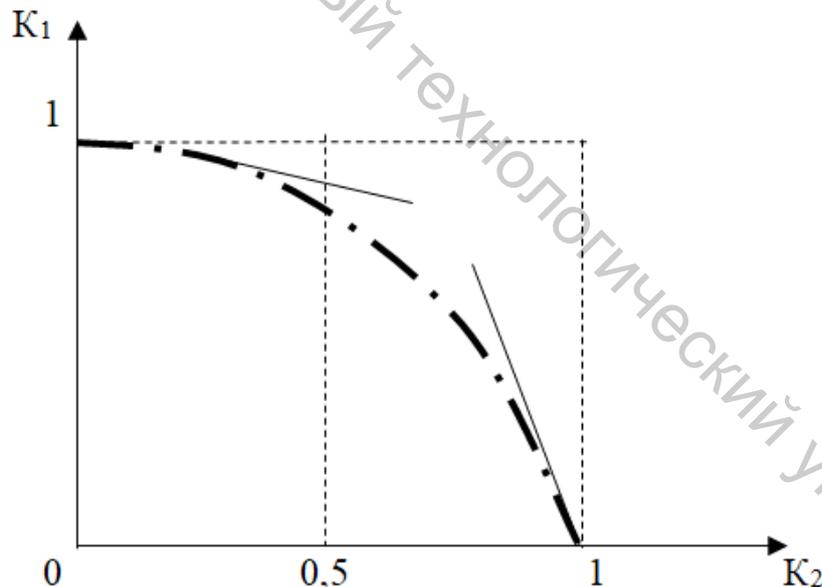


Рисунок 2.3 – График функции (2.23) и положение касательных на концах интервала $[0; 1]$

Определим значения dK_1/dK_2 при $K_2=0$ и $K_2=1$. При $K_2=0$:

$$\frac{dK_1}{dK_2} = \frac{B}{2}. \quad (2.24)$$

В случае $K_2 = 1$

$$\frac{dK_1}{dK_2} = B. \quad (2.25)$$

Таким образом, при изменении K_2 от 0 до 1 скорость изменения технологической надежности нити возрастает в 2 раза. Нетрудно показать, что вторая производная при этом увеличивается в 4 раза, что указывает на то, что скорость изменения технологической надежности нити не может рассматриваться как величина хотя бы приблизительно постоянная. В силу отмеченной выше симметрии функции (2.21), соотношение значений ее первой производной при $K_i = 0$ и $K_i = 1$ одинаково для всех трех аргументов.

Полученный результат находится в полном соответствии с тем опытным фактом, что значения K_i целесообразно удерживать вблизи нуля, а отклонение значений K_i от нуля делает производственный процесс заметно менее надежным.

Оценим теперь изменения dK_1/dK_i при изменении K_i на величину ΔK_i . Примем $\Delta K_i = 0,1$. Отношение значений первой частной производной для двух значений K_i , разность которых равна ΔK_i , определяется следующим выражением:

$$\varepsilon(K_i) = \frac{2 - K_i}{2 - (K_i + \Delta K_i)}. \quad (2.26)$$

Вычислим теперь значения $\varepsilon(K_i)$ на концах и в середине интервала возможных значений K_i , то есть для $K_i = 0; 0,5; 1,0$. Имеем $\varepsilon(0) = 1,052$; $\varepsilon(0,5) = 1,071$; $\varepsilon(1) = 1,111$, что является простым следствием полученного выше результата по оценке возможных значений dK_1/dK_i .

Запишем теперь выражение для полного дифференциала функции, описывающей технологическую надежность нити:

$$dK_1 = \sum_{i=1}^3 \frac{dK_1}{dK_i} dK_i \quad (2.27)$$

или в дискретном представлении:

$$\Delta K_1 = \sum_{i=1}^3 \frac{\Delta K_1}{\Delta K_i} \cdot \Delta K_i. \quad (2.28)$$

Из этого выражения следует, что полное изменение технологической надежности нити определяется не только величиной изменения

частных критериев надежности K_i , но и скоростью их изменения. Это является принципиальным дополнением к обыденным представлениям о том, что определяет контролируемую величину и ее изменения при изменении связанных с нею факторов [53].

Таким образом, будем различать три вида критериев технологической надежности нити: единичный, обобщенный и комплексный. Всем им присуща одна общая особенность – все они определяются через единичные показатели качества нити или через параметры режима вязания.

В целом в главе обосновано применение термина «технологическая надежность нити» как комплексной характеристики, позволяющей гармонизировать технологические свойства нитей и особенности процессов вязания, для которых эти нити предназначены.

Кроме того, для количественной оценки технологической надежности с помощью анализа размерностей построена математическая модель, включающая критерии технологической надежности, имеющие четкий физический и технологический смысл.

2.3 Технологическая надежность нитей и устойчивость производственного процесса

Развитие представлений о технологической надежности нитей на взгляд авторов может быть связано с одним из важнейших свойств любых процессов, включая производственные, – их устойчивостью [54]. Однако с общих позиций устойчивость проявляется в ответах системы на возмущения различного типа. Состояние производственной системы никогда не остается постоянным, и любой ее параметр X есть функция времени, т. е. $X = X(t)$. Если следовать формальным приемам описания, используемым в [55], то мгновенные значения параметра можно представить как

$$X(t) = X_S + x(t), \quad (2.29)$$

где X_S – некоторое среднее (стандартное) значение параметра; $x(t)$ – возмущение.

Концепция стабильного производства (концепция Шухарта [56]) предполагает неизменность значения X_S . Такая неизменность отражает идею устойчивости производственной ситуации (или множества ситуаций). Между тем под действием возмущений может происходить изменение стандартного значения X_S . Здесь следует сразу подчеркнуть важный опытный факт, состоящий в способности многих производственных систем и процессов рассеивать действие возмущений и восстанавли-

ливать стандартное состояние. По этой особенности их и можно отнести к устойчивым. Едва ли удастся отыскать серьезные возражения утверждению о том, что устойчивость производственного процесса – один из необходимых признаков его надежности. И так как именно наличие нити, ее целостность обеспечивают ход производственного процесса выработки трикотажных изделий, то применительно к нитям можно, по видимому, заявить, что без анализа устойчивости производственного процесса оценку технологической надежности нитей трудно признать состоятельной.

Технологическая надежность нити и устойчивость соответствующего производственного процесса тесно взаимосвязаны. Нить, перерабатываемая в неустойчивом процессе, не может характеризоваться как надежная. С другой стороны, технологически ненадежная нить снижает устойчивость производственного процесса.

Вопрос о количественных мерах связи технологической надежности нити и устойчивости процесса, в котором она является важнейшим элементом, воспринимается как далеко не тривиальный. Не исключено, что ответ на него потребует привлечения новейших теорий и гипотез. В данном разделе делается лишь попытка взглянуть на технологическую надежность нити как на свойство ее, связанное с устойчивостью производственного процесса, в котором она участвует. Установим теперь, какое содержание можно вложить в понятие устойчивости производственного процесса.

Устойчивость – термин, не имеющий четко определенного содержания. Теоретически применительно к движению устойчивость определяется характером поведения системы на бесконечном интервале времени. Для реальных процессов и систем достаточно исследование устойчивости на конечном интервале времени. В зависимости от взглядов на устойчивость используются несколько ее трактовок, связанных, прежде всего, с оценкой поведения системы во времени. В рамках такого подхода устойчивость рассматривается следующим образом:

– как свойство системы в том или ином смысле мало отклоняться от некоторого движения при малых возмущениях начального положения системы в фазовом пространстве. В других рассмотренных устойчивости оценивается как свойство системы незначительно отклоняться от некоторого положения в фазовом пространстве при малых возмущениях как начального положения в фазовом пространстве, так и самого закона движения;

– как свойство системы сохранять некоторые черты фазового портрета при малых возмущениях закона движения. С этой трактовкой связано понятие о грубой системе, применяющееся в теории устойчивости динамических систем и теории катастроф;

– как свойство системы в процессе движения оставаться в ограниченной области фазового пространства (такое представление об устойчивости введено Лагранжем);

– как свойство системы в процессе движения сколь угодно поздно возвращаться как угодно близко к своему начальному положению (в фазовом пространстве) (эту трактовку устойчивости ввел Пуассон).

Выработано и другое представление об устойчивости, относящееся, прежде всего, к объектам и процессам, зависящим от параметра. При этом устойчивость рассматривается как наличие свойства непрерывности, которым должна обладать зависимость состояния объекта или течения процесса от определенного параметра или параметров.

Определим теперь понятие производственного процесса, которым будем пользоваться в дальнейшем. В узком смысле слова процесс – это изменение любого параметра во времени или по любому другому параметру. Например, изменение натяжения нити во времени, изменение неровноты нити по длине и др. В широком смысле – последовательность смены явлений, состояний в развитии чего-либо.

Производственный процесс – совокупность последовательных действий для достижения конкретного результата. Так как в условиях современного производства подобные действия выполняются на том или ином оборудовании, то под производственным процессом естественно понимать смену состояний во времени комплекса оборудования, производящего определенный продукт.

Реальные производственные процессы в большинстве своем многомерные, т. е. описываются, как правило, не одним, а многими параметрами. В каждый момент времени набору таких параметров соответствует множество их мгновенных значений. Если ввести многомерное фазовое пространство, размерность которого равна числу параметров производственного процесса, а координаты фазовых точек – равными мгновенным значениям его параметров, то получим отображение процесса, не зависящее от времени. Фазовые точки составляют фазовые траектории, а они в свою очередь – фазовый портрет производственного процесса. Плотность распределения таких точек в фазовом пространстве определяет ряд важнейших особенностей процесса.

Оценивая в целом приведенные выше трактовки понятия устойчивости, нельзя не заметить, что все они имеют феноменологический характер, т. е. опираются на наблюдаемые те или иные признаки. Между тем сохранение этих признаков должно, конечно, обеспечиваться какими-то внутренними, «невидимыми» особенностями, присущими конкретному процессу или объекту.

Чтобы почувствовать, какими могут быть такие особенности, рассмотрим возможные распределения точек, представляющих процесс в фазовом пространстве. Введем одномерный процесс $X=X\{t\}$ и отобразим его в двумерное фазовое пространство $[dX/dt, X]$. В качестве $X\{t\}$

можно представить, например, процесс образования отходов нити при вязании трикотажных изделий. Остановим внимание на двух в принципе возможных случаях распределения точек в фазовом пространстве, представленных на рисунке 2.4. Внутренний квадрат соответствует области технологически допустимых значений параметра X .

На рисунке 2.4 а) фазовые точки распределены равномерно в области возможных значений. Поэтому процесс по отношению к области технологически допустимых значений будет выглядеть как неустойчивый. Значения фазовых переменных в области технологически допустимых значений не являются более вероятными, чем вне ее. Поэтому процесс $X(t)$ будет иметь тенденцию к выходу за пределы границ интервала допустимых отклонений.

Совершенно иная ситуация представлена на рисунке 2.4 б). Здесь область технологически допустимых значений охватывает область сгущения фазовых точек. Оно будет действовать как притягивающее множество состояний. Понятно, что в таком случае процесс $X(t)$ будет как бы притягиваться к области технологически допустимых значений, т. е. к стандартным значениям параметров. Такое притягивающее множество состояний в теории катастроф получило название аттрактор [57].

Отметим, что аттрактор может включать всего одну точку. Если аттрактор расположен в области технологически допустимых значений, то производственный процесс окажется устойчивым. При несовпадении аттрактора с этой областью процесс будет обнаруживать признаки неустойчивости.

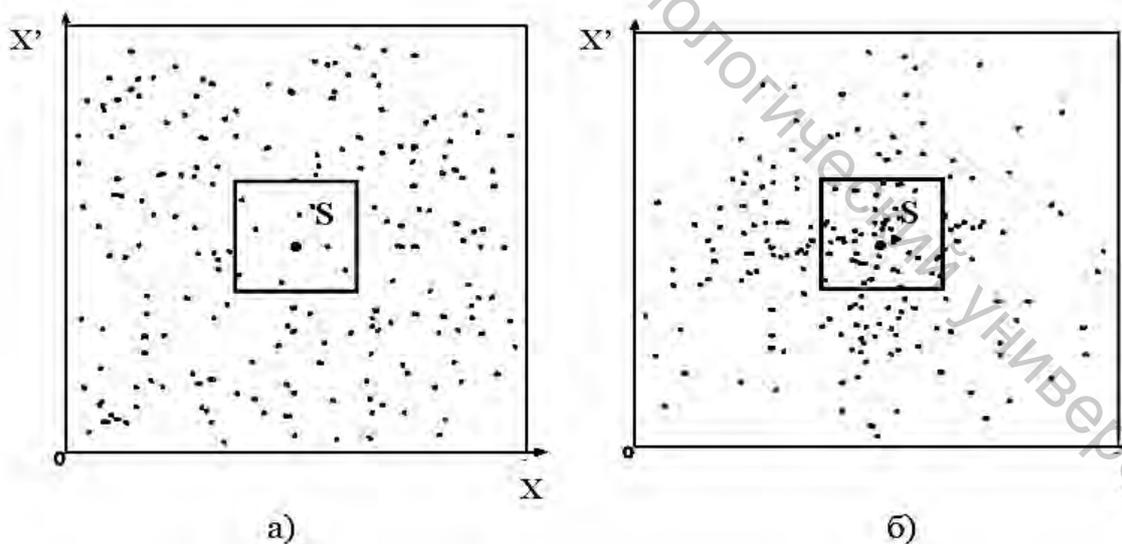


Рисунок 2.4 – Схематическое представление процесса в фазовом пространстве в виде множества фазовых точек в случаях:
 а) – отсутствия притягивающего множества состояний;
 б) – наличия такого множества

На рисунке 2.5 хорошо видно, что положение аттрактора в стороне от области технологически допустимых значений будет постоянно увлекать процесс за пределы этой области ближе к аттрактору, обуславливая наблюдаемую извне неустойчивость производственного процесса, проявляющуюся в виде стремления к соскальзыванию к аттрактору.

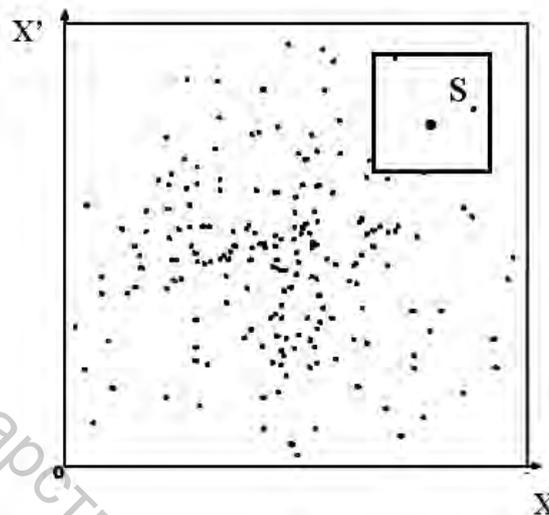


Рисунок 2.5 – Представление процесса в фазовом пространстве при несовпадении аттрактора и области технологически допустимых значений

Данный рисунок позволяет легко понять зависимость «степени» неустойчивости от «расстояния» между областью технологически допустимых значений и аттрактором, хотя такая зависимость сложнее, чем может показаться на первый взгляд.

Если аттрактор сравнительно близок к области технологически допустимых значений, то его влияние весьма существенно. Удаленный аттрактор как бы теряет силу, и в таких случаях процесс оказывается в ситуации, отображенной рисунке 2.4 а), а это соответствует уже другому типу неустойчивости производственного процесса.

Интерес представляет случай существования двух аттракторов, который может иметь место при наличии двух взаимно независимых комплексов причин, влияющих на ход процесса. Например, отходы по изделию Q_u можно представить как функцию двух «суперфакторов»:

$$Q_u = f(Q_m, Q_c), \quad (2.30)$$

где Q_m – отходы по причинам, связанным с состоянием машин (оборудования); Q_c – отходы по причинам, связанным с качеством сырья.

Налицо две взаимно независимые группы причин, вызывающих отходы на стадии вязания. А это значит, что процесс образования отхо-

дов $Q=Q(t)$ может иметь два аттрактора, достаточно разнесенных в фазовом пространстве (при значительно отличающихся средних значениях Q_m и Q_c). Траектории процесса $Q(t)$ в фазовом пространстве в этом случае будут иметь зоны резких изломов (может быть даже разрывов первого рода), которые по характеру близки к скачкообразным переходам от одного аттрактора к другому. В качестве внешнего индикатора, способного откликаться на такие изменения фазовых траекторий, можно рассматривать дисперсию $D\{Q\}$. При двух аттракторах она будет заметно увеличенной. Это соображение может объяснить причины порой чрезмерно высоких коэффициентов вариации отходов по изделию, обнаруживающиеся при статистической обработке данных в компьютерных базах данных.

Резюмируя сказанное, можно предложить следующее определение понятия устойчивости производственного процесса: производственный процесс устойчив, если он имеет аттрактор, расположенный в области технологически допустимых значений параметра или параметров процесса.

Существует одна трудность, возникающая из-за того, что положение аттрактора может измениться со временем. Поэтому требуется регулярное слежение за областью наиболее вероятных значений параметров, «привязанных» к аттрактору. Такое слежение возможно в принципе и при использовании традиционных способов анализа информации, например, путем использования оценок функций распределения значений параметра. Но и здесь таится проблема. Обычные методы построения оценок функции распределения требуют большого количества единичных данных. Но почти никогда на практике лицо, принимающее решение, не располагает необходимыми сотнями данных, к тому же еще и обладающих свойством статистической однородности. В лучшем случае он имеет немногие десятки данных, а поэтому традиционные приемы построения оценок функции распределения (например, в форме гистограмм) совершенно непригодны. Но это не самое главное. Накопление большого массива данных выполнимо, как правило, за значительные интервалы времени. Но тогда построенные оценки функции распределения фактически делают неразличимыми изменения, происходившие за более короткие временные интервалы.

Между тем на производстве важной оказывается именно такая информация, т. к. только она в состоянии обеспечить оперативность управления производственным процессом. Следовательно, если говорить о привлекательных возможностях функции распределения, то немедленно встает вопрос о том, как получить ее оценки по выборкам малого объема. На него можно ответить сразу: способы построения оценок функций распределения по выборкам малого объема сейчас уже известны. Разработанные алгоритмы позволяют строить необходимые оценки при объемах выборок, начиная с 10 единичных данных. В литературе

они получили название эстиматоров (оценщиков) [58]. Перед тем, как дать им краткую характеристику, рассмотрим трудности применения методов математической статистики при контроле технологической надежности нитей.

2.3.1 Статистический подход к описанию производственных процессов

Работа большинства технологических объектов в трикотажном производстве сопровождается интенсивными случайными возмущениями. Они вызываются многими причинами: колебаниями свойств сырья, случайными изменениями технологических параметров объекта и др. Нерегулярный, хаотический характер возмущений обеспечивает принципиальную применимость статистических методов обработки технологической информации. Однако множественность воздействующих факторов и интенсивность такого воздействия создает и трудности практического использования статистического подхода к оценке технологического процесса. Причины этого состоят в том, что величины, с которыми приходится иметь дело на практике, как правило, делят на детерминированные и случайные. При этом широко распространено заблуждение, согласно которому если некоторая величина не является детерминированной, то она может рассматриваться как случайная.

Это совершенно неверно, потому что случайность требует статистической устойчивости, то есть определенности и устойчивости функции распределения. Если такое условие по отношению к недетерминированным величинам не выполняется, то они должны рассматриваться как неопределенные, а это и есть третий тип величин.

Между тем математическая модель, описывающая производственный процесс, может содержать либо детерминированные, либо случайные величины, либо те и другие одновременно, но при нынешнем состоянии науки не может содержать неопределенных. И в то же время неопределенные величины могут характеризовать технологический объект или процесс, то есть их нельзя не учитывать. В связи с этим задача построения математического описания процесса состоит в том, чтобы неопределенные величины приближенно представить через детерминированные и случайные. Неудовлетворительное решение этой задачи, а тем более ее игнорирование – основная причина низкой эффективности математической статистики в текстильном производстве.

Вот примеры неопределенных величин, с которыми приходится иметь дело на практике. Одной из важных характеристик текстильных нитей является площадь ее поперечного сечения. Эта величина необходима для оценки реакции нити почти на все виды внешних воздействий.

Между тем вычисление этой величины возможно лишь тогда, когда известна форма поперечного сечения. Однако форма поперечного сечения в высшей степени неопределенна. И в исследовательской и в производственной практике сечение ее принимают круговым, то есть заменяют неопределенную величину, которой является площадь поперечного сечения, детерминированной. Неопределенной величиной является и плотность многофиламентной нити или пряжи. Здесь также делаются некоторые допущения, и неопределенная величина плотности заменяется детерминированной величиной средней плотности [59].

Такая очень неопределенная характеристика, как неровнота нити, уже на уровне дефиниций объявляется либо периодической (то есть детерминированной), либо случайной. Здесь неопределенные величины исключаются уже на уровне построения системы исходных понятий или определений.

В других случаях неопределенность, присущая величинам, снимается путем введения каких-то дополнительных условий, выполнение которых обязательно при проведении испытаний текстильных материалов. Так обстоит дело при испытании нитей, где неопределенность исходной формы нити, заправляемой в зажимы разрывной машины, подавляется приложением предварительной нагрузки, нормированной соответствующими ТНПА. Неопределенность оценки линейной плотности нити по оценкам фактического ее значения нейтрализуется приведением ее к кондиционной. Неопределенность состояния пряжи, а значит и числа кручений на единицу длины, крутка которой оценивается на круткомере, при раскручивании в одну сторону, подавляется закручиванием ее в другую сторону до достижения нулевого значения укрутки (метод удвоенного кручения). Примеры можно было приводить и еще, но важно другое: наблюдая рассеяние данных, получаемых при измерении того или иного показателя, мы должны отдавать себе отчет в том, что во многих случаях – это проявление не только погрешностей, но и проявление действия неопределенных параметров или неопределенных составляющих в изменениях наблюдаемых величин.

Какими же свойствами должен обладать массив первичных данных, чтобы величину, представляемую им, можно было оценить статистическими методами? Одним из важнейших представляется статистическая однородность. Оценку статистической однородности массива значений технологического параметра обычно связывают с двумя операциями:

- анализом существования резко выделяющихся значений;
- анализом существования различающихся групп внутри массива.

Известно много критериев обнаружения резко отклоняющихся значений случайной величины или выбросов. В общем случае эти критерии могут быть отнесены либо к классу параметрических, либо к классу непараметрических. И те и другие широко применяются на прак-

тике. И вместе с тем именно опыт практики позволяет выделить как обязательные некоторые методические моменты, обуславливающие выбор критерия. На наш взгляд это, прежде всего, одновременное использование двух и более разных критериев. Причем группа используемых критериев должна содержать как параметрические, так и непараметрические критерии. Нами широко применялась пара: критерий Колмогорова-Смирнова и критерий Грабса [60].

Техника применения критериев обнаружения выбросов состояла в вычислении для каждого элемента массива вероятности того, что он – выброс. Заключение о наличии выброса производилось оператором путем сравнения вычисленного значения вероятности с заранее введенным пороговым значением.

Для правильной оценки протекания процесса или состояния объекта выборочным методом важным является вопрос о распределении контролируемого показателя в пределах выборки. Вид выборочных оценок функции распределения значения контролируемого показателя определяет алгоритмы обработки данных выборки. Например, если оценка функции распределения по выборочным данным оказывается унимодальной, симметричной относительно середины интервала возможных значений показателя, то решение об управляющем воздействии может быть одним. Однако оно может оказаться совсем другим, если выборочная оценка функции распределения окажется бимодальной, причем резко выраженной. В первом случае обычные формулы математической статистики для вычисления центральных моментов распределения применять можно, во втором – нельзя. В первом случае единственная мода совпадает со средним значением, во втором существуют две моды, удаленные от середины интервала. Совершенно очевидно, что во втором случае применение обычных формул статистики к выборке с таким распределением неизбежно приведет к результату, не имеющему отношения к реальному состоянию технологического процесса или объекта.

Рассматривая второй случай, легко заключить, что массив первичных данных состоит из двух групп, статистические характеристики которых существенно различаются. Именно это обстоятельство и затрудняет статистическую обработку первичных данных, хотя оценка функции распределения и способна обнаружить скрытые группы в массиве выборочных данных.

Резюмируя сказанное, можно отметить еще и некоторые концептуальные моменты, связанные с общими представлениями о природе числовых массивов, обладающих статистическими свойствами. Числовые массивы, образованные данными, характеризующими состояние группы однотипных технологических объектов, всегда подчинены тенденции к кластеризации, то есть к образованию в той или иной мере обособленных групп.

В самом деле, представим, что информационный массив содержит данные об отходах, например, чулочных изделий, вырабатываемых на зоне из 10 автоматов. Предположим, что распределение отходов на каждом чулочном автомате унимодально. Если допустить, что все автоматы идентичны, то распределение величины отходов в массиве их, выработанных на всех 10 автоматах, будет также унимодальным. Однако в действительности оно унимодально не потому, что мода в этом случае одна, а в силу того, что при условии идентичности технологических объектов 10 мод сливаются в одну – наблюдаемую.

Представим теперь, что чулочные автоматы теряют идентичность. В таком случае по мере нарастания различий в массиве изделий, вырабатываемых на всей зоне, то есть на всех 10 автоматах, начнется образование кластеров – обособленных частных совокупностей. При этом, вообще говоря, начнут расходиться и моды. Если мы имеем математический аппарат, чувствительный к этим событиям, то указанные эффекты мы заметим сразу, буквально в момент зарождения.

При отсутствии такого аппарата мы не заметим расхождения мод, а значит, не заметим перехода функции распределения от унимодальности к полимодальности. Мы в состоянии увидеть лишь возникновение как бы вторичных эффектов. Например, при обработке массива после того как моды разошлись, мы обнаружим возрастание оценки дисперсии, размытость и неопределенный вид функции распределения. Этот пример со всей ясностью свидетельствует о том, что деление массива исходных данных на группы не следует рассматривать только как факт, обнаруживаемый эмпирически. Возникновение таких групп есть проявление неравномерности изменения во времени параметров состояния каждого объекта или процесса, информация о которых образует совокупность массивов данных, подвергаемых математической обработке.

Таким образом, деление общей совокупности данных на частные является объективной особенностью и, вообще говоря, имеет место всегда. А отсюда следует, что статистика малых выборок способна привлечь внимание уже не только по соображениям оперативности слежения или ресурсосбережения, но что самое главное – как способ наблюдения за, своего рода, «спектром» возможных форм течения производственного процесса, и функция распределения здесь может играть ключевую роль.

2.3.2 Анализ технологической надежности нитей с использованием эстиматоров функций распределения

Особенностью эстиматоров (оценщиков) функций распределения является возможность построения оценки этой функции по выборке

объемом начиная с 10 единичных данных. При таких объемах данных оценка функций распределения с применением традиционных алгоритмов невозможна. Одним из эстиматоров, хорошо зарекомендовавшим себя на практике, оказался эстиматор Парзена [61], который также начинает работать при объеме выборки, равном 10. В отличие от традиционной гистограммы парзеновская оценка представляет собой плавную кривую и приближает плотность вероятностного распределения значений изучаемого параметра, как правило, лучше, чем гистограмма.

Принципиальный момент в применении названного эстиматора состоит в том, что даже тогда, когда формируемая им оценка функции распределения оказывается искаженной, остается все же возможным получение ответа на вопрос о наличии и числе мод анализируемого распределения, так как положение и число мод не столь критичны по отношению к форме графика парзеновской оценки функции распределения. Число мод выступает как индикатор присутствия в массиве исходных данных независимых групп, которые, будучи перемешанными, образуют массив, внутренняя неоднородность которого оказывается скрытой.

Применение эстиматоров имеет и диагностическое значение при слежении за состоянием процесса. Разладка его будет отражаться в возникновении неоднородностей в массиве выборочных данных, появлении групп, каждая из которых будет «привязана» к своей моде. Таким образом, эстиматоры позволяют распознавать в «размытом» случайности массиве выборочных данных (к тому же весьма небольшого объема) образ истинной функции распределения, являющейся, как известно, наиболее информативной характеристикой случайной величины. С ее же помощью можно оценить однородность массива исходных данных, а также выявить наиболее вероятные значения параметра (или параметров) производственного процесса.

Рассмотрим принципиальные возможности функции распределения как индикатора тенденций в развитии производственного процесса. Введем параметр X , характеризующий процесс, и плотность распределения $p(x)$ на интервале его возможных значений $[X_{min}; X_{max}]$. Каков желательный вид кривой $p(x)$ на таком интервале? Если для параметра X установлено стандартное значение, близкое к среднему его значению, то максимум кривой $p(x)$ должен соответствовать середине этого интервала (а в идеале с ней совпадать). Иными словами, среднее и модальное значения при указанном виде кривой $p(x)$ – одно и то же. А это значит, что притягивающее множество значений X концентрируется вблизи середины интервала $[X_{min}; X_{max}]$. Смещение модального значения X_{mod} в любую от нее сторону будет свидетельствовать о возрастании риска разладки. Подобная точка зрения общеизвестна. Вместе с тем появляются дополнительные аспекты, если ввести еще одну характеристику функции распределения – амплитуду моды A_m , численно равную макси-

мальному значению плотности распределения $p(x)$. Можно использовать ее как количественную меру устойчивости производственного процесса. В частности, не представляется лишним утверждение о том, что чем больше A_m , тем устойчивей будет процесс, т. к. рост амплитуды моды вполне естественно связать с усилением действия соответствующего аттрактора. В таком случае, если при смещении моды происходит падение A_m , то оно указывает на снижение устойчивости процесса, т. к. вероятности пребывания параметра X вблизи стандартного значения и на удалении от него сближаются, т. е. разность этих вероятностей смещается в сторону нуля. При переходе плотности $p(x)$ в состояние $p(x)=Const$ процесс оказывается неустойчивым ввиду равновероятности всех возможных значений X . Но это лишь одна из форм неустойчивости процесса. Другая форма возникает при переходе $p(x)$ к бимодальности.

Рисунок 2.6 демонстрирует возможную эволюцию функции распределения при потере производственным процессом устойчивости.

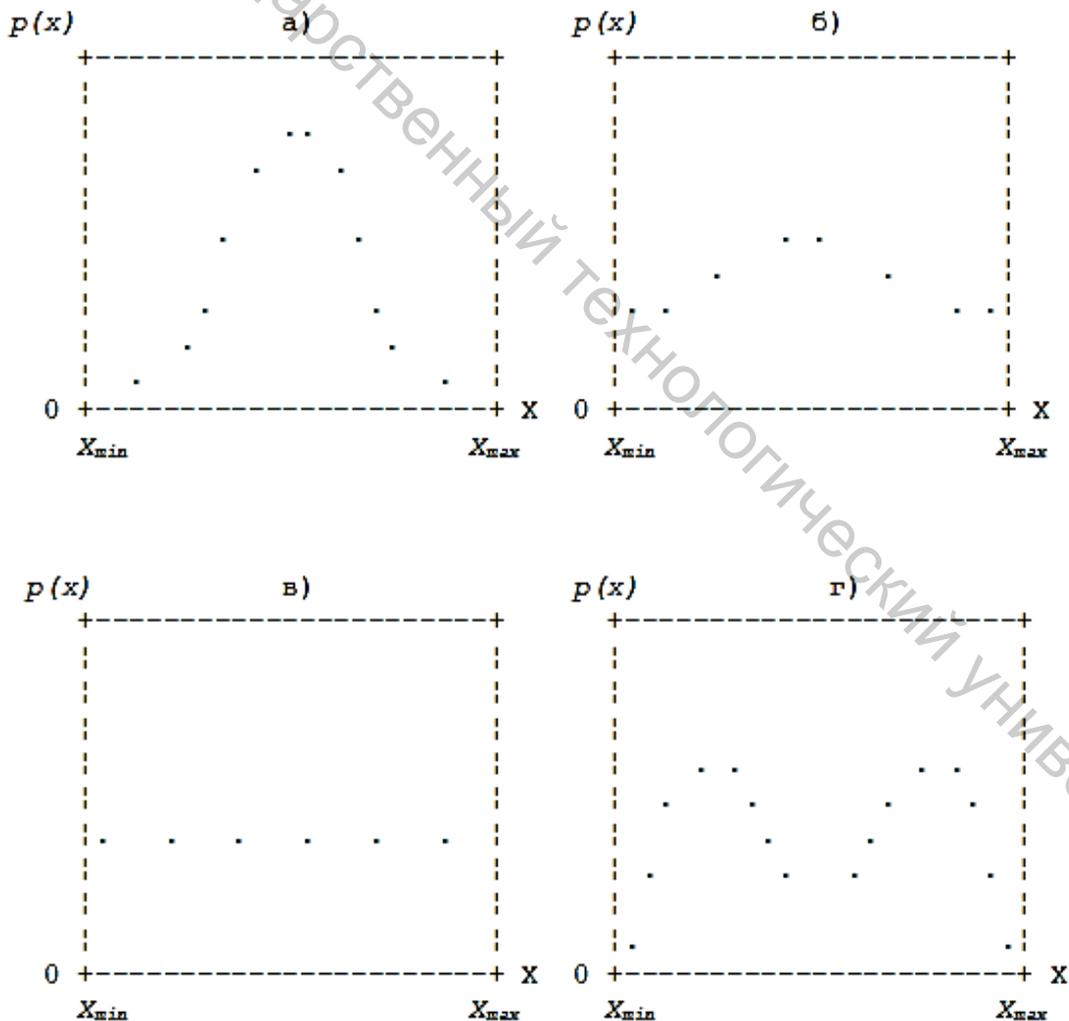


Рисунок 2.6 – Эволюция функции распределения параметра при потере устойчивости производственного процесса

Рисунок наглядно показывает, что снижение вероятности стандартного значения эквивалентно снижению устойчивости процесса, т. к. вероятность разладки процесса, т. е. выхода параметра за пределы интервала допустимых отклонений, начинает возрастать относительно вероятности стандартного значения. Существует немало параметров производственного процесса таких, для которых желательный вид функций их распределения отличается левой асимметрией.

Совершенно очевидно, что все параметры в этой таблице имеют области предпочтительных значений, расположенные вблизи нуля и справа от него, т. к. они существенно положительны. Поэтому интервалы их возможных значений имеют нулевую левую границу, а плотность распределения имеет моду, сдвинутую влево, т. е. левую асимметрию.

Снижение амплитуды этой моды и тем более появление второй моды, располагающейся в области правого конца интервала возможных значений, представляется вполне приемлемым критерием потери процессом устойчивости. Состояние, отображенное рисунком 2.7, в [61] названо переходной бимодальностью, и также связывается с возможностью скачкообразной потери процессом устойчивости.

Таким образом, имеются основания различать два механизма потери устойчивости производственного процесса. Один из них можно связать с уменьшением амплитуд мод функций распределения, другой – с возникновением переходной бимодальности.

Известны работы по теории устойчивости процессов, в которых показана связь явления переходной бимодальности с потерей устойчивости в форме катастроф различного вида и наличием точек, так называемых бифуркаций (ветвлений) на фазовой траектории процесса. Обширный список работ по неустойчивостям и катастрофам во многих областях приведен в [62].

Итак, характеристики функции, описывающей плотность распределения параметра на интервале его возможных значений, позволяют многое сказать о процессе в дополнение к тому, что можно увидеть по внешним проявлениям в форме смещения мод, изменения дисперсии, колебании амплитуды мод и т. п.

Сделаем теперь попытку применить описанный подход к анализу технологической надежности нити в конкретных производственных процессах. Построим оценки функции распределения некоторых интегральных параметров технологического процесса в чулочном производстве и посмотрим, какие заключения можно сделать по ним.

Первая группа исходных данных представлена в таблице 2.3.

Парзеновские оценки функций плотности распределения каждого из пяти параметров, приведенных в таблице, изображены на рисунке 2.8, отражающих ряд особенностей этих функций.

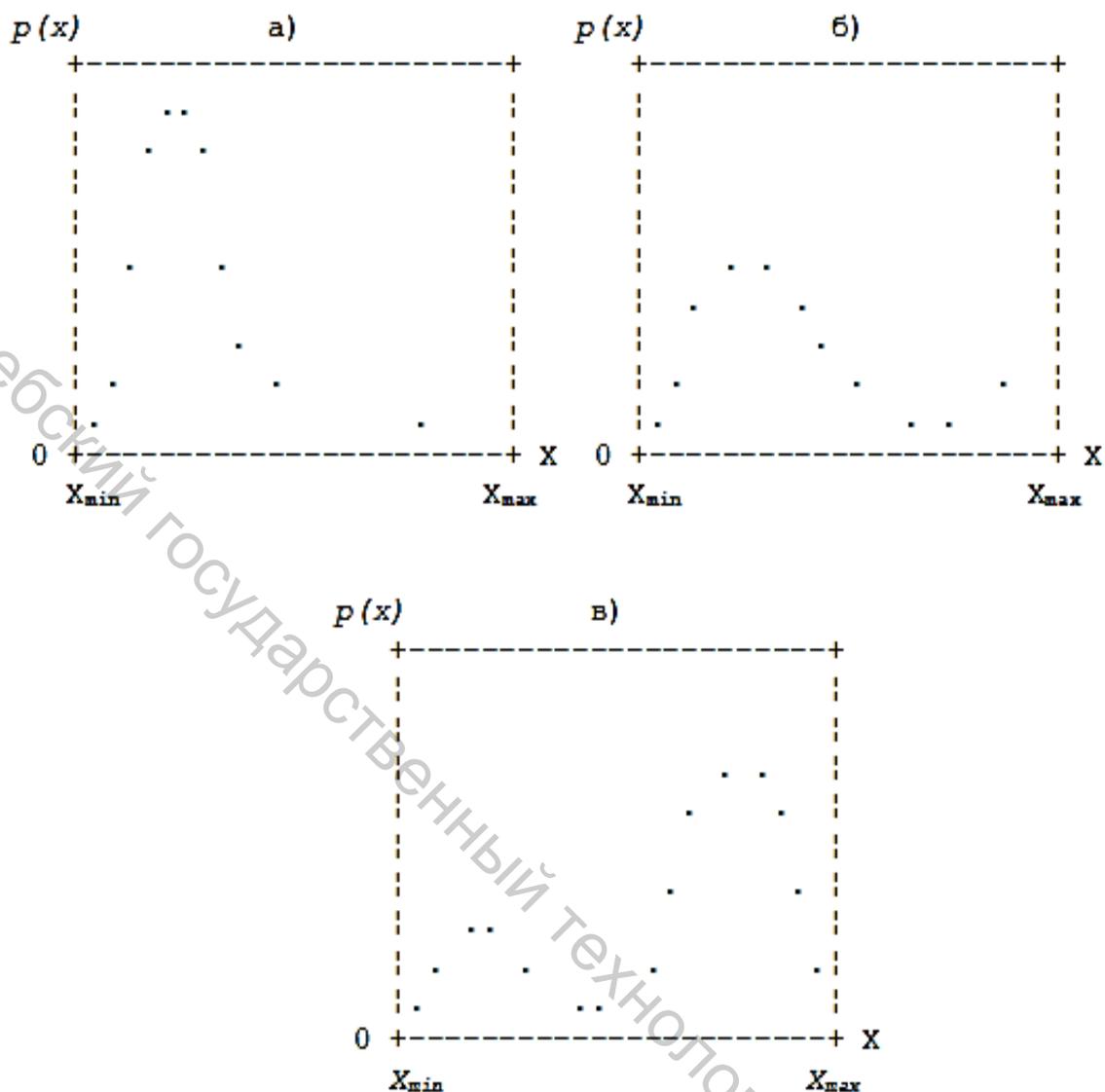


Рисунок 2.7 – Переходная бимодальность, рассматриваемая как одна из форм потери устойчивости производственного процесса при исчезновении моды на левом полуинтервале возможных значений параметра и появлении моды на правом полуинтервале

Рассмотрим в первую очередь те особенности, которые можно связать с устойчивостью процесса, описываемого соответствующим параметром таблицы 2.3.

Среди них важнейшими являются число мод и их положение на интервале возможных значений каждого из введенных параметров выбранного для рассмотрения производственного процесса выработки изделий на круглоочучных автоматах конкретного типа.

По данным таблицы построены парзеновские оценки функций распределения каждого из пяти параметров, характеризующих указанный процесс.

Таблица 2.3 – Параметры технологического процесса выработки изделий на круглочулочных автоматах из хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 18,5 текс х 2

Отходы (%)			Обрывность, (случ.), N	Кол-во дефектов на 100 км нити, X ₁
Q _и	Q _м	Q _с		
2,529	12,950	15,840	3	1,871
1,562	7,897	9,460	3	1,156
1,324	4,666	5,990	4	0,979
0,618	6,347	6,966	2	0,538
0,286	4,022	4,308	2	0,529
0,554	3,983	4,537	3	0,768
1,375	3,822	5,197	2	0,969
2,270	13,080	15,350	4	1,493
1,242	2,987	4,229	4	1,414
2,016	9,232	11,240	7	1,865
0,710	4,337	5,048	2	0,630
1,939	7,692	9,631	5	1,477
0,595	6,190	6,785	2	0,550
0,619	2,882	3,502	1	0,625
0,677	2,919	3,597	5	0,582

Общий вид графиков (рис. 2.8) указывает на значительные различия между отражениями хода процесса в разных характеризующих его параметрах. И это не противоречит представлениям о производственном процессе, как о процессе многоплановом, со многими степенями свободы.

На графиках по оси ординат отложены значения функции спектральной плотности, вычисленные по алгоритму Парзена. Числовые значения, указанные вдоль оси абсцисс, соответствуют минимальным и максимальным значениям в соответствующих столбцах таблицы 2.3.

Графики отражают спектр производственного процесса выработки изделий указанного вида. Спектр в том смысле, что рассматриваемый производственный процесс представляет собой пакет «элементарных» процессов, каждый из которых соответствует изменению во времени одного параметра. Таблица 2.3 представляет выбранный для рассмотрения процесс как суперпозицию пяти процессов. Оценки функций распределения свидетельствуют о далеко не одинаковом характере их вероятностного поведения.

Так распределение отходов по сырью имеет одну ярко выраженную моду, расположенную на левом конце интервала возможных значений Q_с и достаточно обозначенную вторую моду, приходящуюся на середину этого интервала.

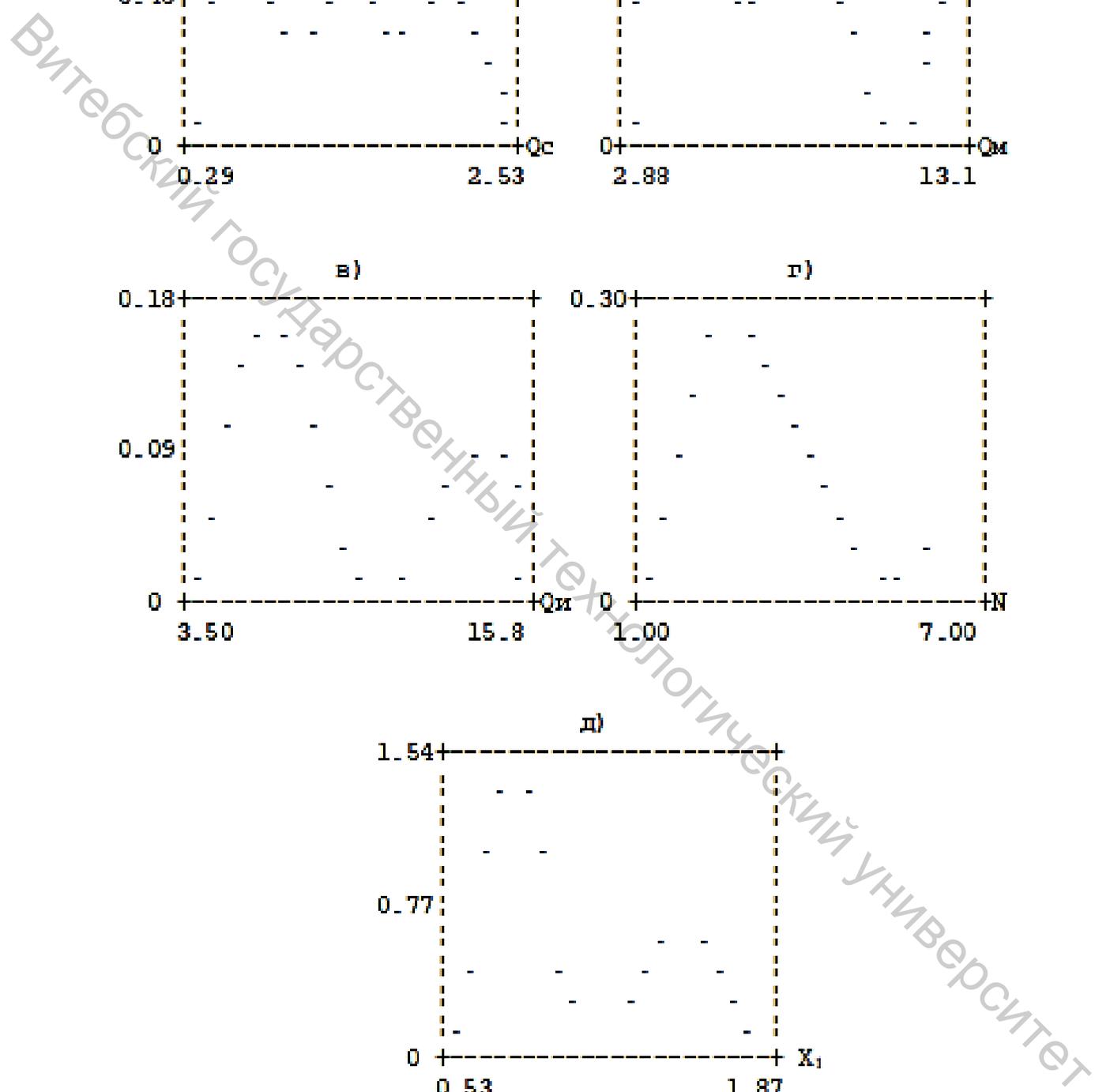


Рисунок 2.8 – Графики парзеновских оценок функций спектральной плотности параметров Q_c , Q_m , Q_w , N и X_1 (табл. 2.3)

Таблица 2.4 – Характеристики парzenовских оценок функций распределения параметров (рис. 2.8)

Наименование характеристик	Q_c (%)			Q_m (%)			Q_s (%)			N		X_I			
	Порядковые номера мод														
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	
Мода	0,7	1,4	2,0	4,0	7,1	13	4,7	–	16	2,1	–	0,6	1,5	–	
Амплитуда моды	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	–	0,1	0,3	–	1,6	0,9	–	
Размах значений показателя	2,24			10,2			12,3			6		1,34			
Среднее квадр. отклонение	0,71			3,39			4,04			1,6		0,49			

Оценка функции распределения величины Q_m имеет две моды, т. е. является бимодальной. Однако амплитуда первой моды Q_c в пять раз больше амплитуды первой моды Q_m . Следовательно, можно полагать, что процесс образования отходов под действием причин, связанных с сырьем, более устойчив, чем аналогичный процесс, обусловленный причинами, связанными с техническим состоянием машин. Это подтверждается при сравнении и размахов и средних квадратических отклонений, представленных в таблице 2.4.

Важно отметить, что распределение отходов по изделию Q_u имеет амплитуду моды такую же, как и величина отходов, обусловленных техническим состоянием машин Q_m .

Распределение величины обрывности имеет одну моду, расположенную вблизи левого конца интервала возможных значений и имеющую низкую амплитуду. Это хорошо объясняет достаточно высокий разброс ввиду слабой выраженности аттрактора.

Обращает на себя внимание бимодальность распределения числа дефектов X_I при высоких значениях амплитуд мод (самых высоких в рассматриваемом производственном процессе).

В целом рассмотренный производственный процесс может быть оценен как устойчивый. Однако низкие амплитуды мод параметров Q_m , Q_u , N и бимодальность по параметру X_I вынуждают сделать заключение о достаточно высоком риске его разладки, которая может произойти и внезапно.

Рассмотрим другой производственный процесс, связанный с переработкой синтетической нити, исходные данные представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Показатели технологического процесса выработки изделий на чулочных автоматах из текстильной нити «эластик» линейной плотности 3.3 текс

Отходы (%)			Обрывность, (случ.), N	Кол-во дефектов на 100 км нити, X_1
Q_u	Q_m	Q_c		
0,852	0,571	1,542	11	0,214
0,256	0,770	1,026	10	0,153
0,810	1,923	2,734	5	0,220
0,930	0,589	1,520	1	0,242
4,518	0,984	5,502	2	1,182
0,800	2,845	3,645	10	0,222
0,532	0,119	0,651	7	0,135
0,433	0,126	0,812	1	0,114
0,303	0,452	0,756	4	0,080
0,936	1,916	2,852	10	0,227
0,711	1,895	2,606	7	0,166
2,969	0,644	3,837	6	0,780
2,089	1,000	3,189	5	0,478
2,411	0,061	2,474	4	0,551

На рисунке 2.9 изображены парзеновские оценки плотности распределения параметров Q_c , Q_m , Q_u , N и X_1 . На графиках по оси ординат отложены значения функции спектральной плотности, вычисленные по алгоритму Парзена. Числовые значения, указанные вдоль оси абсцисс, соответствуют минимальным и максимальным значениям в соответствующих столбцах таблицы 2.5.

Этот процесс в сравнении с рассмотренным выше отличается меньшей устойчивостью по параметрам Q_m и Q_u . По параметру N – обрывности процесс оказывается неустойчивым и не только из-за наличия трех мод с близкими друг к другу амплитудами, но главным образом низкого значения этих амплитуд. Распределение Q_m имеет две далеко отстоящие друг от друга моды с достаточно высокими амплитудами, что может рассматриваться как свидетельство существования двух групп причин, связанных с техническим состоянием машин, заметно отличающимся по механизму своего влияния на процесс образования отходов.

По числу дефектов анализируемый производственный процесс обнаруживает большую устойчивость, чем рассмотренный выше. Значение амплитуды моды этого параметра почти в два раза превосходит соответствующее значение в распределении на рисунок 2.9 д). Обратим внимание, что и размах значений X_1 в данном случае оказывается меньшим.

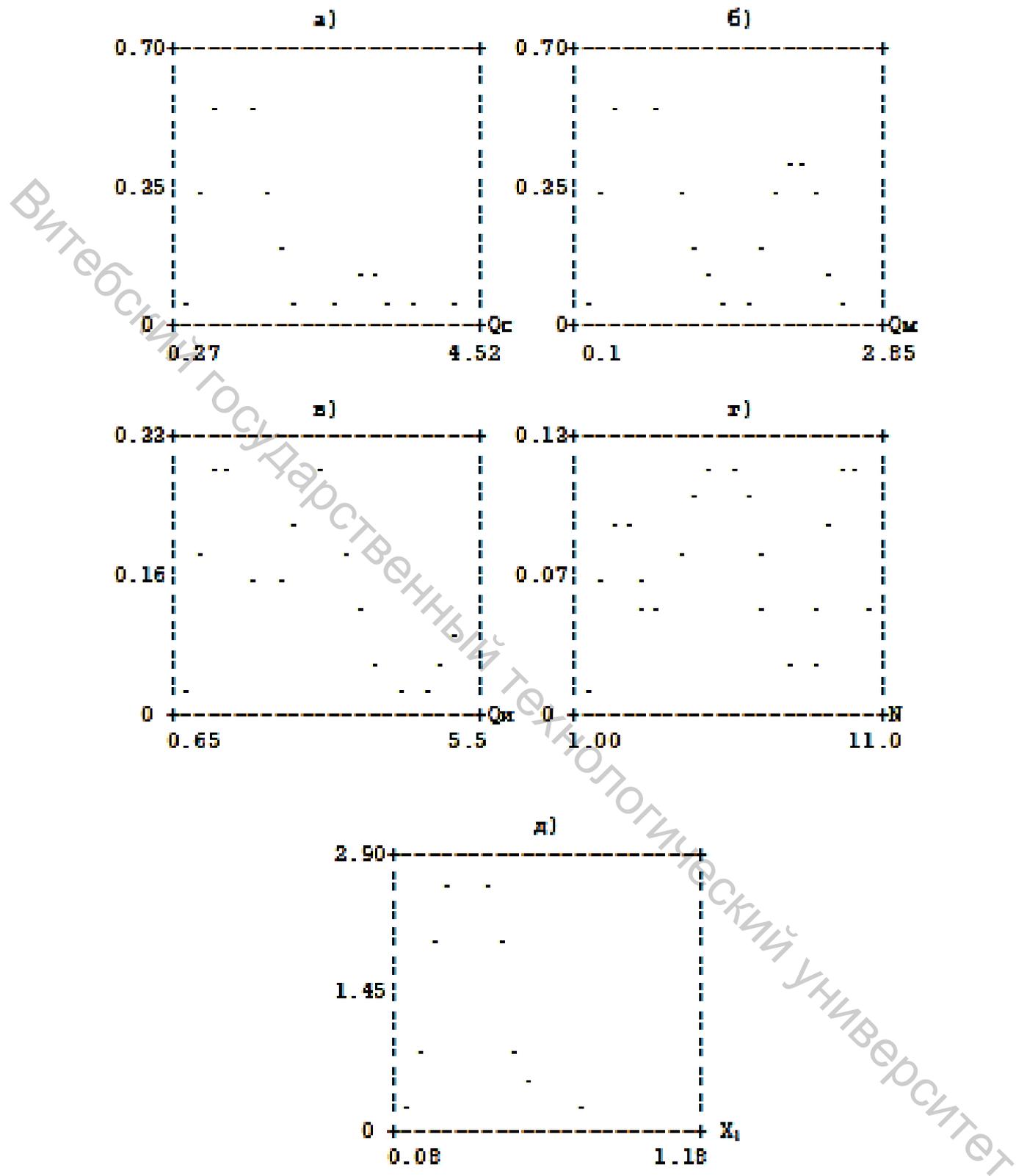


Рисунок 2.9 – Графики парзеновских оценок функций спектральной плотности параметров Q_c , Q_m , Q_w , N и X_1 (табл. 2.5)

Таблица 2.6 – Характеристики парzenовских оценок функций распределения параметров (рис. 2.9)

Наименование характеристик	Q_c (%)			Q_m (%)			Q_s (%)			N			X_I		
	Порядковые номера мод														
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Мода	0,8	–	–	0,7	1,9	–	0,9	2,7	5,5	1,4	4,8	10	0,2	–	
Амплитуда моды	0,7	–	–	0,7	0,4	–	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	2,9	–	
Размах значений показателя	4,26			2,78			4,85			10			1,1		

Рассмотренные примеры показывают, что анализ производственного процесса с использованием представлений об устойчивости позволяют выявить такие детали процесса, которые обычно не принимаются во внимание или ускользают из поля зрения.

В настоящее время в ведущих технических и технологических областях глубоко осознано то, что устойчивость является первичным и наиболее общим качеством любой системы, а значит и процесса, если его рассматривать как последовательную смену ее состояний. Именно это положение выдвинуто как одно из важнейших в фундаментальном энциклопедическом справочнике [54]. Там же подчеркнута: устойчивость может объединять различные свойства, такие как прочность, стойкость к воздействию внешних факторов, надежность. Сюда же относится и такое качество, широко используемое для характеристики процессов трикотажного производства, как стабильность. Следовательно, устойчивость – более общее свойство, чем стабильность. Иногда выделяют даже информационную устойчивость [54].

Качество нитей в общем случае отображается совокупностью свойств, полезных с точки зрения ее целевого назначения. Состав такой совокупности может меняться во времени. Поэтому оценку качества нитей целесообразно вести по наиболее общим характеристикам, которые являются функциями этих совокупностей. В этом отношении устойчивость процесса получения трикотажных изделий – отражение, в частности, технологической надежности нитей.

Можно еще отметить, что технологическая надежность нити определяет эффективность работы вязального оборудования, под которой понимается степень соответствия реального результата требуемому. Например, если для трикотажной машины требуемый результат – переработка всей наличной массы сырья, то реальный результат, выражаемый массой полученных изделий, будет отличаться от требуемого на величину отходов.

В монографии доц., к. т. н. Науменко А. А. [10] рассмотрены технологические системы в трикотажном производстве с позиций теорий устойчивости и катастроф. Автором предложена математическая модель технологической системы и получены значения ее параметров, при которых ее состояние будет устойчивым. С использованием теории катастроф установлено, что в фазовом пространстве определенной размерности состояние технологической системы будет устойчивым, если фазовая точка, соответствующая этому состоянию, будет лежать на поверхности равновесия, что свидетельствует о множественности состояний равновесия. В работе [10] показано, что особенности устойчивого поведения технологической системы обусловлены наличием и типами ее аттрактора. При его расщеплении в системе возникают условия для скачкообразных изменений состояния системы. Выявлен вид аттракторов технологических систем, описываемых полиномиальными моделями первого и второго порядков.

Приведенные соображения указывают на то, что оценка процессов трикотажного производства с позиций устойчивости открывает новые направления научного анализа этой одной из технически сложнейших сфер человеческой деятельности.

ГЛАВА 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ НИТЕЙ

В системах менеджмента качества промышленных предприятий существенное значение имеют процессы входного контроля качества сырья, принятия управленческих решений на основании полученных результатов. Современное трикотажное производство отличается быстрым ростом объемов перерабатываемого сырья и производительности оборудования, увеличением разнообразия материалов и изделий из них, предъявляет к лабораториям входного контроля качества сырья ряд новых требований. Одного лишь простого выполнения ими традиционной задачи – систематического контроля соответствия свойств текстильных материалов требованиям ТНПА – оказывается уже недостаточно. Как первостепенная ставится задача оперативного получения достоверной информации о показателях качества исходных продуктов, так как только в этом случае возможно её использование с целью дальнейшего управления производственным процессом.

Вместе с тем для обеспечения выпуска продукции в соответствии с нормативными требованиями невозможно обойтись без контроля технологических режимов изготовления продукции на отдельных этапах её производства. Именно там можно получить и оперативно использовать ту информацию о свойствах текстильных полупродуктов и продуктов, применение которой обеспечит эффективность менеджмента качества продукции. Следовательно, существенно повышаются требования к объему и содержанию информационного ресурса, создаваемого в условиях лабораторий входного контроля. От пространственно локализованных подразделений они переходят к разветвленной структуре, связанной со всей производственной системой.

Подобная значимость деятельности лабораторий диктует требования к оснащению процессов контроля качества сырья компьютерной техникой с современным программным обеспечением, парком современного испытательного оборудования. Применения вычислительной техники обеспечивает значительное расширение измерительных возможностей уже существующих приборов и испытательного оборудования, которыми в настоящее время оснащены лаборатории входного контроля. При измерении с помощью приборов, агрегированных со средствами вычислительной техники, исчезает различие между непосредственно измеряемыми показателями, и теми показателями, значения которых вычисляются по результатам измерения функционально связанных с ними параметров.

Например, регистрация кривой нагрузка-удлинение при испытании текстильной нити на типовой разрывной машине РМ-3, с помощью

возможностей компьютерной техники, позволяет одновременно получить не только оценки разрывной нагрузки и удлинения, но и ряда не стандартизованных характеристик, например, модуля жёсткости на растяжение, коэффициента полноты диаграммы, работы разрыва, которые несомненно полезны технологам.

Кроме того, возможности компьютерной техники позволяют улучшить и метрологические характеристики приборов и испытательного оборудования. С помощью программируемых средств вычислительной техники легко, например, линеаризовать нелинейные характеристики приборов и датчиков, учесть систематические и грубые погрешности, а значит повысить точность измерений.

Использование средств вычислительной техники предоставляет условия для совершенствования организационной структуры лабораторий и прежде всего для устранения информационной обособленности их в производственной структуре предприятия. При этом численность обслуживающего персонала лабораторий может быть минимизирована. В условиях, когда операции испытательного цикла, приём и обработка информации о результатах испытаний, регистрация их в установленной форме выполняются автоматически, производительность труда работников лабораторий возрастает во много раз. За то время, которое ранее затрачивалось на оценку стандартизованных показателей качества нитей, на компьютеризированных средствах измерений возможно выполнить целый ряд дополнительных испытаний нитей по определению не стандартизованных показателей их качества.

Перспективы организационного и технического развития лабораторий входного контроля не могут быть связаны с сохранением их традиционного вида пространственно и информационно обособленных технологических подразделений, подчас получающих и предоставляющих сведения о показателях качества материалов с большим опозданием, нередко сводящим к нулю их информативность, а значит и обесценивающим усилия их работников.

Автоматизация лабораторий входного контроля создаёт те условия, в которых они могут приобрести статус неформального и более того – ключевого участника управления качеством выпускаемой продукции. Автоматизация оценки показателей качества продукции текстильного производства – это уже современность, а не будущее.

В целом задача приведения в соответствие с современными требованиями лабораторий может быть решена либо их переоснащением современной измерительной техникой, либо расширением измерительных возможностей имеющегося испытательного оборудования. Первый путь связан с большими финансовыми затратами, так как в этом случае речь может идти лишь о закупке дорогостоящей техники. Более бюджетным может быть выбор второго пути расширения измерительных возможностей имеющегося испытательного оборудования.

В системах стандартного контроля, а также в научных исследованиях в области текстильной и легкой промышленности наибольшее распространение получили механические испытания текстильных материалов. Высокая информативность таких испытаний обуславливает устойчивую тенденцию к их использованию. В частности, в производственных лабораториях при испытаниях на растяжение решаются три основные задачи, непосредственно связанные с повышением качества продукции [32]:

- оценка свойств исходных материалов для разработки новых изделий и оптимизация их параметров;
- выявление и отбраковка дефектных партий материала или готовых изделий в условиях производства;
- прогнозирование свойств конечного продукта или способности исходного сырья к технологической переработке.

При решении этих вопросов на первый план выходит автоматизация процесса испытаний, что в частности находит свое отражение в многочисленных публикациях на эту тему, особенно по использованию возможностей компьютерной техники.

Привлечение вычислительной техники является важной составной частью общей задачи – автоматизации испытаний в целом. Максимальный эффект здесь может быть достигнут при комплексном подходе и оптимальном сочетании процессов автоматизации собственно технологических функций испытаний (сокращение затрат физического труда) и управляюще-вычислительной функции (сокращение затрат умственного труда). Раздельное решение этих задач дает лишь частичный эффект.

Сегодня многие крупные производители испытательного оборудования предлагают своим клиентам автоматизированные и роботизированные лаборатории, как говорится, «под ключ». При этом стоимость такого оснащения достаточно высока.

Однако активна практика автоматизации действующего в лабораториях оборудования, его частичная модернизация, что обходится значительно меньшими затратами. При этом существует несколько возможных направлений применения вычислительной техники при автоматизации измерительных средств [43]:

- компьютер используется только для обработки данных, занесенных вручную в протокол испытаний;
- испытательное оборудование оснащается системой электронных датчиков, обеспечивающих регистрацию измеренных значений параметров непосредственно для переноса информации в компьютер для последующей обработки;
- одна (или несколько) единица испытательного оборудования непосредственно сопряжена с компьютером, которая в этом случае может выполнять также функции управления.

Автоматизация лабораторий означает качественный скачок в техническом развитии средств измерений, так как она обуславливает не простое суммирование имеющихся возможностей, а значительное расширение объема и качества получаемой информации.

Учитывая высокую стоимость современного испытательного оборудования, необходимость его квалифицированного обслуживания, внедрение и использование компьютеризированных измерительных приборов и машин, и особенно автоматизированных лабораторий, должно базироваться на всестороннем технико-экономическом обосновании. В целом же развитие и совершенствование испытательной техники должно носить комплексный характер и охватывать сложное и сравнительно простое испытательное оборудование с учетом реальных потребностей и возможностей.

Оценивая в целом перспективы развития испытательных машин и устройств в области трикотажного производства, следует отметить, что они связаны с развитием и совершенствованием средств измерений не только в техническом отношении. Принципиальное значение имеет поиск новых методов испытаний, в первую очередь бесконтактных и неразрушающих, позволяющих создавать качественно новую измерительную технику, отличающуюся высокой производительностью, способностью работать без прямого участия человека, применимую для непрерывного контроля параметров технологических процессов.

3.1 Методы и средства определения показателей, используемых для оценки технологической надежности нитей

Как уже отмечалось, компактность и огромные вычислительные возможности компьютерной техники способствуют развитию методов и созданию средств оценки качества различных материалов, в том числе и текстильных нитей.

Первой проблемой в области оценки качества, в решении которой может помочь компьютерная техника и информационные технологии, является проблема обработки и анализа результатов, полученных в процессе оценки качества. Непрерывный производственный процесс требует быстрой реакции на сложившуюся ситуацию, принятие решения по переработке сырья в короткие сроки или, например, по небольшому числу показателей (малые выборки). И при всей сложности ситуации требования к достоверности результатов и выводов высоки. Кроме того, в условиях современных систем менеджмента качества предприятий результаты оценки качества сырьевых материалов на стадии входного контроля создают информационную основу для принятия решений о переработке нитей, для формирования политики предприятия в работе с поставщика-

ми и другими важными производственными вопросами.

Необходимо отметить, что возможности современного программного обеспечения позволяют использовать при оценке качества нитей более сложные и одновременно гораздо более информативные статистические характеристики. Такое расширение возможностей позволяет комбинировать элементы статистики, теории вероятностей и других областей знаний для получения максимально полных и достоверных результатов оценки качества нитей. Возможно сочетание статистической обработки данных с моделированием. В частности, моделируя функцию распределения, программное обеспечение позволяет быстро построить наиболее достоверные и надежные оценки показателей даже по сравнительно небольшим объемам данных при достаточно высокой статистической надежности [64].

Расширение измерительных возможностей имеющегося в распоряжении лабораторий предприятий испытательного оборудования позволяет не только избежать существенных материальных затрат, но и:

- увеличить количество измеряемых испытательным оборудованием показателей;
- увеличить точность измерений;
- объединить парк испытательного оборудования и приборов в лабораторную «сеть»;
- сократить время на проведение испытаний и обработку результатов;
- уменьшить аппаратные затраты при заданных технических возможностях устройства за счет того, что основные функции прибора реализуются программным способом.

Все эти направления реализуются в современной испытательной технике.

Усилия специалистов в области оценки качества сегодня направлены на осуществление оперативного контроля качественных показателей сырья и готовых изделий посредством создания отечественных быстродействующих приборов с устройствами для обработки результатов испытаний и измерительных систем, дающих возможность одновременно получать комплекс показателей. Это обеспечивает более широкие возможности управления качеством продукции и позволяет быстрее устранить причины, вызывавшие ухудшение качества [65].

В настоящее время разработки в области компьютерных методов оценки качества в большинстве своем представляют собой систему типа «прибор + компьютер».

За рубежом в области лабораторного контроля качества широко используется комбинация измерительных приборов с вычислительными устройствами в сочетании с преобразователем сигналов. Существует два вида подобных систем. Одна из них характеризуется прямой связью прибора с вычислительным устройством, работа которого заранее про-

граммируется. Такое устройство применяют при обслуживании нескольких работающих одновременно приборов. Если нецелесообразно сразу производить обсчет результатов (например, при большой длительности одного измерения), используют систему, в которой осуществляется лишь регистрация результатов измерения, а затем они подвергаются обсчету на отдельной установке.

В Венгрии создана система Autolab автоматического управления приборами, сбора, переработки, регистрации и хранения информации при испытании текстильных материалов. В этой системе данные измерений передаются первичными измерительными преобразователями непосредственно в компьютер, где подвергаются обработке по ранее разработанной программе. Система включает в себя микропроцессоры, монитор с клавиатурным управлением, блок памяти, питающее устройство и несколько терминальных устройств. Программное обеспечение адаптировано и «сопровождает» более 100 методов испытаний волокон, полуфабрикатов прядильного производства, плоских текстильных изделий, а также гигиенических свойств текстильных материалов.

Система Autolab рассчитывает среднее значение показателей, дисперсию, абсолютное и относительное значения доверительного интервала при нескольких испытаниях, проводит разбивку показателей на классы и построение гистограмм. Результаты испытаний печатаются в виде протокола, в котором фиксируются метод испытания, характеристика образца, основные данные, измеренные и рассчитанные значения показателей [66].

Представляет интерес информационно-измерительная система для оценки качества пряжи Uster Labdata фирмы Zellweger Uster (Швейцария). Система включает в себя следующие приборы: Uster Autosorter, который определяет среднюю, минимальную и максимальную линейную плотность пряжи, а также коэффициент вариации по линейной плотности; Uster Tester, определяющий неравномерность пряжи, число утоненных и утолщенных участков и узелков на 1 км пряжи, а также статистические характеристики этих показателей; Uster Klassimat, который рассортировывает пороки на 9 классов; разрывную машину Uster Tensorapid, позволяющую устанавливать абсолютную и относительную разрывные нагрузки, работу разрыва, а также статистические характеристики этих показателей [67].

Фирма Superba (Франция) разработала конструкцию автоматического испытателя пряжи Jarntester модели RTF. Прибор полностью автоматизирован и управляется с помощью компьютера. Цель создания такого прибора – повышение качества готовой продукции, благодаря своевременному и быстрому получению результатов испытаний пряжи при существенном снижении трудозатрат и значительном сокращении парка лабораторного оборудования для выполнения испытаний. Прибор позволяет определять в автоматическом режиме следующие параметры:

- линейную плотность одиночной или крученой пряжи;
- крутку пряжи, полученную по любой системе прядения, включая безверетенные способы производства;
- неравномерность пряжи (спектральный анализ); разрывную нагрузку и удлинение при разрыве одиночной или крученой пряжи с максимальным усилием разрыва до 8000 сН и максимальным удлинением до 40 %.

Результаты испытаний автоматически обрабатываются с помощью компьютера и распечатываются в виде протокола, в котором обозначаются: линейная плотность, неравномерность пряжи, пороки (тонкие и толстые места, непсы), разрывная нагрузка, удлинение.

С помощью прибора можно воспроизводить отдельные результаты, повторять некоторые испытания, менять программу испытаний в зависимости от производственной необходимости. Прибор может работать при отсутствии оператора. Время испытаний сокращено вследствие одновременности их проведения. Результаты каждого испытания статистически обрабатываются. Фактически единственной ручной операцией является загрузка питающих шпуляриков паковками с пряжей, предназначенной для испытаний [66].

Анализ деятельности приборостроительных фирм показал, что оптимальной формой сбора и формирования данных в лаборатории является использование систем автоматического управления приборами, сбора, обработки, регистрации и хранения информации при испытании текстильных материалов [68].

Предприятия легкой промышленности в настоящее время не имеют возможности своевременно получать полную информацию для управления качеством продукции из-за крайне ограниченного количества и номенклатуры автоматизированных приборов с микропроцессорами. Разработка новых и совершенствование имеющихся в распоряжении предприятия отечественных автоматизированных приборов со стандартным выходом интегрированных с ПЭВМ позволит решить проблему информационного обеспечения производства [69, 70].

Таким образом, наиболее современной тенденцией развития методов и средств оценки качества является применение компьютерной техники и ее возможностей.

3.2 Автоматизация испытательного цикла маятниковых разрывных машин

К числу показателей физико-механических свойств нитей, входящих в состав математических моделей критериев технологической

надежности нити, относятся показатели прочностных и деформационных свойств нити. Показатели этих свойств также тесно коррелированы и с параметрами технологической переработки. Как отмечалось ранее, прочностные свойства определяют способность нитей противостоять разрушению или необратимому изменению её состояния под действием внешних нагрузок. Деформационные свойства характеризуют развитие деформации в пробе испытываемой нити под действием приложенной силы. Эти свойства отражают реакцию нити на действие нагрузки.

В условиях современного производства определение показателей механических свойств нити осуществляется с помощью маятниковых разрывных машин. Между тем измерительные возможности, так же как уровень автоматизации испытательного цикла стандартных разрывных машин, невысоки. Так из всего процесса растяжения проб до разрыва на них фиксируется лишь два предельных показателя – разрывная нагрузка и разрывное удлинение. Информация о поведении пробы испытываемого материала до момента разрыва не учитывается, хотя по кривым растяжения, используя известные методики, можно было бы рассчитать комплекс показателей механических свойств. Кроме того, на этих машинах считывание значений разрывной нагрузки и разрывного удлинения осуществляется визуально со шкал. После проведения испытания выполняется математико-статистическая обработка результатов, а затем их документирование. На последние две операции обслуживающий персонал затрачивает до 50 % рабочего времени. Отсюда понятно, сколь важной и оправданной оказывается задача расширения измерительных возможностей маятниковых разрывных машин.

Очевидно, что как расширение измерительных возможностей, разрывных машин, так и повышение их производительности может быть достигнуто при более полной автоматизации операций испытательного цикла и, прежде всего, съёма информации в процессе растяжения проб до разрыва, математической обработки результатов и их документировании в заданной форме. Эффективное решение этих задач может быть получено путём агрегирования разрывных машин с компьютером, то есть создания измерительно-вычислительных комплексов. Примером такого комплекса может служить измерительно-вычислительный комплекс для оценки показателей прочностных и деформационных свойств нитей [71, 72]. Состав и технические характеристики данного комплекса приведены в приложении Б.

Важнейшими элементами сопряжения любых технических объектов с компьютером являются датчики измеряемых параметров. На разрывных машинах к таким параметрам относятся – усилие, возникающее в испытываемой пробе, и соответствующее значение деформации. Автоматическую регистрацию этих величин на маятниковых разрывных машинах можно обеспечить путём установки соответствующих датчиков.

Усилие, возникающее в пробе в процессе её растяжения, обуслов-

лено отклонением маятника и оценивается величиной угла этого отклонения. Следовательно, регистрация усилия может быть сведена к регистрации углового перемещения маятника. Практически эту задачу можно решить, применив преобразователь угловых перемещений типа ВЕ-178-А5 [73], техническая характеристика которого приведена в приложении В. В измерительно-вычислительном комплексе преобразователь угловых перемещений устанавливается на разрывной машине так, чтобы ось качания маятника силоизмерителя была соосна с его валиком (приложение Г). Установка преобразователя на разрывной машине РМ-3 представлена на рисунке 3.1.

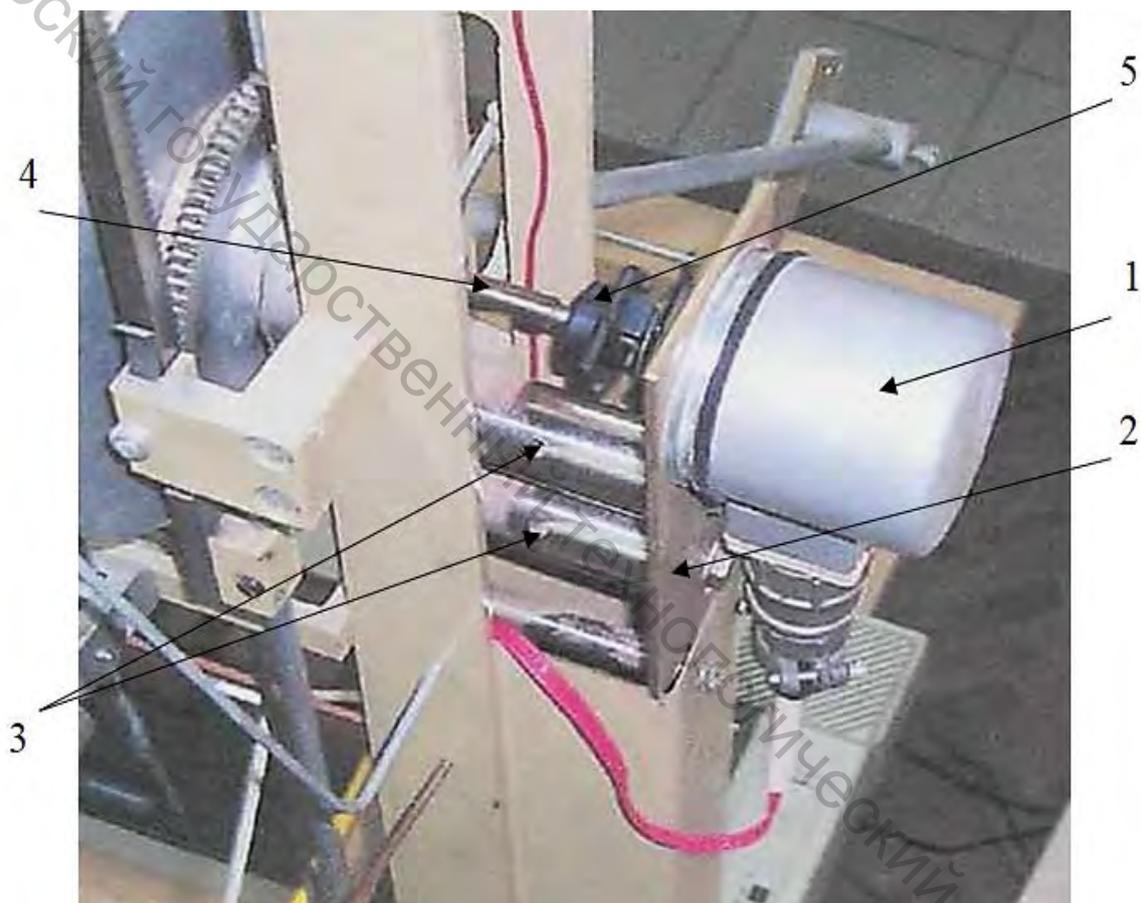


Рисунок 3.1 – Установка преобразователя ВЕ-178А5 на разрывной машине РМ-3 (измерительно-вычислительный комплекс):

- 1 – преобразователь; 2 – опорная платформа; 3 – стойки;
- 4 – валик сопряжения; 5 – соединительная муфта

Преобразователь 1 крепится двумя винтами к опорной платформе 2, установленной на двух стойках 3, ввинченных в вертикальную несущую стойку разрывной машины. Для передачи вращения маятника силоизмерителя валу преобразователя вводится промежуточный валок сопряжения 4. Один конец этого валика жестко связывается с валком маятника. Второй конец валика сопряжения соединяется с валком пре-

образователя через муфту 5, входящую в комплект преобразователя. Муфта обеспечивает компенсацию несоосности валика сопряжения и валика преобразователя. Крепление опорной платформы преобразователя к стойкам также обеспечивает возможность настройки соосности валов преобразователя и маятника силоизмерителя.

На разрывной машине, входящей в состав комплекса, устанавливается преобразователь угловых перемещений типа ВЕ-178-А5, преобразующий величину угла поворота маятника разрывной машины в сигналы U_1 и U_2 , представляющие собой последовательности прямоугольных электрических импульсов. Последовательность, соответствующая сигналу U_2 , сдвинута во времени относительно последовательности, соответствующей сигналу U_1 , на четверть периода повторения прямоугольных импульсов так, как изображено на рисунке 3.2.

Основной характеристикой преобразователя ВЕ-178-А5 является дискретность z , равная числу прямоугольных импульсов в каждой последовательности сигналов U_1 или U_2 . Между углом поворота φ валика преобразователя и числом η комбинаций уровней сигналов U_1 и U_2 на двух его выходах существует соотношение: $\varphi = k\eta$. Коэффициент пропорциональности $k = 360/(4z)$, где $4z$ – число комбинаций уровней сигналов U_1 и U_2 , генерируемых преобразователем за один оборот его валика.

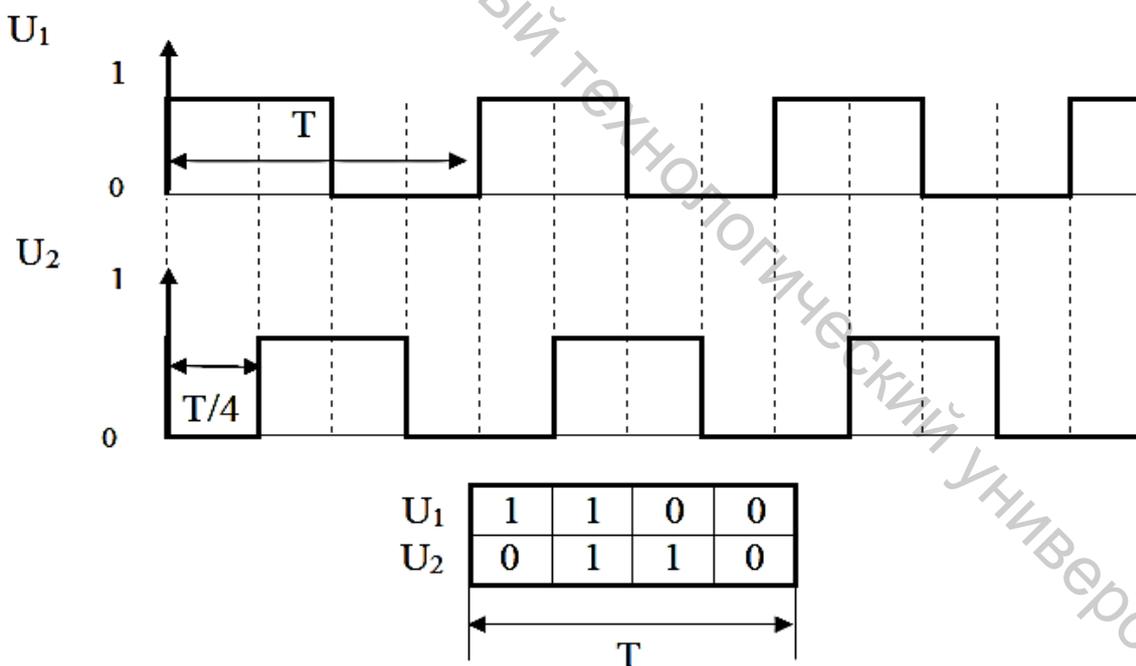


Рисунок 3.2 – Диаграммы сигналов U_1 и U_2 на выходах преобразователя ВЕ-178-А5 и таблица соотношений уровней этих сигналов на периоде их повторения T

Следовательно, k – это величина углового разрешения преобразователя, т. е. величина регистрируемого минимального угла поворота его

валика. Величина k используется в качестве критерия выбора преобразователя с необходимой дискретностью.

Регистрация величины удлинения пробы в процесс её растяжения осуществляется аппаратно-программным способом. По определению разрывное удлинение пробы текстильного материала, испытываемого на разрывной машине, численно равно разности перемещений нижнего зажима и верхнего. Так как верхний зажим связан с маятником, то перемещение этого зажима пропорционально перемещению указательной стрелки вдоль шкалы нагрузки, иными словами, зная численное значение нагрузки, легко вычислить перемещение верхнего зажима путём умножения значения разрывной нагрузки на коэффициент, имеющий размерность единицы длины, делённой на единицу силы. Перемещение нижнего зажима микропроцессорами регистрируется с помощью устройства, представленного на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Расположение и элементы датчика перемещений нижнего зажима разрывной машины (измерительно-вычислительный комплекс):

- 1 – ходовой винт; 2 – диск; 3 – радиальные прорези;
- 4 – фотоэлектрический датчик

На ходовом винте 1, перемещающим нижний зажим разрывной машины, устанавливается диск 2, имеющий радиальные прорези 3. Край

диска с прорезями помещается в оптическом зазоре фотоэлектрического датчика 4. В качестве осветителя использован светодиод, излучающий в инфракрасном диапазоне в качестве светоприёмника – фототранзистор. Число пазов в диске выбирается исходя из уровня необходимой точности регистрации удлинения.

Оценка требуемого уровня точности выполнена следующим образом. Шаг резьбы ходового винта, обеспечивающего перемещение нижнего зажима РМ-3, равен 3 мм (за один поворот ходового винта нижний зажим перемещается на 3 мм). Таким образом, верхняя граница погрешности регистрации перемещения нижнего зажима с помощью фотоэлектрического датчика разработанной конструкции может быть определена как $\Delta S = 3/n$, где n – число пазов диска 2 (рис. 3.3). На шкале удлинений разрывной машины РМ-3 цена деления составляет 1 мм. Точность регистрации в 0,5 мм обеспечивается при $n=6$.

В состав комплекса может входить одна, две или три разрывные машины типа РМ-3 и один компьютер. Структурная схема комплекса полного состава представлена блок-схемой на рисунке 3.4.

Взаимодействие датчиков, установленных на разрывных машинах, и компьютера осуществляется через входной регистр интерфейса «ввод – вывод». В этом регистре каждой разрывной машине поставлено в соответствие пять разрядов входного регистра и один разряд выходного. Распределение сигналов по разрядам представлено в приложении Д.

На каждой разрывной машине устанавливается кнопка «Готов», которая должна быть нажата после заправки пробы в зажимы. Эта кнопка связана с формирователем сигнала готовности – R , поступающего в компьютер. Для обеспечения двух режимов разрывной машины на ней устанавливается переключатель, имеющий два положения: «Ручной» и «Автоматический». В положении «Ручной» испытания на разрывной машине проводятся без участия компьютера, т. е. разрывная машина может работать в режиме обычного ручного управления. В положении «Автоматический» кнопка «Вниз» на пульте разрывной машины блокируется и ручной пуск РМ-3 от этой кнопки становится невозможным. Пуск РМ-3 в этом случае осуществляется только по сигналу S – «Пуск», поступающему от компьютера. При этом пуск РМ-3 возможен только при условии, что кнопка «Готов» была нажата и сигнал готовности R принят компьютером.

В исходном состоянии компьютер производит последовательный опрос разрядов порта ввода, в которые поступают сигналы готовности R от каждой из трех разрывных машин (рису. 3.4). При появлении логической единицы в одном из этих разрядов компьютер выставляет сигнал пуска S , поступающий в блок управления приводом соответствующей разрывной машины. Включение привода сопровождается формированием сигнала C – контакта, являющегося ответом РМ-3 на сигнал S компьютера, и переходом разрывной машины на самоблокировку по сете-

вому питанию привода.

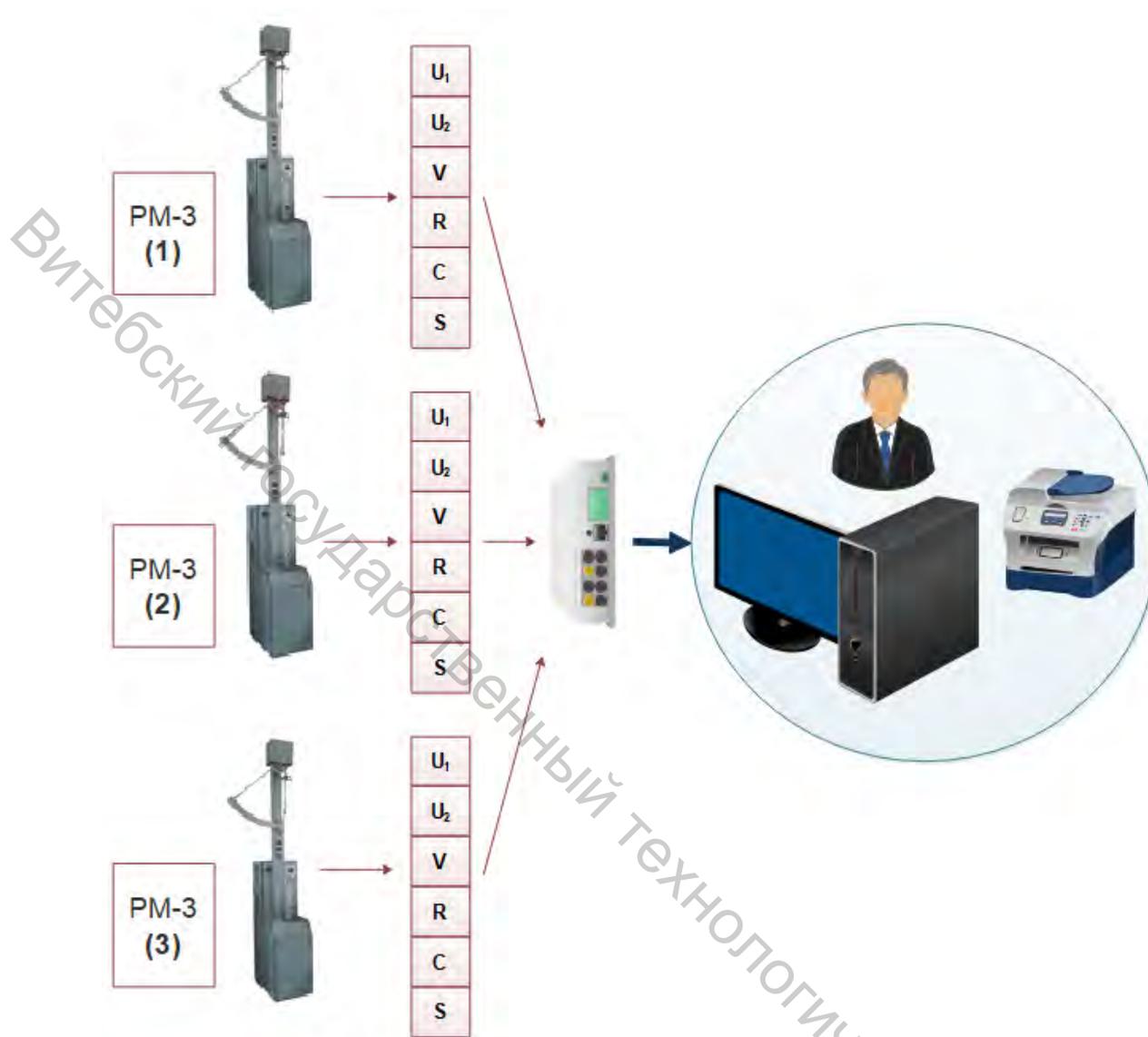


Рисунок 3.4 – Структурная схема измерительно-вычислительного комплекса: U_1 – сигнал датчика BE-178; U_2 – сигнал датчика BE-178, смещенный на четверть периода повторения по отношению к сигналу U_1 ; C – сигнал – «контакт», поступающий от РМ-3 в момент ее пуска; V – выходной сигнал фотоэлектрического датчика перемещения нижнего зажима разрывной машины; R – сигнал «Готовность»; S – сигнал «Пуск»

Этот сигнал представляется логической единицей, устанавливающейся в отведенных разрядах порта ввода-вывода на время включения привода разрывной машины. После обнаружения сигнала C компьютер начинает прием сигналов U_1 , U_2 и V , поступающих от преобразователя угловых перемещений BE-178-A5 и датчика перемещения нижнего зажима, установленных на той разрывной машине, которая завершила цикл обмена с компьютером сигналами R , S и C . Через 1–2 секунды по-

сле появления сигнала C компьютер снимает сигнал S , так как к этому времени самоблокировка по сетевому питанию привода уже успевает установиться, и сигнал S оказывается уже ненужным. Кроме того, снятие сигнала S необходимо осуществить обязательно раньше момента разрыва нити, ввиду того, что остановка привода разрывной машины выполняется автономно от собственной электрической схемы РМ-3. В момент обрыва испытываемой нити привод разрывной машины выключается, и сигнал C – контакт снимается (логическая единица заменяется логическим нулем), что прекращает прием сигналов U_1 , U_2 и V . Из нижнего положения в исходное верхнее нижний зажим РМ-3 возвращается после срабатывания блока автовозврата, встроенного в электрическую схему разрывной машины и работающего независимо от компьютера. После приема информации с одной разрывной машины компьютер переходит на прием сигналов от следующей по очереди, на которой выставлен сигнал готовности к пуску – R .

Программно-математическое обеспечение комплекса позволяет реализовать четыре режима его работы:

- ввод заданий для работы (1);
- выполнение заданий (2);
- корректировка данных (3);
- вывод протокола испытаний (4).

Работа в режиме (1) связана с вводом в компьютер данных в соответствии с запросами о следующих параметрах: дате испытаний, температуре и влажности в помещении, где проводятся испытания, виде нити и ее линейной плотности, номере партии и поставщике, числе испытаний, номере шкалы, по которой должен производиться отсчет показаний силоизмерителя, и порядковом номере разрывной машины в составе комплекса. Значения указанных параметров заносятся по каждому из трех заданий, распределение которых по трем разрывным машинам может быть любым.

В режиме (2) происходит информационный обмен между компьютером и разрывными машинами комплекса. В этом же режиме производится прием и распределение в оперативной памяти информации от датчиков, установленных на разрывных машинах, причем информационные массивы для каждой разрывной машины формируются отдельно и независимо от остальных машин. По выходу из этого режима в оперативной памяти компьютера имеются массивы данных, полученных от каждой из трех разрывных машин комплекса (если все они были заявлены в режиме (1)). При необходимости в режиме (2) можно аннулировать результаты любого числа испытаний, начиная с последнего.

Режим (3) обеспечивает визуализацию на мониторе и любую корректировку результатов испытаний вплоть до их полного удаления. После отработки ПЭВМ в режиме (3) возможен возврат в режим (2) с целью проведения дополнительных испытаний до стандартных объемов

выборки, указанных в таблице заданий для работы.

В режиме (4) может быть выполнен вывод на печать результатов испытаний в форме протоколов установленной формы. При этом протоколы могут быть выданы по отдельности для каждого задания, а также в форме общего протокола по всем заданиям.

Измерительно-вычислительный комплекс наглядно иллюстрирует, что агрегирование разрывных машин с компьютерной техникой расширяет их измерительные возможности, повышает производительность, автоматизируя прием информации в процессе испытаний, математическую ее обработку и документирование результатов.

Комплекс предназначен для оснащения лабораторий входного контроля предприятий трикотажного производства и испытательных лабораторий с целью повышения их технического и информационного уровня, а также оперативности работы. Как следует из приведенного выше описания, комплекс обладает особенностью, состоящей в том, что стандартные маятниковые разрывные машины, входящие в его состав, не подвергаются никаким техническим изменениям, а лишь дополняются узлами автоматической регистрации угла отклонения маятника и перемещения нижнего зажима. Через порты ввода-вывода компьютера разрывные машины (от одной до трех) агрегируются с ней, образуя названный комплекс, который благодаря этому обретает более высокие метрологические характеристики и намного более широкие измерительные возможности. Обслуживание комплекса осуществляется одним оператором, общий вид рабочего места которого представлен в приложении Е. Пуск разрывных машин, прием и обработка информации, а также возврат нижнего зажима в исходное (верхнее) положение выполняется автоматически. В составе подобного комплекса маятниковые разрывные машины освобождаются по меньшей мере от некоторых из своих недостатков как в метрологическом отношении, так и с позиций измерительных возможностей.

В целом измерительно-вычислительный комплекс обеспечивает:

- регистрацию кривой растяжения пробы, запись на магнитный носитель и вывод ее на устройства графического отображения;
- вычисление по кривой растяжения показателей механических свойств, таких как разрывная нагрузка – абсолютная и относительная, работа разрыва (абсолютная и удельная), показатели жесткости нити на растяжение, изгиб и др.;
- возможность оперативного исключения полученных при испытании резко отклоняющихся результатов (выбросов);
- статистическую обработку показателей качества нити с вычислением любых сводных характеристик;
- вывод на печать протокола испытаний в установленной форме;
- возможность одновременного испытания нитей с различными

свойствами или нитей различных партий на каждой из разрывных машин комплекса с выдачей отдельных протоколов по каждому виду испытываемых нитей;

– возможность автоматического взаимодействия с системами управляющего, информационного и другого назначения, реализованными на компьютере.

Тенденцией развития методов и средств оценки качества нитей и информационного обеспечения производственного процесса является агрегирование компьютерной техники со средствами измерений и испытательным оборудованием, что позволяет улучшить метрологические характеристики и расширить измерительные возможности этих средств без больших затрат.

Получение показателей, необходимых для расчета технологической надежности нитей, обеспечивается путем агрегирования в измерительно-вычислительный комплекс разрывных машин РМ-3, используемых в лабораториях входного контроля предприятий и персонального компьютера.

Эффективность измерительно-вычислительного комплекса в метрологическом и информационном отношении подтверждается внедрениями разработки авторов монографии в условиях РУП «ЦНИлегпром» (г. Минск), предприятий трикотажной отрасли.

ГЛАВА 4

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ НИТЕЙ

В предыдущих главах показано, что увеличение объема информации, используемой для оценки качества нитей, ведет к повышению обоснованности решений, применяемых в отношении переработки нитей в конкретных условиях. Очевидно, что накопление информации о переработке нитей за предшествующие периоды и ее использование для заключения о возможности переработки в текущий период оправдано, но требует создания базы данных и системы ее оперативного и гибкого использования.

Как показала практика, возможности компьютерной техники являются решающим условием применения в практике трикотажного производства концепции непрерывно корректируемой технологии. Именно эти возможности позволяют проникнуть этой концепции в традиционные структуры управления, усилить возможности лиц, принимающих решения в различных технологических ситуациях [74]. Опыт показывает, что рационально организованные системы управления на базе компьютера быстро становятся неотъемлемой частью производственного процесса [75].

В этой связи практический интерес представляет создание систем информационного и аналитического назначения, которые могли бы быть применены в области оценки качества. В частности, в области оценки качества нитей с позиций их технологической надежности система такого рода будет иметь свои особенности. Рассмотренные в предыдущих главах технологические аспекты оценки качества нитей определяют структурные характеристики, особенности функционирования и содержание элементов информационно-аналитической системы.

4.1 Информационно-аналитические системы и задачи, решаемые при их применении

Обширные научные исследования, проведенные в последние годы в области промышленной информатики, привели к выработке нового подхода к структуре и оценке информационных систем. При этом многое достигнуто и на терминологическом уровне. Прежде всего, четко разделены два понятия: «данные» и «информация». Под «данными» понимаются все первичные данные, используемые для обработки, а под

«информацией» – семантическое содержание данных. Данные представляются в виде, позволяющем автоматизировать их сбор, хранение и дальнейшую обработку человеком или информационным средством. Информация получается в результате решения некоторой задачи с использованием имеющихся данных [76].

В производственном процессе наиболее важной является информация об отклонении его параметров от установленных уровней. При ее поступлении от лица, принимающего решение, требуется, как правило, оперативное вмешательство с целью предотвращения нежелательных последствий.

Для решения задач упреждения несоответствий разрабатываются так называемые информационно-сигнальные системы [77]. Они обеспечивают выдачу сообщений о возможных или уже возникших отклонениях от заданного уровня в ходе производственного процесса. Однако возможности и функции подобных систем могут быть еще шире, что дает основания для использования термина *информационно-аналитические системы* – ИАС.

Данный термин широко используется в различных областях экономики, медицины, образования, военно-промышленного комплекса и т. д. и может рассматриваться как самостоятельный и вполне сформировавшийся при современном уровне развития программных средств и компьютерной техники [78–82].

Аналогом таких систем за рубежом является достаточно обширный класс систем поддержки принятия решений. С общих позиций основными функциональными блоками информационно-аналитической системы являются:

- сбор (хранение) данных;
- моделирование (структурирование) и/или визуализация данных;
- прогнозная аналитика;
- статистический анализ.

Информационно-аналитическая система представляет собой готовый программный или аппаратно-программный инструмент, реализующий один или несколько методов обработки информации: аналитический, вероятностный, статистический, экспертный, логический, лингвистический, концептуальный (рис. 4.1). При этом вопросы разработки самих методов могут быть изъяты из ИАС частично или полностью, а оперируемые аналитиком знания должны находиться в той технологической среде, в которой производится обработка данных вышеперечисленными методами.

Данные, обрабатываемые ИАС, могут иметь самую разнообразную форму (текстовую, графическую, табличную) и природу возникновения (случайные, запланированные и т. д.), общим для них свойством будет их фиксация на материальном носителе с возможностью повторного воспроизведения и обеспечения доступа. Источники этих данных

могут быть территориально распределены, содержать неполную или противоречивую информацию, что соответственно требует разработки и эффективных современных методик и организационных форм их сбора, передачи и хранения. При проведении же аналитической работы с данными, в ИАС прежде всего требуется передача агрегированных по значимым показателям сведений.

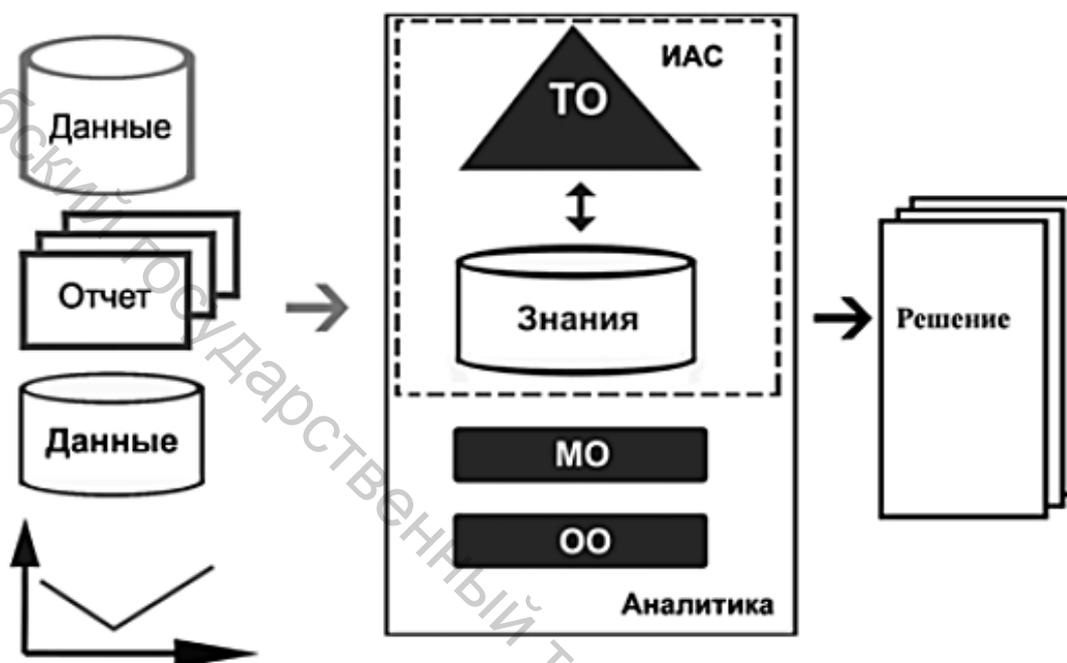


Рисунок 4.1 – Место ИАС в аналитической деятельности:

ОО – организационное обеспечение;

ТО – технологическое обеспечение;

МО – методическое обеспечение

Агрегированные данные могут храниться в ИАС в хранилищах данных или специализированных временных базах данных (БД). В результате обработки данных должны быть генерированы одно или несколько решений, которые бы могли быть представлены лицу, принимающему решение (ЛПР).

Требования к возможностям ИАС можно разделить по трём категориям: интеграция, предоставление информации и анализ [83].

Возможности ИАС в части интеграции предполагают, что все инструменты инфраструктуры системы должны использовать одинаковые подходы к реализации, включая обеспечение информационной безопасности, администрирование, объектные модели, метаданные, генераторы запросов, и иметь одинаковые интерфейсы и способы применения. Кроме того, инструменты должны обеспечивать надёжный способ поиска, сбора, хранения, повторного использования и публикации метаданных объектов, таких как измерения, иерархии, меры, показатели

производительности и объекты отчёта. Платформа ИАС должна предлагать набор программных инструментов и средств визуализации, объединённых с программным набором средств разработчика для создания аналитических приложений, интегрирования их в процессы и/или включения в другие приложения.

В части предоставления информации ИАС должна обеспечивать возможность создания отформатированных и интерактивных отчётов с параметрами или без них, с высокой степенью масштабируемости пространства (дистрибуции), а также планирование их создания.

ИАС должна позволять пользователям создавать свои запросы, без привлечения IT-специалистов. В частности, инструменты должны содержать смысловое описание достаточное, чтобы перемещаться в доступных источниках данных. В виду широкого распространения пакета программ Microsoft Office, его составные части (особенно Excel) часто выступают в качестве инструмента создания отчётности или аналитического инструмента. В этих случаях очень важно, чтобы инструменты ИАС обеспечивали интеграцию с пакетом Microsoft Office, включая поддержку форматов документа и презентации, формул, обновление данных и сводных таблиц. Обязательно обеспечение возможности применения поискового индекса для структурированных и неструктурированных данных и отображения результатов поиска в структуру измерений и мер, по которой пользователи могут легко перемещаться и исследовать данные.

Возможности ИАС в части анализа должны предоставлять пользователям возможность проведения анализа данных с помощью быстрых запросов с заданной производительностью. Пользователи должны иметь свободу перемещения по многомерным данным различными способами, а также при желании записать данные в собственные базы данных для планирования и моделирования ситуаций «что, если». Эти услуги обязательны независимо от архитектуры представления данных (реляционных или многомерных) и способа их хранения. Интерактивная визуализация в ИАС должна позволять эффективно отображать различные свойства и параметры данных, используя интерактивные рисунки и графики, вместо строк и столбцов.

Важнейшей возможностью анализа ИАС должна быть возможность классификации категориальных переменных и оценки непрерывных переменных с помощью математических алгоритмов, применение показателей приборной панели к стратегическому плану развития организации с целью обеспечения высоких значений ключевых индикаторов.

Программное обеспечение ИАС должно обеспечивать поддержку принятия решений, путём правильного выбора значений переменной на основе набора ограничений для детерминированных процессов, с учё-

том результатов имитационного моделирования для случайных процессов.

В производственной сфере существуют определенные особенности, которые необходимо учесть при формировании структуры и функциональной модели информационно-аналитической системы [78]. Соответственно для трикотажного производства необходим учет специфики технологического процесса и его организации, характеристик оборудования и условий производства готовой продукции.

Большинство задач в конкретных технологических ситуациях в трикотажном производстве не может быть решено с применением оптимизационного подхода. Это обусловлено неповторимостью ситуаций, вызываемой непостоянством условий, в которых они возникают, целесообразностью принятия нестандартных решений, возможностью принятия неожиданных решений и др. Кроме того, связи между технологическими параметрами практически всегда неустойчивы во времени. Значения параметров процесса, оптимальные сегодня, могут стать неприемлемыми завтра, т. е. в производстве требуется непрерывный анализ технологических ситуаций на основе, с одной стороны, уже имеющейся информации, а с другой – с использованием поступающего потока данных, т. е. главенствующим должен быть принцип адаптации.

Важнейшей предпосылкой принятия правильного решения в конкретной технологической ситуации является адекватная оценка самой ситуации, поэтому аналитическая компонента в работе компьютера оказывается в высшей степени желательной. Она обеспечивает:

- использование возможностей компьютерной техники для реализации машинной логики, а, следовательно, к усилению мыслительных способностей лица, принимающего решения;
- эффективный переход от первичных данных к информации, а на основе ее – к формированию управленческого решения;
- возможность быстрой оценки альтернативных решений;
- более естественную для восприятия человеком форму результатов обработки первичных данных;
- снижение уровня субъективизма при оценке информационной конкретики.

Поясним это на примере. Пусть компьютер решает задачу сравнения качества текстильной нити, полученной от двух разных поставщиков за определенный период времени. При этом для сравнения выбраны следующие показатели: отклонение кондиционной линейной плотности от номинальной, относительная разрывная нагрузка, удельная жесткость на изгиб, удельная работа разрыва и отходы, обусловленные качеством сырья. В традиционном представлении компьютер выдает результаты сравнения в форме числовой или графической. Однако используя возможности современного программного обеспечения, результат сравнения может быть получен в виде словесного заключения, выводимого

на внешние устройства компьютера. Содержание этого заключения будет, конечно, полностью определено исходными данными. Между тем оператор может отказаться от вывода информации в вышеуказанных формах, если выходное сообщение окажется, например, таким: оба поставщика выпускали текстильную нить за рассмотренный период одного качества по показателям, использованным для сравнения. Если после такого сообщения оператору (в зависимости от его опыта и квалификации) все же потребуется объяснение, то он может его получить, обратившись к соответствующему программному приложению.

Этот пример наглядно показывает, что аналитическая работа компьютера в рамках даже обычной формальной логики может качественно изменить характер взаимодействия лица, принимающего решения, и вычислительной машины. В связи со сказанным выше представляется имеющим вполне самостоятельное содержание термин «информационно-аналитическая система» (ИАС) для оценки качества текстильных нитей в условиях трикотажного производства.

В качестве основных задач, которые должна решать информационно-аналитическая система в условиях трикотажного производства, можно выделить следующие:

- анализ возникающих технологических ситуаций и выявление тенденций в их изменении;
- прогнозирование значений технологических параметров;
- формирование технологического маршрута переработки сырья;
- контроль технологических параметров с принятием соответствующих решений;
- управление производственными процессами и системами.

В свете этих задач информационно-аналитические системы в трикотажном производстве, в сущности, приближаются к системам искусственного интеллекта, созданию которых в промышленно развитых странах мира уделяется пристальное внимание [84, 85].

4.2 Общая характеристика компьютерных систем, применяемых для оценки качества текстильных материалов

Как уже отмечалось, возможности применения компьютерных систем чрезвычайно широки. Проблемной областью такого рода систем становятся различные сферы деятельности человека: экономика, бизнес, техника, промышленность, производство и многие другие. В промышленной сфере применение компьютерных систем во всех отраслях носит прогрессирующий характер. Не исключение текстильная и легкая промышленность.

Более узкими областями применения компьютерных систем в текстильной и легкой промышленности являются области оценки качества сырья и готовых изделий, управления качеством, проектирования и моделирования, принятия решений и так далее. В зависимости от решаемой задачи, компьютерные системы могут иметь свою «спецификацию» и называться: автоматизированными системами управления (АСУ), системами автоматизированного проектирования (САПР), информационно-поисковыми системами (ИПС), системами поддержки принятия решений (СППР), системами управления базами данных (СУБД) и так далее [67].

Следует отметить, что применение компьютерных систем, реализующих программное обеспечение, в практике оценки качества сырьевых материалов в текстильной и легкой промышленности достаточно широко распространено. Такие системы охватывают, как правило, область оценки качества по одному или нескольким показателям и с применением принципов математического моделирования, статистики и теории вероятности позволяют обработать данные по этим показателям.

Одним из направлений в области оценки качества текстильных материалов является разработка информационно-измерительных систем, предназначенных для получения и обработки цифровых изображений в задачах оперативного контроля качества текстильных материалов на основе создания систем компьютерного зрения.

Например, в работах проф., д.т.н. Коробова Н.А. заложены основы и сформулированы принципы разработки новых методов измерения характеристик строения текстильных материалов, базирующихся на возможностях современной компьютерной техники и информационных технологиях. Разработанные методы реализованы в виде аппаратно-программных комплексов и систем, ориентированных на использование доступной вычислительной и периферийной техники. Созданное программное обеспечение предназначено для работы в операционной среде семейства WINDOWS и не требует высокой квалификации работников.

В частности, автором разработаны методы:

- компьютерного исследования показателей протяженности текстильных волокон;
- определения характеристик строения текстильных нитей (методы обнаружения ствола ворсистой пряжи, распознавания пороков внешнего вида пряжи, измерения показателей ворсистости пряжи, показателей скрученности текстильных нитей);
- компьютерного измерения показателей строения тканых полотен (методы определения характеристик строения ткани по ее изображению, определение ворсистости ткани).

В части технической реализации разработанных методов автором реализована программная реализация процесса записи сигнала емкостного датчика линейной плотности волокнистого продукта, выполненная

с помощью средств инструментальных расширений системы MATLAB. Наряду с приемами получения цифровых сигналов реальных текстильных объектов реализована возможность их цифрового моделирования с помощью программы имитационного моделирования процесса формирования волокнистых продуктов. На базе имеющихся в системе MATLAB средств расчета и проектирования цифровых фильтров разработана методика построения непараметрических систем анализа спектра сигналов текстильных объектов [86].

Разработке теоретических и методологических принципов создания систем компьютерного зрения для автоматизации контроля качества текстильных материалов посвящен ряд работ проф., д.т.н. Новикова А. Н. В частности, им разработаны методика и алгоритмы получения оперативной информации о качестве текстильных материалов в процессе производства, проведены теоретические исследования по выбору технического обеспечения при создании систем компьютерного зрения по оценке качества текстильных материалов.

Объектами анализа качества разработанного аппаратно-программного комплекса являлись нетканые полотна и ткани. В частности, с использованием возможностей комплекса производится экспресс-контроль неровноты по линейной плотности нетканого полотна, идентификация пороков тканей и их классификация по форме и размерам, оценка качества наполнителя для перопуховых изделий.

Например, для оценки неровноты по длине и ширине нетканого полотна (по поверхностной плотности полотна) аппаратно-программный комплекс может считаться системой экспресс-оценки. При этом выбрано техническое обеспечение для реализации двух режимов работы программы: «лабораторные исследования» и «производственный контроль». Первый режим позволяет обрабатывать результаты лабораторных испытаний, оценивать показатель плотности полотна и строить графики лабораторных исследований. Второй – позволяет в процессе производства в режиме реального времени следить за изменениями поверхностной плотности полотна, строить графики исследуемой величины и рассчитывать некоторые статистические характеристики – математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации плотности по длине полотна.

Возможность оценки качества текстильных материалов, как в условиях лаборатории, так и непосредственно в производстве, – это достоинство комплекса. Однако стоит отметить, что так называемые «системы компьютерного зрения» или похожие разработки, используя возможности цифровой техники, позволяют оценивать ограниченное количество показателей качества (только те, что поддаются визуализации). Методы оценки показателей качества, реализуемые аппаратно-программным комплексом, не являются стандартизованными, отсутствуют нормированные «эталонные» для сравнения. Аналитическая составляю-

щая комплекса сводится к расчету элементарных статистических характеристик. Поэтому подобного рода системы в условиях лабораторий или производства ориентированы скорее на оперативный мониторинг и контроль качества текстильных материалов, хотя неразрушающие экспресс-методы безусловно эффективны.

Анализ предложений разработчиков систем с измерительными и аналитическими функциями позволяет говорить, что наибольшей известностью пользуются приборы и измерительные системы швейцарской фирмы Uster (Швейцария).

Служба сельскохозяйственных исследований ARS (США) спонсировала научно-исследовательские работы по разработке инструментальных методов оценки и средств для оценки качества хлопковых волокон – технологии HVI. После 1991 года производство систем HVI перешло в руки фирмы Uster (Швейцария), которая и сейчас является единственным производителем в мире таких систем.

Система Uster HVI (high volume instrument) включает средства для оценки качества хлопковых волокон, анализирует и обобщает информацию об их качестве (рис. 4.2).

Неотъемлемой частью системы является база данных, в которой накапливается информация о результатах оценки качества волокон.

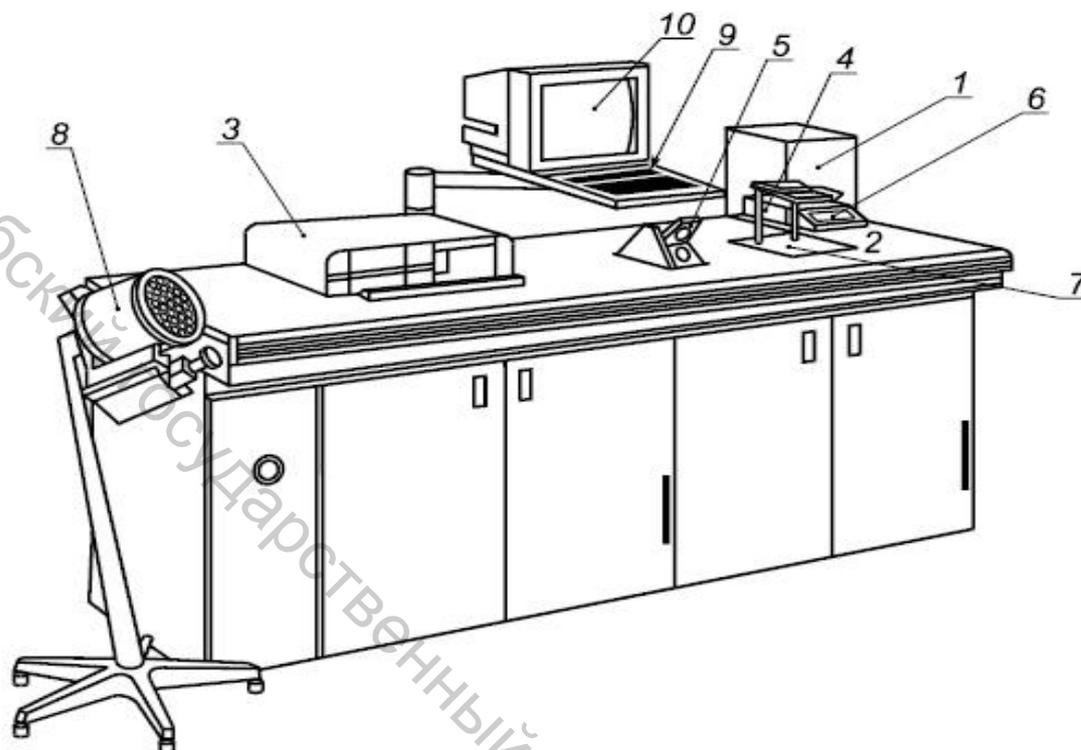
Система измеряет и рассчитывает показатели качества хлопкового волокна и его состояния по цвету и степени засоренности. Сорт по цвету и засоренности по классификации международных стандартов определяется прямым сличением со стандартным волокном. На системе HVI сорт хлопкового волокна определяют через показатели коэффициента отражения и степени желтизны.

Все вычисления в системе HVI выполняются с помощью микропроцессора по каждой идентифицированной пробе с указанием средних результатов измерений при параллельных результатах испытаний. Итоговый результат измерений показателей хлопкового волокна выдается в виде распечатки с принтера. Протокол испытаний хлопкового волокна в системах HVI представляет собой таблицу, в которой отражены свойства образцов хлопкового волокна, отобранных из каждой кипы.

Используя зависимости, отражающие степень влияния свойств волокон, измеренных измерительными средствами системы HVI, на прочность пряжи, в рамках аналитической составляющей системы прогнозируется качество производимой пряжи, а также производится оптимальный подбор кип в ставку [87].

Другим примером систем фирмы Uster с мощной аналитической составляющей, которые могут быть идентифицированы как экспертные являются интегрированные системы USTER® QUALITY EXPERT. Они обеспечивают сбор информации от испытательных приборов и онлайн мониторинг и являются одним из успешных технических решений фирмы (рис. 4.3). USTER® QUALITY EXPERT, интегрированная с различ-

ным испытательным оборудованием, анализирует результаты испытаний, данные технологического содержания и создает мощную комплексную аналитическую систему.



* микронейр – характеристика тонины и зрелости хлопкового волокна, определяемая по воздухопроницаемости пробы волокна

Рисунок 4.2 – Высокопроизводительная измерительная система хлопкового волокна типа Uster HVI: 1 – модуль микронейра*; 2 – модуль цвета/сора; 3 – модуль длины/прочности; 4 – плита для прижима пробы к поверхности окна во время измерений показателей цвета и засоренности хлопкового волокна; 5 – камера микронейра; 6 – электронные весы; 7 – световое окно для размещения пробы при измерении показателей цвета и засоренности хлопкового волокна; 8 – фибросэмплер; 9 – алфавитно-цифровая клавиатура; 10 – монитор

Центр предупреждений (Alarm center) предоставляет полный обзор выявленных несоответствий для каждого цеха и по всему производству (отдельно для каждой машины и технологического процесса), что дает возможности оперативного предупреждения потенциальных проблем качества, экономии сырья, обоснования рекомендаций по решению проблем с качеством и др.

Анализ работы (Mill analysis) предприятия позволяет производить:

- обоснованное сравнение нескольких видов материалов по выбранным параметрам;
- анализ качественных характеристик материалов по всему производству (от волокна до пряжи) или для конкретного технологического перехода за любой период времени;
- оценку эффективности удаления непсов и коротких волокон в процессе кардо- и гребнечесания.



Рисунок 4.3 – Функциональная структура USTER® QUALITY EXPERT

Кроме того, существует возможность формирования иллюстрированных отчетов по результатам анализа. С помощью фильтра для процессов или выпускаемых материалов формируется

подробное описание обнаруженных несоответствий в технологии или в выпускаемой продукции.

Прогноз переработки пряжи (Yarn prognosis) предоставляет пользователю информацию об ожидаемой стойкости к образованию пиллинга суровых тканей, ожидаемой обрывности пряжи в ткацком производстве.

Управление производством (Mill management) представляет собой комплексную базу данных, включающую:

- инвентарный реестр производства (данные о производстве в целом, по цехам, технологическим переходам и производственному оборудованию);
- реестр лабораторного оборудования (информация об имеющемся лабораторном оборудовании фирмы Uster Technologies AG);
- база данных выпускаемой продукции;
- база данных по технологическим линиям (данных об оборудовании, используемом в технологической линии, агрегатах и поточных линиях для каждого артикула пряжи).

Экспертная система USTER® *QUALITY EXPERT* обеспечивает получение всей необходимой информации для принятия организационных решений за счет сбора производственных данных и параметров качества текстильных материалов [88].

Анализ опыта использования компьютерных систем в текстильной промышленности показывает, что в области оценки качества исходных продуктов находят применение разнообразные по структуре системы. Структура компьютерной системы определяется уровнем сложности проблемной области и кругом задач, для решения которых она создается. Однако можно проследить основные характерные черты такого рода систем. К ним относятся: наличие аналитической составляющей, накопление и хранение информации (базы данных) и так далее.

4.3 Структура информационно-аналитической системы для трикотажного производства и определяющие ее факторы

Изучение специфики деятельности и области решаемых задач в лабораториях входного контроля предприятий трикотажной отрасли позволило выделить основные задачи, при решении которых целесообразно использовать информационно-аналитическую систему для оценки качества нитей в трикотажном производстве [89, 90]. К таким задачам относятся:

- формирование и редактирование базы данных, характеризующих производственный процесс переработки нитей;

- проведение сравнительного анализа качества нитей, получаемых от различных поставщиков или получаемых от одного поставщика в течение заданных интервалов времени;
- прогнозирование технологической надежности нитей, поступающих на предприятие, применительно к конкретным типам трикотажного оборудования;
- выбор технологического маршрута переработки нитей.



Рисунок 4.4 – Общая структура информационно-аналитической системы

Определение проблемной области и круга задач позволяет определить структуру и уровень сложности разрабатываемой системы. Общая схема структуры информационно-аналитической системы выглядит достаточно просто (рис. 4.4) и предопределяется уже самим названием системы.

Для определения уровня сложности ИАС использовалась классификация, существующая для интеллектуальных информационных систем [92]. Она предусматривает классификацию по видам взаимодействия пользователя с системой (интерфейса). По типу интерфейса различают четыре вида систем: с неуправляемым, жестко запрограммированным и гибким сценарием, а также интеллектуальным интерфейсом (рис. 4.5).

Тип и качество интерфейса имеет очень большое значение. Система должна реализовывать диалоговый режим, удобный пользователю: сопровождать выводы пояснениями, отражать последовательность действий при вычислениях, быть понятной пользователю.

Таким образом, если определить место информационно-аналитической системы в классификации (рис. 4.5), то она займет промежуточное положение между второй и третьей категориями:

– как система с запрограммированным сценарием ИАС дает пользователю возможность выбора в определенных точках диалога (например, выбор модели при прогнозировании, выбор показателей для сравнения и другие);

– кроме того, выбор в диалоге с системой пользователь осуществляет почти в 50 % случаев – это характеристика системы с гибким сценарием.

Общую схему структуры информационно-аналитической системы для оценки качества нитей в трикотажном производстве, представленную на рисунке 4.4, можно более подробно детализировать в соответствии с задачами, которые необходимо решить, и представить в виде схемы, изображенной на рисунке 4.6.

Рассмотрим подробнее организацию функциональных моделей блоков, составляющих разработанную ИАС.

Блок «*Редактирование базы данных*» реализуется функциональной моделью, которая позволяет вводить и хранить данные, характеризующие производственный процесс переработки нитей, осуществлять поиск и коррекцию этих данных, формировать справочные данные по запросу пользователя. Ввод, хранение и корректировка данных являются традиционными задачами, решаемыми при работе с базой данных. Режим «Поиск» позволяет найти в базе данных нужную строку и внести в нее необходимые коррективы. Формирование справочных данных по запросу осуществляется в режиме «Выборка», путем выбора строк, признаки которых указываются предварительно.

Возможен также выбор нитей, поступивших после установленной даты, нитей, имеющих заданные показатели качества не ниже или не выше нормативных и т. п.

По окончании выборки данные выводятся на устройство отображения в установленной форме. Эти данные могут также редактироваться по усмотрению оператора.

Блок «*Анализ качества пряжи и нитей*» позволяет решить следующие задачи:

- формирование справки о составе базы данных;
- сравнительная оценка качества (технологической надежности) сырья от одного поставщика за заданные интервалы времени;
- сравнение качества (технологической надежности) сырья от двух поставщиков.

Справка о составе базы данных содержит сведения о видах нитей, имеющихся в базе, соответствующих поставщиках и числе партий нитей каждого вида, поступивших от каждого поставщика.



➤ Неуправляемый сценарий	предполагает взаимодействие пользователя и ИИС в рамках некоторого диалогового режима (чаще всего в виде директив) – <i>создайте, введите, задайте</i> и т.д.
➤ Жестко запрограммированный сценарий	определяется самой системой, а пользователь получает свободу выбора лишь в определенных точках диалога – <i>некоторые блоки системы позволяют выбирать и пользователю</i>
➤ Гибкий сценарий	позволяет пользователю создать собственный механизм взаимодействия с ИИС или скорректировать имеющийся в системе
➤ Интеллектуальный интерфейс	взаимодействие пользователя и ИИС происходит на ограниченном естественном языке предметной области с применением множества оконных меню – <i>максимальный выбор возможностей, имитирует общение двух специалистов</i>

Рисунок 4.5 – Классификация интеллектуальных информационных систем по типу интерфейса

Сравнительный анализ качества сырья предваряет выбор показателей, с учетом которых он будет проводиться. Кроме этого, вводится нормированная система коэффициентов весомости, отображающих значимость каждого из введенных показателей.

ИАС делает заключение о сравнительном качестве сырья не только при введенной оператором или принятой компьютером системе весовых коэффициентов, но и проводит сравнение качества нитей при значениях весовых коэффициентов, отличающихся от заданной на некоторую величину.

Эта величина определяется либо уровнем доверительной вероятности при использовании статистического подхода, либо вводится автоматически или оператором из других соображений.

Цель такого приема – в оценке степени влияния колебаний значений «весовых» коэффициентов на содержание итогового заключения о качестве сырья. Интерфейс режима «Сравнение поставщиков» ИАС представлен в приложении Ж.

Иллюстрационный пример:

Постановка задачи : сравнить качество нити «эластик» структуры 3,3 текс × 1, поставлявшихся на предприятие поставщиками №1 и №2.

При решении поставленной задачи на первом этапе необходимо выбрать показатели качества нити, по которым будет проводиться сравнение. ИАС дает возможность выбрать до 10 таких показателей. При их выборе необходимо руководствоваться общими целями сравнительного анализа и сведениями о наличии данных в базе системы. Так, для решения поставленной задачи выбраны следующие показатели качества нити:

- отклонение кондиционной линейной плотности от номинальной T_k/T_n (%);
- относительная разрывная нагрузка (сН/текс);
- относительное разрывное удлинение (%);
- удельная работа разрыва ((Н×мм)/г);
- показатель жесткости на растяжение (сН/мм);
- коэффициент вариации по линейной плотности (%);
- отходы, образование которых обусловлено качеством сырья (%).

Группа показателей для сравнения выбирается непосредственно оператором и может быть откорректирована в любой момент работы режима сравнения путем возврата к интерфейсу, изображенному на рисунке Ж.2 (приложение Ж).

После выбора показателей для сравнения интерфейс ИАС имеет вид, представленный на рисунке 4.7.

Далее реализуется программа сравнительного анализа, в результате которой ИАС дает заключение о качестве нитей двух поставщиков (рис. 4.8, 4.9).

На рисунке 4.9 представлен интерфейс ИАС с результатами сравнения качества нитей по условиям поставленной задачи.

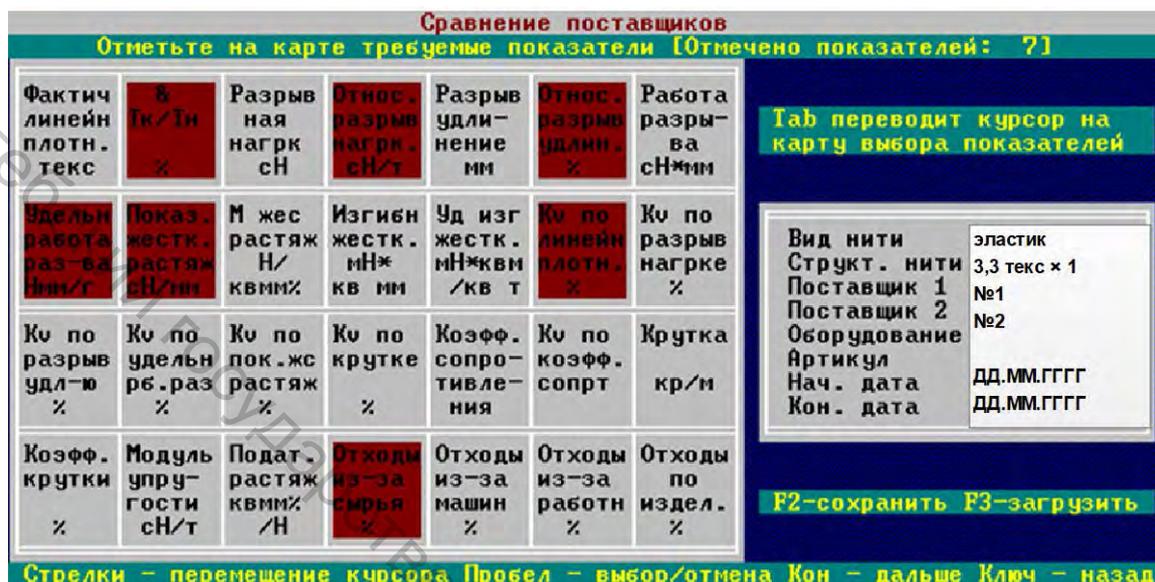


Рисунок 4.7 – Интерфейс режима «Сравнение поставщиков». Сравнение качества нитей одного поставщика за два периода. Карта выбора показателей

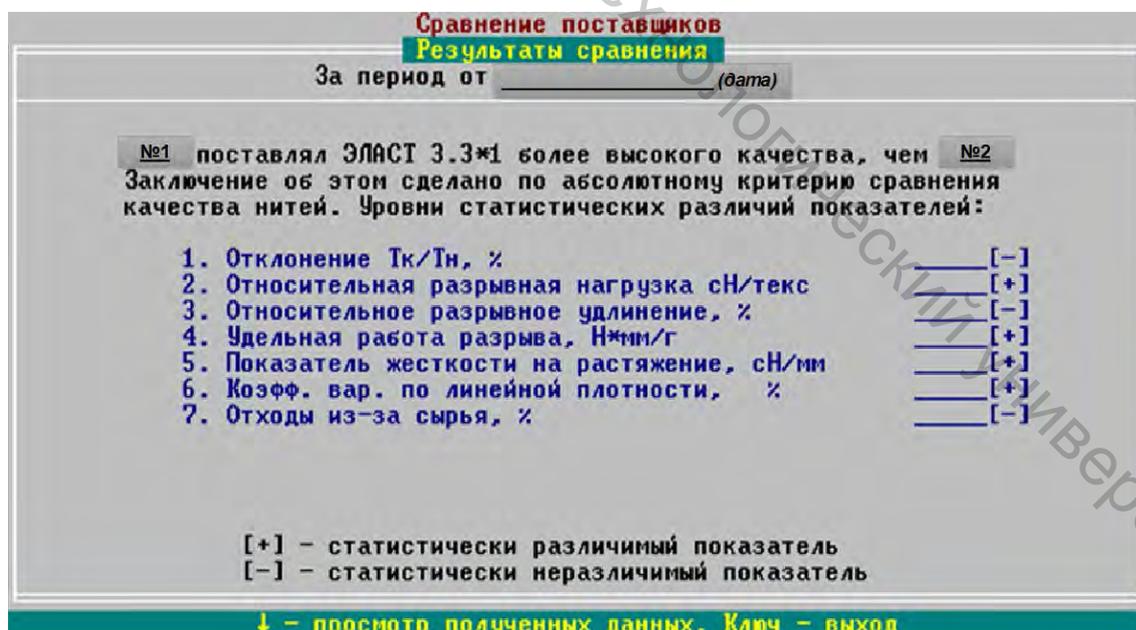


Рисунок 4.8 – Интерфейс режима «Сравнение поставщиков». Сравнение качества нитей одного поставщика за два периода. Результаты сравнения

Из семи показателей, выбранных для оценки, статистически различимыми оказались четыре:

- относительная разрывная нагрузка (сН/текс);
- удельная работа разрыва (Нмм/г);
- показатель жесткости на растяжение (сН/мм);
- коэффициент вариации по линейной плотности (%).

При просмотре полученных в результате сравнительного анализа данных (рис. 4.9) по семи выбранным показателям, включая и статистически неразличимые, приводятся средние значения каждого показателя, коэффициенты вариации и Т-критерий, позволяющий судить о статистической значимости коэффициента вариации. Оператор ИАС оценивает результаты сравнительного анализа и принимает решение в соответствии с поставленной задачей.

Сравнение поставщиков					
Полученные данные					
№:	№1		№2		Т критерий
	Среднее	Коэффициент Вариации, %	Среднее	Коэффициент Вариации, %	
1	0.011	42.722	0.015	47.922	1.018
2	41.454	4.091	35.178	5.340	3.669
3	18.370	63.527	21.252	45.048	0.246
4	85166.000	3.080	55761.877	9.490	10.906
5	1.085	5.069	0.945	6.919	2.527
6	0.990	14.141	1.395	30.349	2.728
7	0.106	100.000	0.230	219.176	1.021

0.443 — Индекс качества — 0.350
 0.001 — Ошибка инд. кач. — 0.002
 Разность инд. качества: 0.104 Ошибка разности инд. качества: 0.003

↑ — просмотр результатов сравнения, Ключ — выход

Рисунок 4.9 – Интерфейс режима «Сравнение поставщиков». Сравнение качества нитей одного поставщика за два периода. Данные сравнительного анализа

Блок «Прогнозирование значений параметров» позволяет решить следующие задачи:

- выбор данных по заданному классу нитей;
- корреляционный и регрессионный анализ первичных данных;
- построение прогнозов параметров и формирование технологического маршрута переработки нити.

В рамках решения первой задачи компьютер запрашивает следующие данные: вид нити (по волокнистому составу), структура (в виде произведения линейной плотности одиночной нити на число сложений), поставщик, вид оборудования, артикул изделия. Интерфейс режима «Прогнозирование» ИАС представлен в приложении И.

Иллюстрационный пример:

Постановка задачи : построить прогноз значений показателей качества текстильной нити, поставляемой на предприятие поставщиком №1.

При решении поставленной задачи в режиме «Редактирование» осуществляется выборка из базовой таблицы, содержащей значения показателей качества нитей по заданным идентификаторам (вид и структура нити, поставщик и т. п.). Выборка сохраняется в виде новой таблицы, в отношении которой проводится корреляционный анализ. Доверительная вероятность, с которой вычисляются линейные коэффициенты корреляции, задается оператором (для рассматриваемой задачи – 0,95).

После запуска программы корреляционного анализа результаты ее работы представляются в виде таблицы (рис. 4.10). Численные значения линейных коэффициентов корреляции имеют специальное цветовое выделение, о котором имеется информация в подсказке «Помощь» (рис. 4.10).

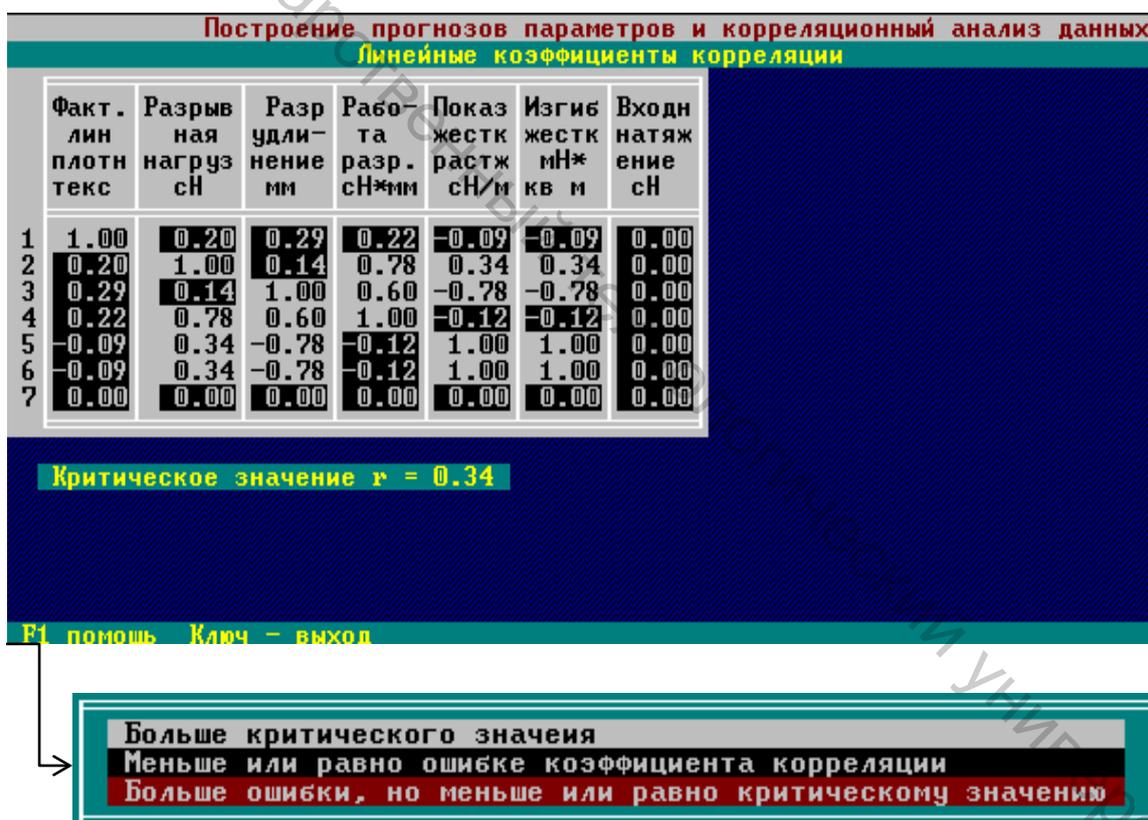


Рисунок 4.10 – Интерфейс режима «Прогнозирование». Результаты корреляционного анализа

Представленные результаты дают возможность оператору оценить, насколько тесной являются связь между выбранными показателями, и принять решение о корректировке группы показателей, выбранных для прогнозирования. Для рассматриваемого примера группа показателей скорректирована путем исключения показателя «входное натя-

жение нити», т.к. его корреляция с остальными показателями по данным выборки равна нулю. С физической точки зрения тесная связь между всеми показателями исходной группы очевидна. Коэффициент корреляции, равный нулю, для исключенного показателя может быть объяснен отсутствием или малым количеством данных по этому показателю.

Непосредственно при прогнозировании на первом этапе устанавливается уровень доверительной вероятности прогноза (для рассматриваемого примера – 0,95). Затем выбирается прогнозируемый параметр (рис. 4.11).

После запуска программы на экран в виде таблицы выводятся показатели связи для трех моделей: линейной, квадратической и гиперболической (рис. 4.12).

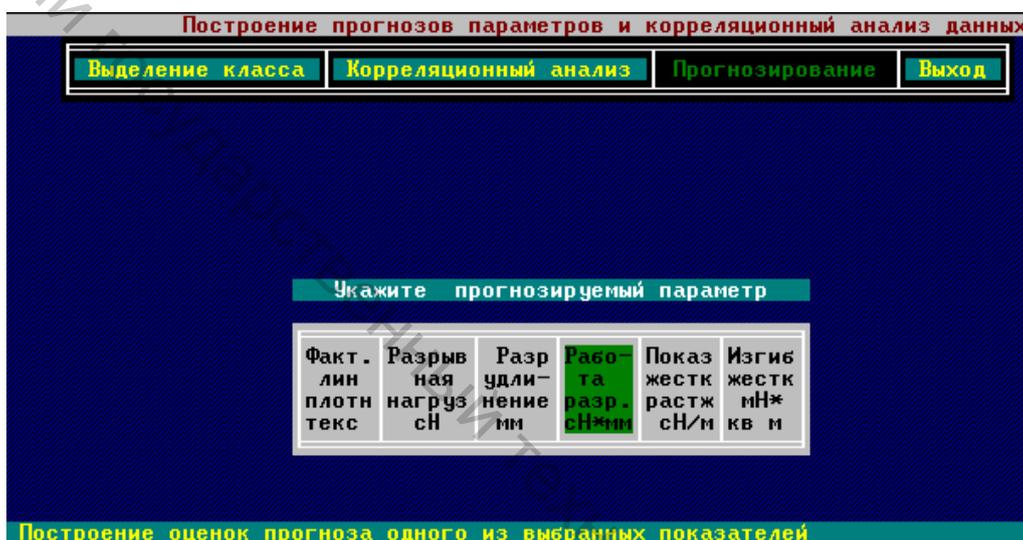


Рисунок 4.11 – Интерфейс режима «Прогнозирование». Выбор прогнозируемого параметра

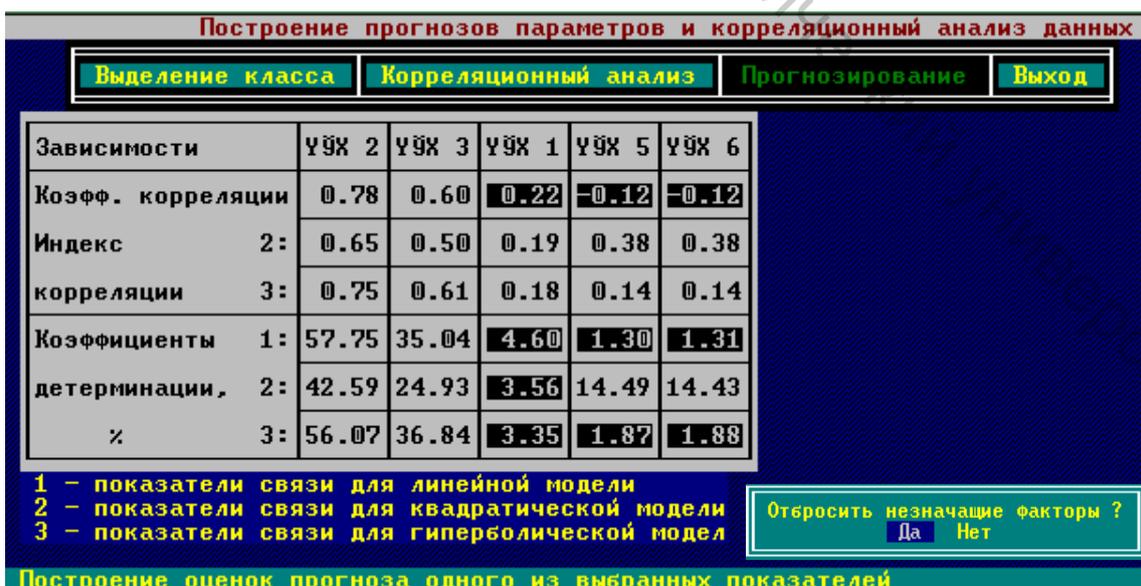


Рисунок 4.12 – Интерфейс режима «Прогнозирование». Показатели связи для различных моделей

Далее предлагается отбросить незначимые для построения прогноза факторы и указать пороговое значение коэффициента детерминации. Для рассматриваемого примера пороговым значением коэффициента детерминации выбрано значение 5 %, которое позволит исключить факторы, чье влияние на прогнозируемый параметр незначительно.

Результаты прогнозирования выводятся в виде таблицы, которая содержит прогноз параметра по физико-механике и текущему значению, а также относительную ошибку этих прогнозов и средние значения по каждому из приведенных столбцов. Фрагмент таблицы результатов прогнозирования приведен на рисунке 4.13.

Построение прогнозов параметров и корреляционный анализ данных

Выделение класса
Корреляционный анализ
Прогнозирование
Выход

Результаты прогнозирования

N	Дата проверки	Тип автомата	Прогноз по физико/механике		Прогноз по текущ. значению		Работа разр. сН/мин
			Значение	отн.ош. %	Значение	отн.ош. %	
11	указываются даты в формате ДД.ММ.ГГГГ	типы технологического оборудования, эксплуатируемого на предприятии	3661.156	6.952	3345.197	-0.028	3426.000
12			3657.902	1.842	3449.525	-0.031	3536.000
13			3699.109	2.552	3498.098	-0.013	3555.000
14			3772.951	0.659	3514.934	-0.408	3848.000
15			3795.478	7.188	3670.098	-0.476	4047.000
16			3641.677	2.466	3852.705	0.016	3785.000
17			3689.935	0.341	3845.626	0.155	3637.000
18			3797.398	1.316	3695.489	-0.150	3904.000
19			3704.983	65.031	3785.246	-1.407	4481.000
20			3670.308	88.754	4070.443	-0.697	4582.000
Средние значения:			3617.864	13.554	3586.110	0.139	3629.062

↑, ↓, Нач, Кон – перемещение Пробел – печать результатов Ключ – выход

Рисунок 4.13 – Интерфейс режима «Прогнозирование». Результаты прогнозирования

Выбранные из базы данные сводятся в таблицу, выводимую на дисплей, а по желанию пользователя – на печать. По отношению к этой таблице решаются остальные две задачи. Результаты вычислений, полученные в блоке «Прогнозирование значений параметров», выводятся на печать в форме, приведенной в приложении К.

В таблицу заносятся величины прогнозов двух видов. Прогноз 1, который строится по алгоритму, описанному в главе 5, и прогноз 2, вычисляемый не через значения факторов, связанных с прогнозируемым параметром, а через предшествующие значения этого параметра по формуле:

$$Y_{(i)}^* = b_1 Y_{(i-1)} + b_2 Y_{(i-2)} + \dots + b_n Y_{i-n} \quad (4.1)$$

где $Y_{(i)}^*$ – прогноз 2 выходного параметра; $Y_{(i-n)}$ – предшествующие значения выходного параметра; b_n – весовые коэффициенты.

Система весовых коэффициентов нормирована, т. е.

$$b_1 + b_2 + \dots + b_n = 1. \quad (4.2)$$

В случае использования экспоненциальной системы весовых коэффициентов значения их определяются соотношением:

$$b_{(i)} = \frac{a(1-a)^{i-1}}{\sum_{i=1}^n a(1-a)^{i-1}}. \quad (4.3)$$

Эта система коэффициентов, сохраняя свойство нормированности, зависит от одного параметра «а», причем $0 < a < 1$. Отсюда вытекает, что качество прогноза 2, определяемого по уравнению 4.1, зависит лишь от параметра «а». Разумеется, для того чтобы прогноз 2 по формуле (4.1) оказался возможным, необходимо хронологическое расположение строк в таблице 4.1, что и обеспечивается блоком ИАС «Выбор данных из заданного класса нитей».

На каждом шаге построения прогноза 2 производится адаптация уравнения прогнозирования (4.1) к значениям выходного параметра, по которому строится прогноз 2.

Это осуществляется путем перебора значений параметра «а» в заданном интервале (практически от 0 до 0,9). Для конкретного значения «а» отыскиваются значения коэффициентов b_n в уравнении (4.1) и вычисляется значение прогноза Y . Относительная ошибка прогноза оценивается по формуле:

$$\Delta Y^* = \frac{||Y^*| - |Y_d||}{Y^* \left[\frac{Y^*}{(Y^* + Y_d)} \right] + Y_d \left[\frac{Y_d}{(Y^* + Y_d)} \right]}, \quad (4.4)$$

где Y^* и Y_d – прогнозируемое и действительное значения параметра

В знаменателе этой формулы стоит взвешенное среднее арифметическое прогнозируемых и действительных отходов. Введенные весовые коэффициенты отражают значения каждого слагаемого на фоне суммы прогноза и действительного значения отходов. Нетрудно показать, что при постоянных весах и равных 0,5 оценка относительной ошибки смещается в сторону больших значений. То значение «а», при котором относительная ошибка прогнозирования оказывается наименьшей, определяет наилучший прогноз. Уравнение (4.1), коэффициенты которого найдены для этого значения «а», используется для прогнози-

рования на следующем $(i+1)$ -м шаге. После того как в базу данных поступает $(i+1)$ -е действительное значение прогнозируемого параметра, выполняется коррекция коэффициентов b_n в уравнении (4.1). Для этого вновь перебираются значения « a » из интервала $(0,1 \dots 0,9)$ и отыскивается значение « a », при котором ошибка прогнозирования минимальна, после чего вычисляется очередной прогноз. В уравнении (4.1) неявно присутствует еще одна величина « n » – число предшествующих значений параметра, по которым строится его прогноз. Опыт показывает, что $n_{(max)} < 3$.

Таким образом, прогнозы 1 и 2 отличаются принципом получения:

- для прогноза 1 необходима модель зависимости параметра Y от определяющих факторов X_i , т. е. уравнение вида $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$;
- для прогноза 2 инструментом прогнозирования является модель, связывающая последующее значение прогнозируемого параметра с предыдущими в форме $Y_{(i)} = f\{Y_{(i-1)}, Y_{(i-2)}, \dots, Y_{(i-n)}\}$.

Использование прогнозов двух видов, полученных принципиально различными способами, повышает надежность прогнозирования. Дополняя один другой, они в конечном итоге позволяют оценить будущее значение прогнозируемого параметра статистически более уверенно, так как обе модели постоянно находятся в движении, и значения их коэффициентов определяются фактически массивами данных, регулярно поступающих в базу данных. А это значит, что данные в подобной ИАС уже не рассматриваются как своего рода «сырье» для программ статической структуры. Данные при таком подходе образуют своего рода среду, которая изменяет параметры, – в данном случае коэффициенты прогнозирующего уравнения, – таким образом, чтобы оценки получаемых прогнозов оказывались наилучшими.

Блок «*Корреляционный и регрессионный анализ первичных данных*» реализован пакетом программ, состав которого отображен блок-схемой на рисунке 4.14.

При выполнении этого блока в таблице исходных данных выделяется столбец значений, соответствующий переменной, принимаемой за выходной параметр или по терминологии регрессионного анализа – объясняемую переменную Y . Остальные величины принимаются за факторы или объясняющие переменные. В рамках однофакторного регрессионного анализа строятся модели частных зависимостей объясняемой переменной от каждой из объясняющих. При этом для каждой пары $Y \rightarrow X_i$ отыскивается адекватная модель среди моделей трех типов: линейной, параболической и гиперболической. Если адекватных моделей оказалось больше одной, то из них выбирается та, для которой сумма квадратов отклонений экспериментальных значений от вычисленных по модели наименьшая.

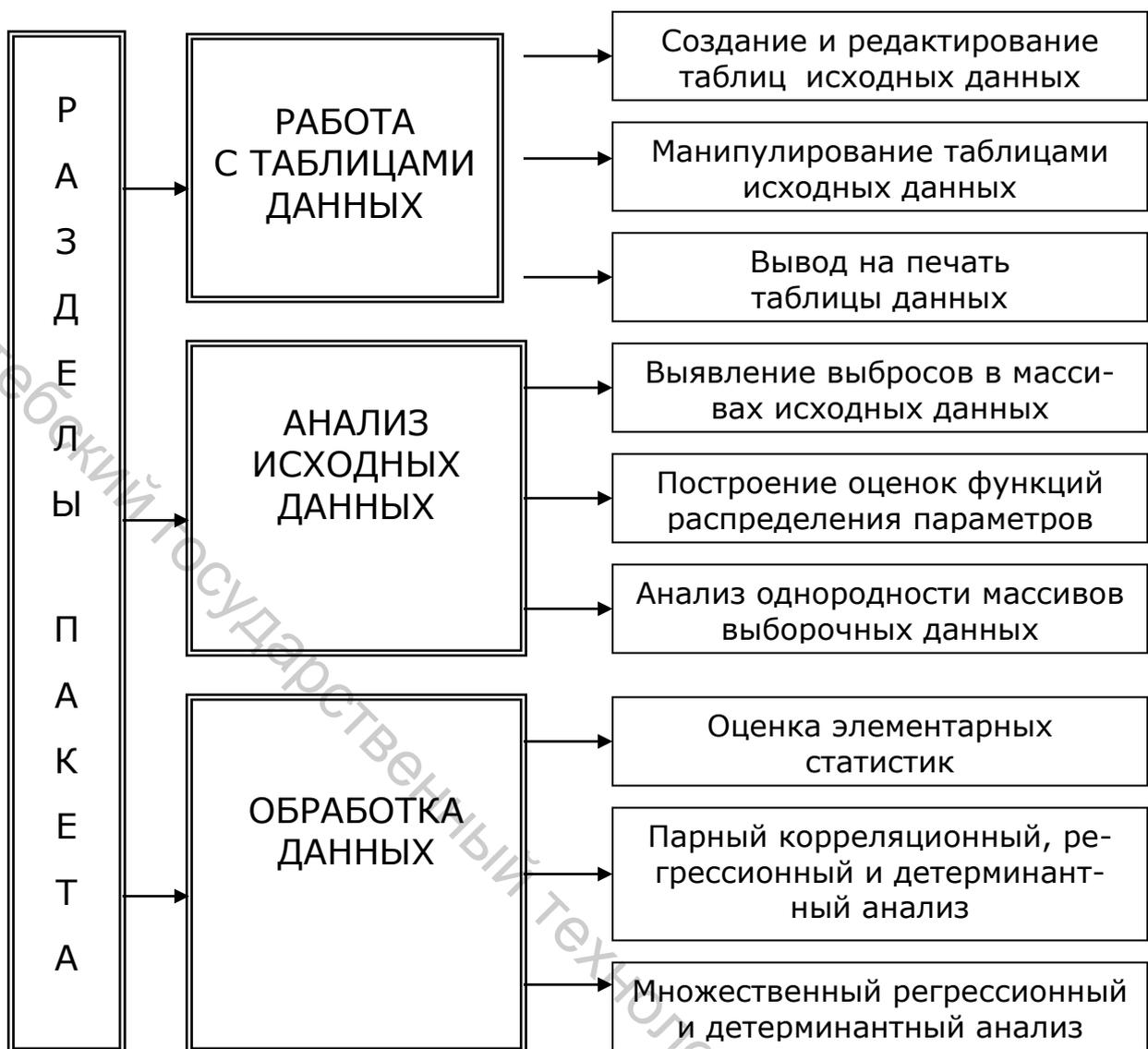


Рисунок 4.14 – Состав программного пакета блока ИАС «Корреляционный и регрессионный анализ первичных данных»

С использованием этой модели вычисляются коэффициент корреляции (для линейной модели), либо индекс корреляции (при адекватной нелинейной модели) и коэффициент детерминации. Последний находится по формуле:

$$B = \left[\frac{D(Y_{\text{расч.}})}{D(Y)} \right] \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где $D(Y_{\text{расч.}})$ – дисперсия значений выходного параметра, вычисленных по уравнению модели; $D(Y)$ – дисперсия выходного параметра, оцененная по первичным данным, содержащимся в базе данных.

Значимость коэффициента детерминации устанавливается по критерию Стьюдента. Его расчетное значение вычисляется по формуле (4.6).

$$t_{\text{расч.}} = \sqrt{\frac{B(n-2)}{1-B}}, \quad (4.6)$$

где B – коэффициент детерминации ($0 < B < 1$); n – объем массива исходных данных.

Корреляционный, регрессионный и детерминантный анализ проводятся с использованием соотношений, известных из [51]. Результаты анализа выводятся в виде, представленном в приложении К.

Система оценок коэффициентов детерминации для « n » объясняющих переменных является нормированной, т. е. сумма оценок коэффициентов детерминации в каждой из последних строк таблицы К.2 (приложение К) равна 100 %. Поэтому оценки коэффициентов детерминации позволяют сравнивать между собой интенсивность влияния факторов на объясняемую переменную.

Таким образом, разработанная ИАС содержит достаточно универсальный набор средств для анализа данных, содержащихся в базе данных. Рассматривая эти данные с различных позиций, лицо, принимающее решение, получает возможность достижения более тонкого понимания физических механизмов, обуславливающих поведение нити в процессах ее технологической переработки.

4.4 Организация базы данных и способы ее информационного наполнения

В разделе 4.3 в качестве составляющей разработанной ИАС, которая реализует информационные возможности системы, была выделена база данных. Этот элемент является неотъемлемым для всех компьютерных информационных систем.

Компонентами базы данных могут быть любые структурные единицы данных (элементы записи, записи, массивы), связанные между собой заданным образом, например, через идентификатор [83]. База данных (БД) может быть построена путем слияния нескольких массивов, описывающих объект или процесс с разных сторон. Такое слияние уменьшает дублирование за счёт удаления идентичных единиц данных и делает базу данных эффективнее набора специализированных файлов (массивов) с точки зрения комплекса приложений.

Говоря о компьютерных базах данных, следует подчеркнуть, что работа с ними неизменно ведет к росту знаний о производственной системе в целом, о причинах возникновения в ней тех или иных технологических ситуаций, на первый взгляд кажущихся случайными. Манипулирование имеющимися данными, их динамическая перестройка по введенным правилам позволяет получать новое знание о производственной системе, выявлять критические уровни параметров, условия внезапных изменений состояния и так далее. Компьютерные БД, как правило, связываются с внешними источниками информации, от которых по линиям связи данные могут поступать в БД, минуя клавиатуру, т. е. в автоматическом режиме. К таким источникам относятся датчики, регистрирующие значения технологических параметров и формирующие их электрические аналоги, измерительные комплексы в лабораториях входного и выходного контроля, локальные сети и многие другие системы.

Для успешного функционирования, как локальной, так и базы данных в составе какой-либо системы, необходимо определиться: каким образом будет организована база данных, и как она будет наполняться. Оптимальное решение по этому вопросу может быть принято исходя из основных задач, которые нужно решить с помощью баз данных. При создании ИАС эти задачи были определены. Высокая информационная обеспеченность и поддержка эксперта в принятии решения являются одними из целей создания ИАС в целом. Значит, способ организации базы данных для ИАС должен быть достаточно простым с точки зрения программирования и структуры, чтобы быть доступным для лаборатории входного контроля как с позиции обучения пользователей системы, так и с точки зрения финансовых затрат на разработку.

В исходном виде информационный блок системы представляется в виде оболочки компьютерной базы данных, представляющей собой пакет программ, с помощью которого осуществляется ввод в компьютер данных о физико-механических свойствах нитей, результатах их переработки, используемом оборудовании с целью их записи на магнитный диск и последующего хранения. Этот программный пакет обеспечивает также выполнение ряда сервисных функций, необходимых для оперативной работы с базой. Программные блоки, обеспечивающие работу портов ввода-вывода компьютера в режимах приема и передачи данных, реализуются на языке СИ или языках низкого уровня.

База технологических данных применительно к трикотажному производству в общем случае должна:

- содержать все данные за определенный интервал времени, определяющие технологическую надежность нити, которые могут быть получены с использованием имеющихся измерительных средств;
- иметь минимальное время доступа к исходным данным;

– располагать средствами для оперативной коррекции ее содержания, с целью, например, ликвидации накапливающихся ошибок, замены старых результатов измерений новыми, полученными с помощью более точных измерительных средств.

Структура базы данных должна быть такой, чтобы она облегчала решение связанных с нею задач. Кроме этого, база данных не может не удовлетворять одному из важнейших требований пользователя: обладать высокой надежностью с программной и технической сторон и оперативностью работы с ней. Она обязана быть простой и удобной в практическом применении.

Факторами, принятыми в данной работе в качестве решающих и определяющих построение базы данных, является структура производственного процесса, а также содержание информации, отражающей его течение. С таких позиций БД для каждого вида производства будет обладать своей конкретикой. Общие черты их организации будут обусловлены общностью производственных процессов.

Движение технологических данных в трикотажном производстве и возможные ситуации, связанные с формированием решения о переработке нитей, отображены блок-схемой на рисунке 4.15. В этой схеме отражен факт существования двух групп показателей технологических свойств нитей – априорных, получаемых по результатам оценки физико-механических свойств нитей с помощью средств измерений лаборатории входного контроля, и апостериорных, которые могут быть получены только вследствие переработки пробной партии. Обе группы данных имеют между собой определенное информационное взаимодействие. Иногда оно приобретает неожиданный и противоречивый характер, например, когда данные о физико-механических свойствах нити свидетельствуют о ее хорошей способности к переработке, в то время как на практике обнаруживается противоположная картина.

Причины этого могут быть самые различные, но, как правило, они связаны с учетом важных единичных показателей, определяющих технологическую надежность нитей, например, показателей геометрических, фрикционных, релаксационных и других свойств нити как полимерного материала, а также игнорирование их влияния на надежность режима вязания.

По мере использования данных, содержащихся в базе, возникает возможность оценки по ней наличного состояния процесса или объекта. Однако с позиций выявления тенденций в изменении стабильности процесса информация устаревает гораздо медленнее. Поэтому после оперативного использования данные могут быть переведены на уровень долговременного хранения, с которого они извлекаются, например, при оценке качества нити, поставляемой тем или иным поставщиком за интересующий интервал времени.



Рисунок 4.15 – Блок-схема возможных ситуаций и соответствующих операций, связанных с формированием решения о технологической переработке нити

База данных с описанной структурой обеспечивает системный подход к формированию управленческого решения в конкретных производственных условиях.

Важным вопросом является определение состава первичных данных, вводимых в базу. Очевидно, что в состав группы таких данных должны быть включены только существенные показатели, так как лишь при этом условии обеспечивается построение информативной базы данных. Более того, необходимо стремиться к использованию показателей, наиболее точно определяемых в условиях конкретного производства с помощью имеющихся измерительных средств.

Структурно данные, образующие разработанную базу данных, сведены в пять таблиц:

- таблица 1* – данные о физико-механических свойствах нитей, применявшихся в предшествующий период;
- таблица 2* – данные о практической переработке нити на производственных участках;
- таблица 3* – данные по применяемому оборудованию;
- таблица 4* – результаты статистической обработки данных таблицы 1;
- таблица 5* – резервная.

Каждая таблица содержит идентификатор, объединяющий данные, необходимые для нахождения конкретной партии нитей во всем объеме данных.

Таким образом, «исходными» таблицами базы данных являются *таблицы 1, 2, 3*. Данные в них заносятся по результатам испытаний или опытной переработки, сопроводительных документов или технической документации на оборудование. *Таблица 4* является так сказать «вторичной» относительно *таблицы 1*, так как содержит результаты статистической обработки данных, содержащихся в *таблице 1*.

Если говорить о способах наполнения базы данных, то для базы данных ИАС был выбран наиболее простой способ. Этот способ сводится к одновременному заполнению *таблиц 1, 2, 3* имеющимися данными при внедрении ИАС в лаборатории входного контроля посредством набора через клавиатуру необходимых цифровых, текстовых и символьных данных. При дальнейшем использовании ИАС база данных заполняется по мере поступления новых партий сырья, проведении испытаний для оценки качества пряжи и нитей, приобретении нового оборудования. Заполнение базы данных в процессе эксплуатации ИАС может осуществляться:

- введением данных посредством набора через клавиатуру;
- переносом данных с магнитных носителей;
- автоматически (с датчиков приборов, измерительных комплексов и др.)

Таким образом, при эксплуатации ИАС процесс наполнения базы данных носит накопительный характер. Кроме того, введенные данные хранятся в базе ИАС, они могут быть в любое время найдены, подвергнуты корректировке или выбраны по условиям запроса. Эти возможности обусловлены наличием приложений, обслуживающих базу данных ИАС.

Базы данных являются важнейшим условием создания на основе ПЭВМ диалоговых человеко-машинных систем – ЧМС, в рамках которых ПЭВМ – активный партнер при решении производственных задач. В связи с этим можно отметить, что удобство пользования базой данных

рассматривалось как качество их не менее важное, чем, например, время, затрачиваемое на поиск данных в базе данных.

4.5 Особенности обработки данных в информационно-аналитических системах

Признаки, отличающие ИАС от обычных программных средств, реализуемых на ПЭВМ, касаются не только их вычислительных функций и логических возможностей. Основной чертой, выделяющей ИАС и приближающей эти системы к системам искусственного интеллекта, является характер взаимодействия базы данных и программной поддержки ИАС. При обычном подходе к вычислительному процессу данные и программа – два независимых блока. Более того, во многих случаях компьютерные программы занимают главенствующее место, а данные оказываются простым придатком к ним, пусть даже и сильно варьирующимся по объему и составу, но не оказывающим никакого воздействия на функции и структуру программного средства. В разработанной ИАС реализован иной подход. Он связан, прежде всего, с представлением о массивах первичных данных, как об отражении ситуационной технологической среды, по отношению к которой те или иные математические операции зависят от ее свойств. Иначе говоря, операции над массивами осуществляются не по заранее заданной программе, а напротив, свойства массива обуславливают выбор соответствующих программных средств, по крайней мере, из набора программных средств, имеющих в составе применяемой информационно-аналитической системы.

Процесс обработки данных в ИАС может вообще не начаться, если массив первичных данных не обладает необходимыми свойствами. Например, если применяемый математический аппарат связан со стандартными методами математической статистики, то таким необходимым свойством может быть статистическая однородность массива первичных данных.

Таким образом, выбор алгоритмов обработки данных ставится в зависимость от состояния исходного массива. Особенности массивов данных, обнаруживаемые при их первичном анализе, вызывают направленную перестройку вычислительного процесса последующей их обработки, которая как последовательность процедур все время варьируется, как бы направляемая самими данными.

Выше уже отмечалось, что разработанная ИАС – система человеко-машинная. Это значит, что решение ею задач предполагает обмен запросами между компьютером и оператором. Реакция обеих частей такой ИАС позволяет преодолеть неопределенность промежуточных ре-

зультатов, практически неизбежно возникающую в ходе анализа данных.

Задача считается решенной ИАС, если полученная информация о процессе или объекте устраивает пользователя. Например, если ИАС построила прогнозы отходов нити по всем возможным видам технологического оборудования, которое может быть применено для его переработки, то пользователь получает поле возможных ситуаций, каждая из которых связана с конкретным видом вязальных машин или чулочных автоматов. На практике же возможность видеть такое поле оказывается фактором повышения эффективности управления технологическим процессом.

Есть и еще одна принципиальная особенность разработанной ИАС. Она связана со статусом базы данных, входящей в ИАС в качестве неотъемлемого компонента. По мере работы с базой данных ИАС, во-первых, постепенно освобождается от неинформативных данных, во-вторых пополняется данными, позволяющими все более адекватно анализировать технологические ситуации, и в-третьих, позволяет сформировать представление об интенсивности действия детерминированной, случайной и неопределенной составляющих в факторах, определяющих ход технологического процесса. Иными словами, база данных постепенно становится средством обостряющим, восприятие ситуационной среды, а вся ИАС при правильном ее применении превращается в генератор знаний о технологическом процессе. Делая наблюдаемыми даже скоротечные, недолговременные, неустойчивые, появляющиеся и тут же исчезающие связи между параметрами, ИАС тем самым творит возможность отыскания достаточно эффективного управления на конкретном временном интервале. По мере эксплуатации ИАС из средства по накоплению и обработке данных трансформируется в человеко-машинную систему, в которой компьютер начинает играть роль усилителя интеллектуальных возможностей человека.

Если на начальных этапах использования ИАС решающими аргументами в пользу ее активного применения оказывается ускорение процессов анализа технологических ситуаций, то затем по мере овладения ею все более реалистичной становится возможность извлекать новые знания о производственной системе. Опираясь на постоянно совершенствующуюся базу данных, ИАС во все большей мере снижает удельный вес волевой и интуитивной составляющей в принимаемых решениях. Особенно сильное впечатление на пользователя производит сочетание корреляционного и детерминантного анализа данных. Лишь в рамках такого комбинированного подхода четко выявляются различия между понятиями «теснота корреляционной связи» и «интенсивность влияния фактора на выходной параметр». В самом деле, если, к примеру, коэффициент корреляции (при линейной зависимости) равен 0,9, то это еще не означает, что высоким будет и коэффициент детерминации. В дан-

ном случае он может оказаться как низким, так и высоким. Иными словами, корреляционный анализ процесса будет неполным без получения ответа на вопрос о вкладе конкретного фактора в дисперсию выходного параметра. Описанный подход позволяет обнаружить существование скрытых факторов и отделить их влияние от влияния известных факторов, что понижает информационную неопределенность быстро меняющихся технологических ситуаций.

Хорошо организованная ИАС способна быстро провести многовариантную оценку поступающей информации, выявить даже непродолжительные во времени статистические связи и использовать их для проведения обоснованных коррекций параметров производственного процесса.

При наличии соответствующего программного обеспечения ИАС в состоянии контролировать действия самого лица, принимающего решения, напоминая и подсказывая ему предпочтительные на ее взгляд варианты решений, направленных на улучшение показателей производственного процесса.

Таким образом, в главе определена проблемная область компьютерной системы для оценки технологической надежности нитей, учитывающая специфические особенности, присущие трикотажному производству.

Общая структура компьютерной системы, состоящая из информационного и аналитического блоков, обосновывает применение термина «информационно-аналитическая система» для ее обозначения.

Кроме того, установлены общие принципы построения и структурного содержания компьютерных систем, применяемых в текстильной и легкой промышленности для оценки качества сырьевых материалов.

Разработана информационно-аналитическая система для оценки технологической надежности нитей в лаборатории входного контроля трикотажного предприятия (ОАО «КИМ», г. Витебск), структура которой представлена информационной и аналитической составляющими: первая – реализована базой данных, вторая – набором алгоритмов, позволяющих проводить анализ данных с целью получения заключения о возможности технологической переработки нитей в заданных условиях.

Апробация разработки проводилась в условиях ОАО «КИМ», г. Витебск, и показала эффективность использования системы в производственных условиях.

ГЛАВА 5

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С ОЦЕНКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ НИТЕЙ, С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Разработанная информационно-аналитическая система для оценки технологической надежности нитей в трикотажном производстве позволяет формулировать и решать многие задачи. ИАС позволяет не только выполнять вычислительные операции над исходными данными, но и осуществлять анализ содержащейся в них информации. Поэтому круг задач, решаемых с помощью ИАС, достаточно широк. К ним можно отнести статистическую обработку данных, включая корреляционный и регрессионный анализ, которая способна оказать оператору ИАС существенную информационную поддержку при принятии решений. Кроме того, ИАС успешно решает задачи, связанные с анализом и прогнозированием качества (технологической надежности) нитей. Полученная в результате решения таких задач информация может быть использована при выборе маршрута переработки сырья, а также при принятии решений на уровне руководства предприятием, например, в работе с поставщиками сырья.

Рассмотрим более подробно методы, реализованные в ИАС с целью решения задач по оценке технологической надежности нитей.

5.1 Формирование группы показателей для оценки технологической надежности нитей

Как уже установлено выше, одним из первых шагов в процессе оценки технологической надежности нитей с помощью комплексного показателя является выбор и формирование группы соответствующих показателей. От того, насколько правильно сформирована такая группа, зависит репрезентативность оценки технологической надежности. В главе 1 представлено более 20 показателей, отображающих свойства нитей, важных в технологическом отношении. Однако полнота исследования не связана напрямую с численностью группы величин, вводимых как характеристики изучаемого объекта. Как показано в [15-А] существуют соображения, опираясь на которые, можно полагать, что численность такой группы не превышает 10. То, что касается конкретного состава группы показателей, то его определяют многие факторы. К ним можно отнести, в первую очередь, вид нити и общие характеристики:

сырьевой состав, линейная плотность и т. д., предполагаемый маршрут переработки нити, тип производства и оборудования, на котором нить будет предположительно перерабатываться, и многие другие.

В технологическом аспекте правильно составленная группа показателей технологической надежности нитей позволяет решить задачу выбора режима их оптимальной технологической переработки.

В главе 2 представлен обобщенный показатель технологической надежности нити как функция определенной группы показателей качества. Кроме требований, обусловленных техникой анализа размерностей, использованного для ее получения, показатели выбирались таким образом, чтобы в каждом из них отражалось влияние как можно большего числа как контролируемых, так и неконтролируемых факторов, от которых зависит технологическая надежность нити. Например, относительная разрывная нагрузка отражает воздействие меньшего числа факторов, чем просто разрывная нагрузка: ею не учитывается влияние линейной плотности нити, так как относительная разрывная нагрузка – это характеристика прочности вещества нити, а не самой нити.

Между тем, с учетом сформулированных выше двух требований, репрезентативной представляется величина удельной работы разрыва. Она одновременно учитывает прочность и деформационные свойства конкретной нити, и в то же время, будучи удельной характеристикой, она определяет прочностные свойства материала нити. При наличии удельной работы разрыва избыточным оказывается использование такой величины, как разрывное удлинение, так как оно присутствует в формуле (1.4) для удельной работы разрыва как верхний предел интегрирования.

Таким образом, формирование группы показателей качества нитей сводится к подбору наиболее информативных показателей, определяющих технологическую надежность нити, и привлечения параметров режима переработки нитей на трикотажных машинах, которые на нее влияют.

В разделе 1.3 технологические свойства нити разделены на априорные и апостериорные, что также следует учесть при отборе показателей в исходную группу.

С практической стороны желательно, чтобы отобранные величины были измеримы имеющимися или, по меньшей мере, известными измерительными средствами или поддаваться достаточно точной расчетной оценке. Нельзя не учитывать также, что длительный исторический период развития текстильного производства привел к естественному отбору ряда показателей, информативность которых не подлежит сомнению. Это, прежде всего, относится к линейной плотности нитей, введение которой в группу исходных величин однозначно.

Говоря об ИАС для оценки технологической надежности нитей в трикотажном производстве, уже неоднократно отмечалось, что эта си-

стема является человеко-машинной. При решении задачи по формированию группы показателей для оценки технологической надежности нитей всегда работает «человеческий» фактор, то есть подбор информативных показателей осуществляет оператор. Он может осуществляться на базе опыта специалистов, практики, нормативной документации и т. д. Кроме этого, возможна разработка рекомендаций по составу группы показателей технологической надежности в зависимости от состава и свойств нити.

На практике ИАС может выступить в роли «инструмента», обостряющего видение ситуации, в случаях принятия оператором (ЛПР) решения о составе группы показателей для оценки технологической надежности нитей. Основной проблемой, как показано выше, при формировании группы показателей для оценки технологической надежности нитей является выбор наиболее информативных из них. В разработанной ИАС решается с помощью статистических методов.

Статистические характеристики используются ИАС как критерии информативности показателей, способных характеризовать технологическую надежность нитей. Так, имея фактические значения того или иного показателя, который, по мнению ЛПР, может быть использован для оценки технологической надежности нити, ИАС обрабатывает эти значения статистически. Например, такая статистика, как коэффициент вариации (K_v), может многое сказать о «стабильности» соответствующего показателя. Небольшое значение K_v должно сигнализировать ЛПР о том, что выбранный показатель имеет устойчивые значения, т. е. мало рассеянные относительно среднего, что является позитивной оценкой его информационного качества [89]. Подобная оценка устойчивости показателя может также проводиться по такой статистике, как эксцесс, который является мерой «крутовершинности» кривой распределения [90].

Другой статистикой, позволяющей обнаружить в изменении регистрируемого (измеряемого) показателя, является коэффициент асимметрии распределения его возможных значений. В частности, если коэффициент асимметрии существенно отличен от нуля, то это будет свидетельствовать о том, что распределение наблюдаемых значений выбранного показателя не будет однозначно отражать соответствующие свойства, так как асимметрия всегда обусловлена действием неслучайного фактора, влияющего на данные свойства и вызывающего изменения этого показателя [91, 93]. Таким образом, используя результаты статистической обработки значений выбранного показателя, лицо, принимающее решение, может сделать обоснованные выводы о его информативности.

Кроме вышеперечисленных статистических характеристик ИАС позволяет оператору оценить информативность показателя качества нити, используя значения коэффициента детерминации [91]. Рассмотрим конкретный пример, иллюстрирующий эффективность использования

коэффициента детерминации как критерия отбора показателей качества нитей для прогнозирования ее свойств. В отношении хлопчатобумажной нити 18,5 текс, поставляемой на предприятие, решалась задача прогнозирования показателя жесткости на растяжение. В качестве группы показателей, определяющих прогнозируемый параметр, оператором ИАС были выбраны пять показателей, представленных в таблице 5.1.

Для них с помощью ИАС рассчитаны значения коэффициентов детерминации, показывающих долю изменений параметра Y , вызванных изменениями X_i (табл. 5.2).

Таблица 5.1 – Исходная группа показателей для прогнозирования

Значение в уравнении прогнозирования	Наименование показателя	Размерность
X_i – факторы, определяющие прогнозируемый параметр Y	X_1 линейная плотность	текс
	X_2 разрывная нагрузка	сН
	X_3 разрывное удлинение	мм
	X_4 работа разрыва	сН×мм
	X_5 жесткость на изгиб	сН×мм ²
Y – прогнозируемый параметр	Y жесткость на растяжение	сН/мм

Таблица 5.2 – Значения коэффициентов детерминации, вычисленные с помощью ИАС

Зависимости	$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$
Коэффициент детерминации, %					
для <i>линейной</i> модели	17,29	8,85	18,24	0	55,62
для <i>квадратической</i> модели	13,61	6,88	35,90	0,1	44,1
для <i>гиперболической</i> модели	14,24	6,26	9,03	0	70,47

Оказалось, что наименьшим, а для некоторых моделей нулевым, коэффициентом детерминации характеризуется зависимость $Y \rightarrow X_4$. Эта информация была использована оператором ИАС, который исключил X_4 (работа разрыва) из группы показателей, определяющих прогнозируемый параметр. Для сравнения были рассчитаны прогнозы значения показателя жесткости Y : первый на основании исходной группы из пяти показателей, а второй после исключения из нее показателя X_4 (табл. 5.3).

Данные свидетельствуют об изменении прогноза Y (параметр приблизился к действительному значению) и уменьшении относительной ошибки прогноза практически в 2 раза.

Таблица 5.3 – Сравнительный анализ результатов прогнозирования Y , с помощью ИАС

Результаты прогнозирования	Для модели $Y =$		Δ
	$f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$	$f(X_1, X_2, X_3, X_5)$	
Прогноз Y по физико-механическим показателям	8,887	8,651	- 0,236
Относительная ошибка прогноза, %	16,39	8,12	- 8,27
Действительное значение параметра, Y	8,659		

Это говорит о том, что скорректированная группа показателей, выбранная для прогнозирования Y , позволила получить более точный прогноз показателя жесткости на растяжение.

Таким образом, статистическая обработка числовых значений показателей технологической надежности, осуществляемая с помощью ИАС, способна оказывать информационную поддержку и существенную помощь лицу, принимающему решение, в процессе формирования группы показателей для оценки технологической надежности нитей. Кроме того, такое использование возможностей системы позволяет значительно повысить объективность принимаемых решений о составе группы показателей технологической надежности нитей.

5.2 Оценка весомости факторов, определяющих технологическую надежность нитей

При решении различных задач, связанных с оценкой технологической надежности нитей, все операции, как правило, сводятся к действиям с различными показателями качества и их группами (анализ, сравнение и т. д.). Однако при этом обязательным является учет «веса» показателей в общей оценке технологической надежности. Рассмотрим пример, когда сравнительная оценка технологической надежности нитей проводится по комплексному показателю качества, который определяется уравнением вида:

$$K^i = V_1^i X_1 + V_2^i X_2 + \dots + V_n^i X_n, \quad (5.1)$$

где i – номер источника различий (номер поставщика, партии и т. п.); K^i – комплексный показатель качества; X_i – единичные показатели качества; V_j – весовой коэффициент ($j = 1 \dots n$).

Уравнение (5.1) показывает, что комплексная оценка технологической надежности нитей невозможна без ввода весовых коэффициентов, отражающих технологическую значимость, весомость каждого показателя на фоне остальных. От правильной оценки таких коэффициентов зависят результаты сравнения. Особенностью системы весовых коэффициентов является то, что она должна быть нормированной. Так, для рассматриваемого примера:

$$V_{\text{сум.}} = V_1 + V_2 + \dots + V_n = 1. \quad (5.2)$$

Причем $V_{\text{сум.}} = 1$, при любом количественном и качественном составе выбранной группы показателей.

Весовые коэффициенты либо устанавливаются оператором, либо вычисляются ИАС, по специальным алгоритмам с использованием базы данных. Надо сразу подчеркнуть, что выбор весовых коэффициентов диктуется не только субъективными соображениями лица, принимающего решения. Во многих случаях в значениях этих коэффициентов отражаются объективные требования к технологической надежности нитей применительно к различным условиям ее переработки. Вариация весовых коэффициентов позволяет, таким образом, исследовать еще и чувствительность содержания получаемого заключения от соотношения их значений.

Использование системы весовых коэффициентов в действиях с группами показателей позволяет избежать эффекта «уравнивания» качества, когда мы не в состоянии обнаружить различия, в то время как объективно они существуют. Таким образом, система весовых коэффициентов позволяет выделить наиболее значимые показатели технологической надежности нити.

Преимущества использования ИАС в процессе оценки весомости показателей технологической надежности нити сводятся к тому, что лицо, принимающее решение, получает возможность использовать информацию, извлекаемую либо непосредственно из базы данных, либо получаемую путем соответствующей математической или логической обработки этих данных. Покажем, каким образом использование ИАС позволяет найти систему величин, моделирующую систему весовых коэффициентов.

Известно, что при проведении корреляционного и регрессионного анализа, который реализуется соответствующим приложением ИАС, кроме прочих статистических характеристик имеется естественная возможность вычисления оценок коэффициента детерминации. Причем,

используя систему, оператор имеет данные по нескольким моделям, например, по линейной и двум нелинейным (квадратической и гиперболической).

Есть все основания считать, что коэффициент весомости показателя является пропорциональным величине его коэффициента детерминации. Это дает возможность сразу перейти от ряда коэффициентов детерминации к нормированному ряду показателей весомости. Например, если получен ряд значений коэффициента детерминации B_i (где $i = 1, 2, 3 \dots n$, а n – число факторов), то показатель весомости V_i определяется соотношением:

$$V_i = \frac{B_i}{\sum_{i=1}^n B_i}, \quad (5.3)$$

из чего следует, что $\sum_{i=1}^n V_i = 1$.

Например, для данных, представленных в таблице 5.1 и использованных для построения прогноза, переход от коэффициентов детерминации к коэффициентам весомости представлен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Расчет коэффициентов весомости для построения прогноза (табл. 5.2)

Зависимости	$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$	Σ
коэффициент детерминации для линейной модели, $B_i, \%$	17,29	8,85	18,24	55,62	$\Sigma B_i = 100$
коэффициенты весомости, V_i	0,17	0,09	0,18	0,56	$\Sigma V_i = 1$

Таким образом, ИАС оказывает принципиальную поддержку лицу, принимающему решение, в вопросе оценки значимости показателей технологической надежности нити. Это позволяет снизить степень субъективности при принятии решения и тем самым повысить обоснованность таких решений.

5.3 Сравнительная оценка технологической надежности нитей

Одной из важных задач, решаемых с помощью ИАС для оценки технологической надежности нитей, является сравнительная оценка. Необходимость в сравнении технологической надежности нитей доста-

точно часто возникает в реальных производственных ситуациях. Сравнительная оценка технологической надежности нитей с помощью ИАС реализуется в результате взаимодействия базы данных и соответствующих программных приложений системы. Возможности разработанной системы позволяют провести сравнительную оценку технологической надежности нитей в двух режимах:

- сравнение технологической надежности нитей одного поставщика за два периода;
- сравнение технологической надежности нитей двух поставщиков.

Результаты сравнительной оценки могут служить ценной информацией для анализа качества сырья от различных поставщиков, выработки успешной политики предприятия в работе с ними и в целом для системы менеджмента качества. Кроме того, сравнительная оценка технологической надежности нитей позволяет проследить динамику уровня качества сырья, поставляемого любым предприятием-поставщиком.

На практике технологическое качество нити определяется всегда набором показателей ее физико-механических свойств. В частности, стандартизованные характеристики образуют набор минимального объема. Следовательно, сравнение нитей сводится в любом случае к сравнению наборов показателей технологической надежности [85]. Рассмотрим, какие трудности могут возникнуть при решении задачи сравнения на примере сравнения двух наборов показателей.

Пусть X_i' и X_i'' ($i = 1, 2, 3, \dots$) – наборы показателей технологической надежности двух нитей, подлежащих сравнению. Будем считать, что все показатели позитивные и нормированные, так как и позитивность, и нормированность можно обеспечить соответствующими преобразованиями показателей качества. Возможны три случая:

- все X_i' больше всех одноименных X_i'' ;
- все X_i' меньше всех одноименных X_i'' ;
- k показателей ($k < n$) X_i' отличаются от k одноименных показателей X_i'' , $(n - k)$ показателей X_i' неотличимы от $(n - k)$ одноименных показателей X_i'' .

При этом предполагается, что понятия «больше», «меньше» и «неразличимы» определяются статистически по специальным критериям, например Стьюдента.

Ясно, что в первом и во втором случаях трудности, связанные со сравнением наборов показателей качества, отсутствуют. В третьем случае сравнительная оценка нитей возможна при использовании специальных (весовых) коэффициентов, отражающих технологическую значимость. Нами разработан алгоритм, позволяющий осуществить сравнительную оценку в третьем случае. Он состоит из следующей последовательности шагов.

Шаг 1. Устанавливаем признаки X_1, X_2, \dots, X_k , по которым проводится сравнение технологической надежности нитей, принадлежащих к двум партиям, в каждой из которых отражается действие одного из источников различий качества нитей. Вводим соответствующие им позитивные удельные количественные показатели: X_i' и X_i'' ($i = 1, 2, 3, \dots k$).

Шаг 2. Путем измерений и (или) вычислений строим серию количественных оценок для каждого i -го показателя.

Шаг 3. Сравниваем по выбранному статистическому критерию (параметрическому или непараметрическому) при заданном уровне доверительной вероятности серии количественных оценок одноименных показателей X_i' и X_i'' . В большинстве случаев доверительная вероятность принимается равной 0,95. Если для всех $i = 1, 2, 3, \dots k$ $X_i' < X_i''$ или $X_i' > X_i''$, то сразу делается соответствующий вывод о технологической надежности нитей в сравнительном плане. Если знаки неравенств в парах одноименных показателей оказались разными или если лишь часть введенных показателей выделилась как статистически различимая, то выполняется шаг 4 алгоритма, а статистически неразличимые показатели в дальнейшем не рассматриваются.

Шаг 4. Нормируем статистически различимые показатели, используя соотношение:

$$Z_i = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_i^{max}} \quad (5.4)$$

где Z_i – нормированное значение показателя, причем $Z_i \in [0;1]$; \bar{X}_i – среднее значение показателя; \bar{X}_i^{max} – максимальное из всех средних значений показателя, находящихся в базе данных и относящихся к выбранному классу нитей.

Шаг 5. Вычисляем взвешенное значение показателя, используя систему весовых коэффициентов V_i :

$$\hat{Z}_i = V_i \cdot Z_i. \quad (5.5)$$

Шаг 6. Вычисляем так называемые индексы технологического качества сравниваемых нитей как расстояния от начала координат p -мерного пространства показателей до точек с координатами $(\hat{Z}_i)'$ и $(\hat{Z}_i)''$, геометрически отображающих в этом пространстве каждый из сравниваемых наборов показателей:

$$Ik_1^2 = \left[\sum_{i=1}^p [(\hat{Z}_i)']^2 \right] \cdot q, \quad Ik_2^2 = \left[\sum_{i=1}^p [(\hat{Z}_i)']^2 \right] \cdot q, \quad (5.6)$$

где q – множитель, принимаемый равным единице, если при оценке технологического качества нити отходы на стадии вязания не учитываются, и вычисляемый через долю отходов Q по формуле: $q = (1 - Q)^2$, $Q \in [0; 1]$, если эти отходы учитываются и величины их различимы по используемому статистическому критерию для нитей сравниваемых партий.

Рассмотрим на примере, каким образом находятся индексы качества Ik . Пусть необходимо найти Ik для трех показателей Z_1, Z_2, Z_3 , используя векторную концепцию. Взвешенные значения (вычисленные в 5-м шаге алгоритма) откладываются по осям трехмерного пространства как вектора (рис. 5.1).

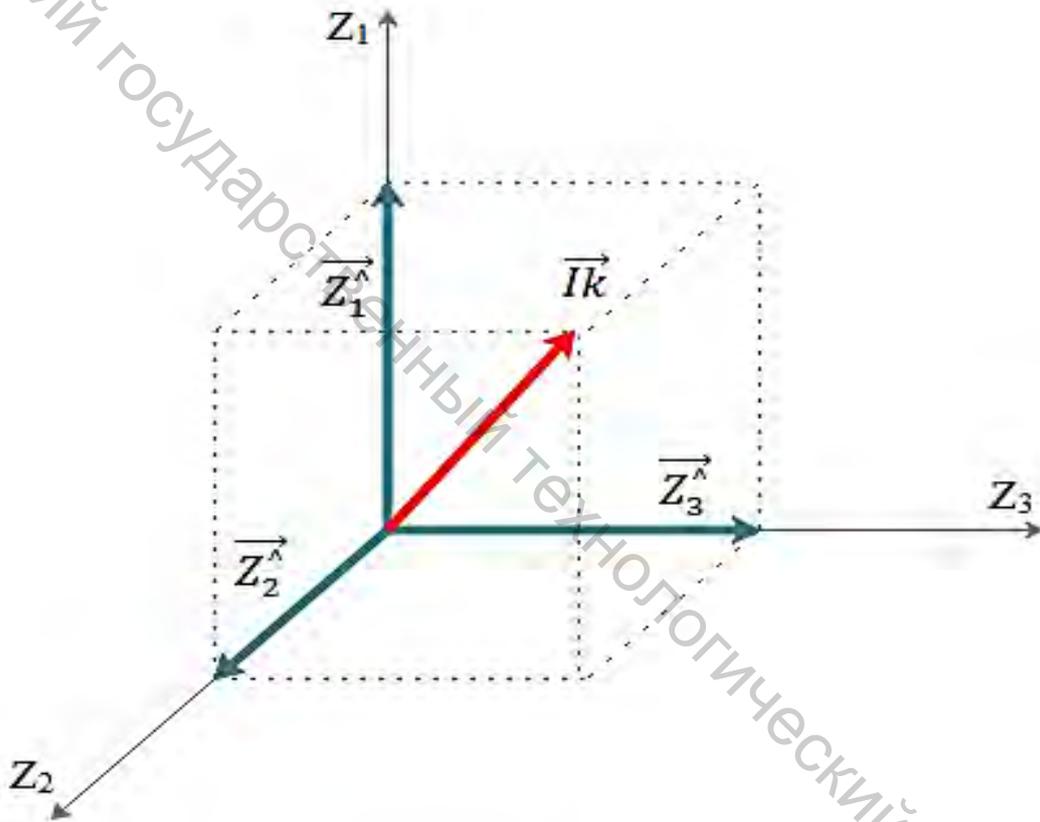


Рисунок 5.1 – Векторный принцип построения индекса качества Ik

Результирующий вектор \vec{Ik} является векторной суммой векторов \vec{Z}_1^{\wedge} , \vec{Z}_2^{\wedge} и \vec{Z}_3^{\wedge} с длиной, определяемой соотношением (5.6) при $q = 1$.

Шаг 7. Вычисляем абсолютную ошибку индекса технологического качества нитей по формуле:

$$\Delta a = \sqrt{\sum_{i=1}^p [C_i \cdot Z_i^{\wedge}]^2}, \quad (5.7)$$

где C_i – коэффициент вариации значений i -го показателя, $C_i \in [0;1]$.

Шаг 8. Вычисляем разность индексов технологического качества нитей как разность векторов, имеющих компоненты, равные средним значениям используемых показателей технологического качества нитей:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^p [(Z_1^{\wedge})' - (Z_1^{\wedge})'']^2}. \quad (5.8)$$

Например, при проведении сравнительной оценки качества по двум показателям меру различия между индексами качества графически можно представить следующим образом (рис. 5.2):

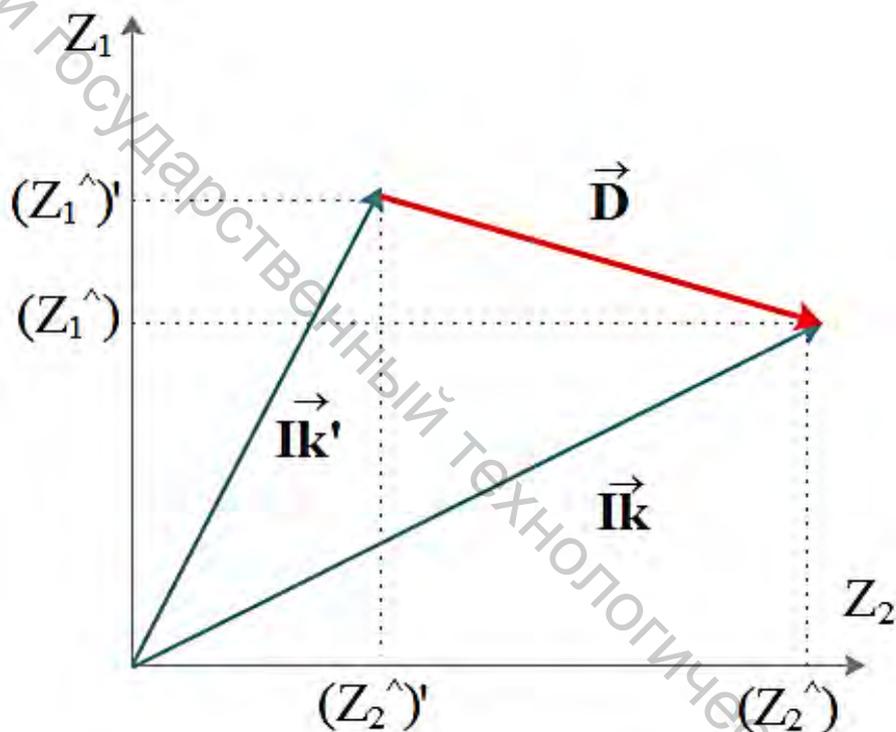


Рисунок 5.2 – Сравнительная оценка качества по двум показателям

Шаг 9. Вычисляем абсолютную ошибку разности индексов технологического качества нитей как сумму абсолютных ошибок индексов сравниваемых нитей:

$$\Delta Ik = \Delta a_1 + \Delta a_2. \quad (5.9)$$

Шаг 10. Сравниваем разность \$D\$ индексов технологического качества нитей с ее абсолютной ошибкой \$\Delta Ik\$. Если \$D > \Delta Ik\$, то можно сделать достоверный вывод о том, что нить с более высоким значением индекса обладает более высокой технологической надежностью. Если \$D < \Delta Ik\$, то заключение о том, что нить с большим значением индекса обладает более высокой технологической надежностью, становится вероят-

ностным. Для оценки доверительной вероятности такого заключения выполняется шаг 11.

Шаг 11. Вычисляем доверительную вероятность сравнительной оценки технологической надежности нитей по следующей формуле:

$$P_D = \frac{\Delta I k}{D}. \quad (5.10)$$

Из последней формулы следует, что при $D < \Delta I k$ отношение $\Delta I k / D$ как мера доверительной вероятности P_D становится равной единице или превышает ее, следовательно, соответствующее заключение о технологической надежности нитей становится статистически достоверным.

Особенность предложенного алгоритма состоит в формулировке вероятностного заключения тогда, когда категорическое заключение оказывается невозможным. Таким образом, этот алгоритм ориентирован именно на человеко-машинную систему, в которой на пользователя возлагаются функции «оценщика», в данном случае уровня вероятности, а, следовательно, и значимости различий между объектами сравнения. Кроме того, замену вероятностным суждением, формируемым компьютером, можно расценивать как шаг в направлении объективирования оценок ситуаций, в которых присутствует выраженная логическая многозначность, выступающая в форме информационной неопределенности. При использовании описанного алгоритма реальным становится слежение за изменением вероятности различий, а это открывает путь к возможности распознать зарождение различий задолго до того, как они станут видимыми.

Описанный выше метод сравнительной оценки, реализуемый ИАС, может использоваться в выработке политики предприятия в работе с поставщиками. На основании данных сравнения целесообразно вести мониторинг качества поступающего сырья.

5.4 Прогнозирование технологической надежности нитей

Одной из важнейших возможностей ИАС для оценки технологической надежности нитей является прогнозирование, существенно влияющее на функционирование и стабильность технологического процесса [94].

Прогнозирование технологической надежности нити связано с построением прогнозов значений ее количественных критериев – единичных и обобщенного – с использованием математических. Уравнение таких моделей будет использоваться в работе для получения оценок веро-

ятных значений критериев технологической надежности нити, то есть ее прогнозов.

Соотношениями (2.7) и (2.21) введены обобщенный и комплексный критерий технологической надежности K_1 . Перепишем их еще раз. Итак, имеем:

$$K_1 = \frac{\lambda}{V \cdot t}, \quad (5.11)$$

$$K_1 = a \cdot b \cdot c \prod_{i=2}^4 \log(2 - K_i). \quad (5.12)$$

Нетрудно заметить, что величины, входящие в правую часть выражения (5.12), после исключения из их состава величины q являются априорными, в то время как в правой части выражения (5.11) все величины апостериорные. Поэтому с достаточным основанием можно утверждать, что K_1 – это апостериорный эквивалент группы априорных величин, характеризующих технологические свойства нити.

Достаточно очевидно, что с практической стороны выражение (5.12) для комплексного критерия технологической надежности K_1 имеет преимущества: в нем все величины могут быть получены достаточно легко. В то же время в выражении (5.11) присутствует весьма непростая в определении величина λ . Между тем само по себе существование выражения (5.11) для обобщенного критерия K_1 имеет принципиальное значение, так как оно раскрывает ту важнейшую особенность величины K_1 , которая оказывается решающей в выборе K_1 в качестве обобщенного критерия технологической надежности нити, а именно: физическую нормировку ($K_1 \in [0;1]$) и прозрачность технологического смысла этой величины (как вероятности безотказной работы машины). Без знания выражения (5.11) принятие K_1 в качестве обобщенного критерия технологической надежности в соответствии с положениями теории надежности было бы гораздо менее обоснованным.

Факт существования выражений (5.11) и (5.12) можно эффективно использовать следующим образом. Значение K_1 из (5.11) подставляем в (5.12). В итоге получаем:

$$\lambda = C \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot V \cdot t. \quad (5.13)$$

Полученное соотношение связывает обрывность λ с показателями качества нитей и важнейшим параметром технологического режима их переработки – скоростью V . Из практики известно, что величина λ – важный показатель технологических свойств нитей и надежности технологического процесса их переработки.

Использование модели в качестве инструмента построения прогноза технологической надежности нитей предполагает знание ряда величин, указанных на блок-схеме на рисунке 2.1. Оценивая возможность их практического определения, следует отметить, что если часть из них можно оценить путем прямых измерений (и это будет самый приемлемый путь), то такая величина, как q – скорость образования отходов, для прямого измерения требует опытной переработки. Но она может быть определена косвенными измерениями, то есть путем вычисления по уравнениям, связывающим эту величину с другими величинами, которые могут быть измерены прямо. Но тогда возникает необходимость выявления величин, тесно с ней коррелированных.

Представленный в этом разделе алгоритм основан на принципах стохастического программирования, так как задача прогнозирования технологических параметров всегда решается в условиях неполной исходной информации. Кроме того, генерация подходящей модели неизменно связана с многовариантностью, а это можно рассматривать как признак информационной неопределенности [95].

Рассматриваемая задача прогнозирования связана с поиском решения в сменяющихся одна другую производственных ситуациях и различающихся порой весьма существенно. При традиционном подходе к построению модели, используемой для прогнозирования в условиях риска и неопределенности, упор делается на осреднение, на конструирование такой модели, которая в среднем хорошо работает в условиях случайных колебаний исходных данных.

Однако более эффективен другой подход, связанный с использованием случайного механизма корректировки, когда начальная модель по мере поступления новой информации изменяется как по числу входящих в нее факторов, так и по другим параметрам в зависимости от текущей ситуации.

Особенность предлагаемого алгоритма прогнозирования, реализующего адаптивный принцип, заключается в том, что реализация его связана с участием оператора (человека). Это обстоятельство не может рассматриваться как недостаток алгоритма. Напротив, в условиях нарастания риска отрицательных последствий неправильного управленческого решения, неполноты исходных данных или их противоречивости, человек с его опытом, профессиональными знаниями, наконец, с интуицией оказывается единственно возможным генератором решающих правил, способным удерживать производственный процесс по меньшей мере на приемлемом уровне в течение интервала времени, по завершении которого ситуация становится более определенной и доступной компьютеру для алгоритмического анализа.

Блок-схема алгоритма прогнозирования с использованием адаптивной модели представлена на рисунке 5.3. Дадим ей развернутую характеристику. В блоке 1 осуществляется выбор начальной группы пока-

зателей, рассматриваемых как факторы, определяющие прогнозируемый параметр. Выбор ведется в диалоговом режиме: оператор ↔ компьютер. Компьютер выводит на дисплей возможную группу показателей, которую она выбирает из библиотеки групп в зависимости от прогнозируемого параметра.

В этой библиотеке каждому параметру, который может быть выбран в качестве прогнозируемого, поставлена в соответствие определенная группа показателей. Оператор, используя опыт работы в подобной системе, отмечает те показатели, которые на его взгляд представляют наиболее важные факторы, связанные с прогнозируемым параметром. Отмеченные показатели образуют начальную группу. В дальнейшем эта группа может корректироваться как по составу, так и по численности.

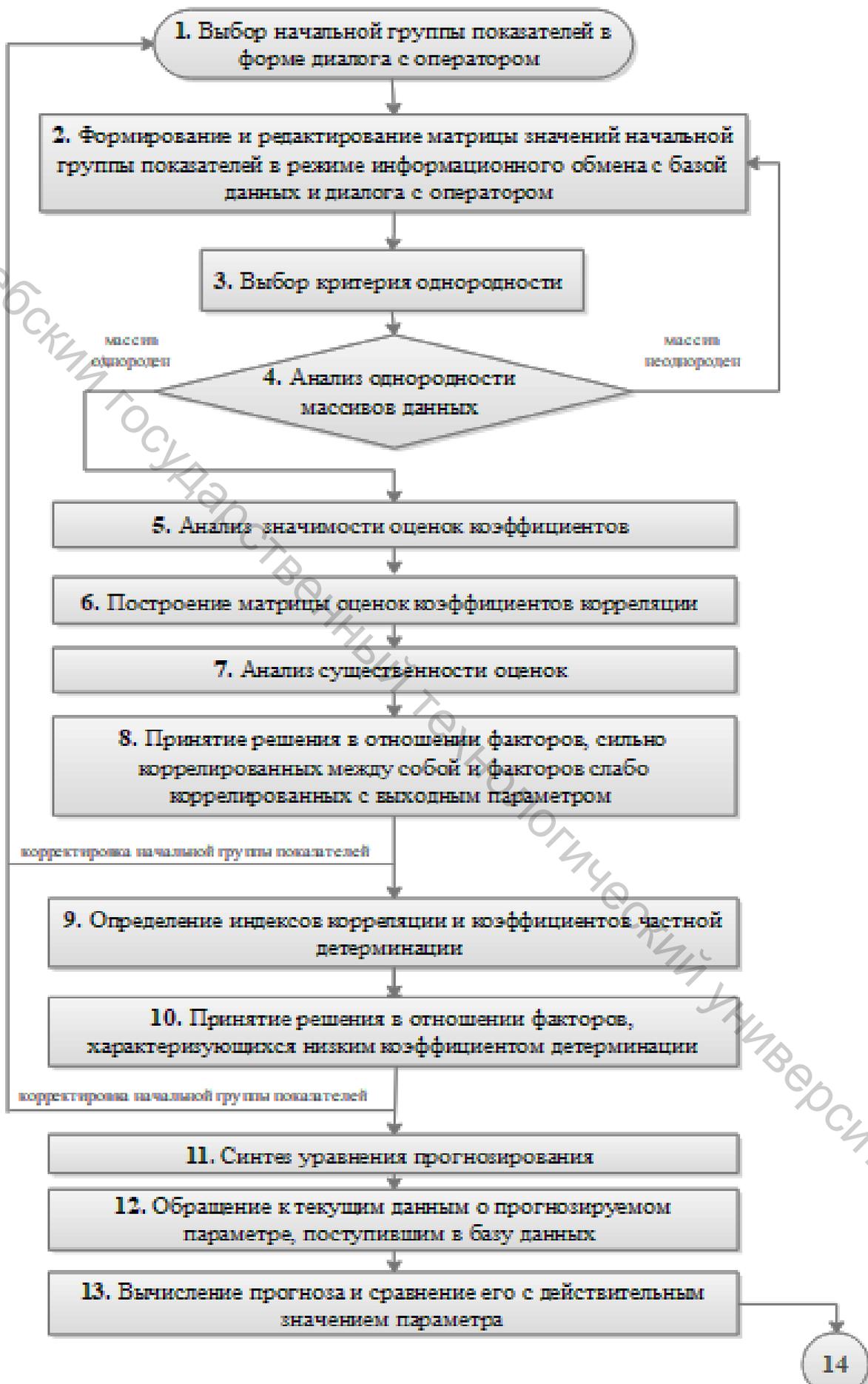
После выбора показателей осуществляется формирование матрицы значений выбранных показателей путем обращения к базе данных и диалога с оператором – блок 2. При этом возможно их редактирование по усмотрению оператора. В блоке 4 производится анализ однородности массивов данных.

Оценка статистической однородности массивов исходных данных может проводиться как по запросу оператора, так и программно компьютером с учетом объема массива, наличия или отсутствия информации о виде функций распределения и по другим признакам. При этом компьютер взаимодействует с оператором в диалоговом режиме, так как во многих ситуациях правила принятия решения не могут быть формализованы.

Например, при обнаружении бимодальных распределений или при выявлении аномальных отклонений (выбросов), естественный отказ от использования которых уменьшает объемы первичных данных до уровней ниже доверительных. Вообще говоря, вопрос об оценке «качества» массива исходных данных является исключительно важным. При обнаружении неоднородности какого-либо массива производится переход к блоку 2 и принятие соответствующих решений.

В блоке 6 выполняется построение матрицы оценок коэффициентов корреляции между всеми показателями, входящими в состав выделенной группы. С помощью этой матрицы решаются два вопроса:

- какова степень статистической независимости показателей;
- какова теснота линейной корреляционной связи между выходным параметром (критерием технологической надежности нити) и остальными показателями.



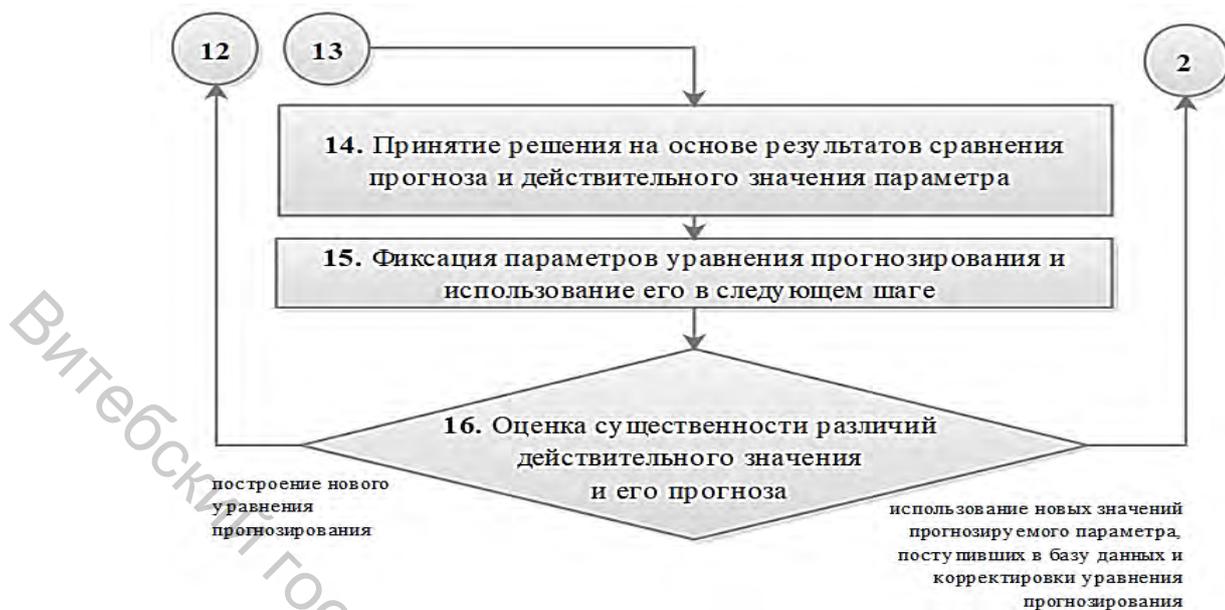


Рисунок 5.3 – Блок-схема адаптивной модели прогнозирования значений технологических параметров

Одновременно вычисляются статистические ошибки оценок коэффициентов корреляции и критические значения этих коэффициентов. В зависимости от соотношений между построенными оценками коэффициентов корреляции, их ошибками и критическими значениями делаются соответствующие выводы о статистической значимости и существенности оценок коэффициентов корреляции. При этом оценка любого коэффициента корреляции обязательно принадлежит к одному из трех следующих типов:

- статистически незначимая (не превосходит уровень своей статистической ошибки);
- статистически значимая, но не подтверждающая гипотезу о линейности связи (превышает уровень статистической ошибки, но не превышает уровень критического значения), т. е. указывающая на несущественность линейных корреляционных связей;
- статистически значимая и подтверждающая гипотезу о линейности связи между параметрами, т. е. существенная.

При получении статистически незначимых оценок компьютер может принять решение об увеличении объема данных запрашиваемых из базы данных с целью подавления статистической неопределенности получаемых оценок коэффициентов корреляции. При нехватке данных или чрезмерном вынужденном наращивании объема данных, участвующих в вычислительном процессе, компьютер делает соответствующие запросы оператору, согласовывая с ним и тем самым корректируя свои действия.

Важно отметить, что обязательным условием должно быть ограничение объема данных, извлекаемых из базы для оценки конкретного

вида и параметров уравнения прогнозирования, так как при чрезмерном возрастании такого объема уравнение прогнозирования будет экстраполировать наперед существенно устаревшие тенденции.

При использовании компьютера в зависимости от того, к какому типу оказалась принадлежащей оценка коэффициента корреляции, на дисплей она выводится в соответствующем цвете или на фоне определенной градации серого цвета. Это позволяет оператору визуально оценить все корреляционное поле. Такая форма представления данных является более эргономичной и удобной для пользователя.

Матрица корреляций позволяет проанализировать правильность решения по созданию группы показателей, в наибольшей степени связанных с прогнозируемым параметром – *блок 10*. Ситуации здесь могут быть самыми разными. В одних случаях выполняется возврат к *блоку 1* и пересмотр состава группы показателей, например, при высоких коэффициентах корреляции между отдельными показателями.

В других, например, при незначимых коэффициентах корреляции переход к *блоку 10* и построение частных зависимостей выходного параметра от каждого из введенных показателей в рамках нелинейных моделей – параболической или гиперболической с оценкой корреляционных отношений или индексов корреляции и частных коэффициентов детерминации. При этом матрица оценок коэффициентов корреляции может быть заменена матрицей оценок корреляционных отношений или индексов корреляции. По коэффициентам детерминации проводится вторая корректировка начальной группы показателей – *блок 1*. При этом компьютер или оператор устанавливают пороговый уровень коэффициента детерминации и сравнивают с ним вычисленные оценки коэффициентов детерминации по каждому показателю из начальной группы. Те показатели, для которых эти коэффициенты ниже порогового уровня, выводятся из состава начальной группы.

Здесь следует отметить возможность возникновения ситуации, когда после перебора всех возможных групп показателей в качестве основных не удалось отыскать группу, достаточно тесно коррелированную с прогнозируемым параметром. В таких случаях надо еще раз проанализировать качество исходных данных и оценить достаточность объема массивов этих данных.

Нельзя обходить вниманием то обстоятельство, что далеко не всегда возможно построение группы показателей, сильно коррелированных с прогнозируемым параметром. В частности, такая ситуация может возникнуть при прогнозировании отходов, если в состав этой группы не входят такие показатели, как число пороков нити на единицу длины, коэффициент тангенциального сопротивления и другие. Именно они порой являются определяющими, хотя в большом числе случаев значения показателей этих свойств отсутствуют в используемых базах данных. Основными причинами, как правило, является отсутствие необходимых

средств измерений и ТНПА, обязывающих систематически определять показатели этих свойств и регулярно вводить их в базы данных. Для оператора должна быть совершенно «прозрачной» ситуация, когда, несмотря на все усилия, ему не удастся выделить группу показателей с достаточным уровнем корреляций, связанную с прогнозируемым параметром, в данном случае с величиной отходов при вязании. В такой ситуации важно отдавать себе отчет в том, что часто показатели, которые в действительности определяют технологическую надежность нити, отсутствуют, а имеющихся в наличии недостаточно, чтобы «объяснить» те или иные технологические явления, например, рост отходов.

После решения вышеописанных принципиальных и технических вопросов осуществляется переход к выполнению операций блока 11. С другой стороны, переход к этому блоку может быть выполнен по команде оператора в любом случае. Блок 11 – синтез уравнения прогнозирования. В общем случае это нелинейная модель регрессионного типа. Она строится как взвешенная сумма однофакторных моделей, построенных в блоке 9. По отношению к любой паре параметров $Y \rightarrow Xi$, где Y – прогнозируемый параметр, а Xi – выбранный показатель, может быть построена либо линейная, либо параболическая, либо гиперболическая модель. Выбор одной из них осуществляется по величине дисперсии адекватности [41] или коэффициенту детерминации. Взвешивание производится путем умножения суммы однофакторных моделей на некоторый коэффициент «А», обеспечивающий равенство средних экспериментальных значений прогнозируемого параметра и его значения, вычисляемого по модели. Пусть, например,

$$Y = f(X_1, X_2, X_3). \quad (5.14)$$

При этом

$$\begin{aligned} Y_1 &= B_{01} + B_{11}X_1, \\ Y_2 &= B_{02} + B_{12}X_2 + B_{22}X_2^2, \\ Y_3 &= B_{03} + B_{13}/X_3. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Тогда

$$Y = A(Y_1 + Y_2 + Y_3). \quad (5.16)$$

Или

$$Y = A\{(B_{01} + B_{11}X_1) + (B_{02} + B_{12}X_2 + B_{22}X_2^2) + (B_{03} + B_{13}/X_3)\}. \quad (5.17)$$

Подставив в последнее соотношение средние значения переменных, получим выражение для величины A :

$$A = \frac{Y}{\{(B_{01} + B_{11}X_1) + (B_{02} + B_{12}X_2 + B_{22}X_2^2) + (B_{03} + B_{13}/X_3)\}} \quad (5.18)$$

После построения подходящей модели выполняется переход к блоку 6, в котором вычисляется оценка прогноза параметра и показателей его неопределенности, например, ошибки, доверительной вероятности или доверительного интервала. В блоках 13 и 14 прогнозируемые значения сравниваются с действительными, полученными после переработки нити, по отношению к которой строился прогноз – блок 12. Эти действительные значения вводятся в базу данных после получения информации о результатах переработки нитей в тех технологических условиях, применительно к которым строился прогноз. Выявленные различия оцениваются по альтернативным статистическим критериям – параметрическому и непараметрическому, в качестве которых могут быть применены, например, критерии Стьюдента и Колмогорова-Смирнова. Эффективность этих критериев всесторонне проверена автором при анализе соответствующих данных в круглочулочном производстве. Проведенное сравнение либо дает основания для фиксации уравнения прогнозирования и использования его в неизменном виде на последующем шаге (блоки 16 и 12), либо обновление матрицы значений исходной группы показателей и возможная корректировка уравнения во всем объеме алгоритма.

Представленный алгоритм может быть реализован только человеко-машинной системой (ЧМС). Его особенность заключается в логике адаптации. Главным моментом в ней является полный отказ от всякой заранее вводимой определенности. Ничего не задается предварительно – ни вида уравнения прогнозирования, ни списка показателей, определяющих параметр прогнозирования, ни объема предыдущих данных, используемых для оценки параметров уравнения прогнозирования. Например, на предшествующем шаге в уравнение прогнозирования может входить 5 показателей, а уже на последующем – только один. Все определяется самими данными.

В рамках предложенного алгоритма цель обработки данных – получение информации о составе группы показателей, по которым можно построить прогноз параметра с приемлемой точностью. Следовательно, основной упор здесь делается не на вычислительный процесс, а на данные. Иными словами, конечный результат определяется в большей мере данными, так как они подчиняют себе используемую вычислительную процедуру.

Таким образом, вычислительный процесс оказывается инструментом извлечения информации из массивов первичных данных. При этом

гибкость вычислительных процедур обеспечивает получение более полной информации о составе группы показателей с точностью более высокой, чем в случае применения традиционных статистических подходов к обработке данных.

5.5 Выбор оптимального маршрута переработки нитей

Важнейшей задачей, решаемой в условиях лабораторий входного контроля трикотажных предприятий, является выбор оптимального маршрута переработки сырья. Существенную поддержку в ее решении способна оказать ИАС, реализующая прямой режим расчета технологической надежности нитей. Интерфейс этого режима представлен в приложении Л.

Сформированная по запросу оператора таблица данных для расчета показателя технологической надежности нити содержит значения показателей физико-механических свойств нити и ряд параметров режима вязания. Эти данные отражают имеющийся опыт переработки конкретной нити на различных видах оборудования. Расчет показателя технологической надежности производится с использованием выражения (2.22), установленного в главе 2. По показателю технологической надежности осуществляется выбор «наилучшего» маршрута переработки текстильной нити.

Значение показателя технологической надежности принадлежит интервалу $[0;1]$, соответственно, чем ближе значение данного показателя к 1, тем большую надежность проявляет нить в процессе вязания. Среди имеющихся вариантов маршрутов переработки сырья, в качестве оптимального выбирается тот, для которого значение показателя технологической надежности наибольшее.

Особенностью работы режима расчета показателя технологической надежности нити является то, что кроме выбора оборудования, на котором ее целесообразно перерабатывать, ИАС позволяет оценить с точки зрения технологической надежности нити возможные варианты переработки сырья в то или иное изделие. Это возможно в случае учета при расчете показателя технологической надежности нити вида и артикула изделий, вырабатывавшихся из данной нити ранее. Выбор также осуществляется в пользу того варианта, который характеризуется наибольшим значением показателя технологической надежности.

Таким образом, с помощью ИАС возможно определить не только техническое направление переработки сырья, связанное с использованием того или иного вида оборудования, но и приемлемый ассортиментный перечень изделий, которые можно выработать из данного вида

нитей.

ИАС в режиме расчета показателя технологической надежности дает словесное заключение о наиболее приемлемом маршруте переработки, общий вид которого представлен на рисунке 5.4.



По показателю *технологической надежности* данную нить целесообразно перерабатывать на _____ для производства _____
(тип оборудования)
изделий артикула _____
(обозначение артикула)

Рисунок 5.4 – Общий вид словесного заключения о наиболее приемлемом маршруте переработки нити по показателю технологической надежности

Такая форма представления заключения соответствует принципу эргономичности, в соответствии с которым разрабатывалась ИАС, и обеспечивает однозначное восприятие оператором результатов и выводов.

При практическом использовании возможностей ИАС в выборе оптимального маршрута переработки сырья окончательное решение принимает оператор, руководствуясь условиями конкретной ситуации, производственной программой и другими факторами. Однако опыт апробации ИАС в условиях предприятий трикотажной отрасли показал, что в 85 % случаев при решении задачи о выборе технологического маршрута переработки партии нитей заключение инженера лаборатории входного контроля совпадает с выводами, сделанными системой [97, 98]. Следует отметить, что при взаимодействии ИАС и оператора, последний действует гораздо увереннее и быстрее, т. к. имеет возможность сравнить собственные выводы с заключением ИАС.

Этот говорит о достоверности результатов работы ИАС по выбору оптимального технологического маршрута и существенной поддержке, оказываемой системой инженеру лаборатории входного контроля. Кроме того, режим расчета показателя технологической надежности может служить своеобразным инструментом самоконтроля лица, принимающего решения, что особенно важно при реализации на предприятии системного подхода к техническому контролю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время решение почти всех оперативных вопросов в любой производственной сфере связано с анализом конкретной технологической информации. Роль методов и средств ее получения и анализа с целью выработки управленческих решений непрерывно возрастает. И причины здесь связаны не только с необходимостью повышения производительности труда, эргономикой или ресурсосбережением. Главное соображение состоит в обеспечении возможности обнаружения скрытых резервов как материально-технического, так и технологического порядка. При этом подобные скрытые резервы остаются резервами лишь в течение некоторого времени, по истечении которого они исчезают. Если за это время их не удастся обнаружить и использовать, то «момент оказывается упущенным», т. к. потенциальные возможности в конкретной ситуации исчезают вместе с ее изменением, т. е. невозвратимо.

По отношению к пряже и нитям, используемым в трикотажном производстве, сказанное в высшей степени применимо. Введенная в поле зрения в данной работе технологическая надежность нити не просто термин. По сути дела – это сложное и особое качество нити, обуславливающее своеобразие производственных процессов получения трикотажных изделий. К нему легко прийти, если учесть, что связи между производственными параметрами вариативны, склонны к хаотизации, обусловленной отсутствием согласованности развития во времени ситуаций, в которых создается конкретный продукт. Более того, представленное исследование тяготеет к представлению о технологической надежности нити, как к некоему сверхкачеству, оценка и слежение за которым возможна только в конкретном производственном процессе. Технологическая надежность как качество не существует сама по себе подобно, в частности, жесткости на изгиб, прочности, линейной плотности и т. п. Технологическая надежность – скорее эффект, возникающий при взаимодействии нити с производственным оборудованием в конкретных условиях – кинематических, динамических, физических, климатических, технологических и др.

Подобно тому, как, например, стробоскопический эффект возникает в мозгу человека при восприятии объекта, совершающего циклическое движение при определенных условиях освещения, так и технологическая надежность нити становится «видимой» лишь при взаимодействии нити с технологическими объектами в конкретном производственном процессе. В этом основной элемент позиции авторов в вопросе о праве на существование термина «технологическая надежность нити».

Так можно ли управлять технологической надежностью нити? Вся данная работа представляет не что иное, как ответ на этот вопрос. И ответ положительный, если под управлением понимать весь доступный ЛПР комплекс действий, направленных на минимизацию отходов сырья. Описанная в работе компьютерная информационно-аналитическая система выступает в качестве усилителя возможностей лиц, принимающих решения. Именно в ней достижимо естественное и эффективное смыкание лабораторий входного контроля и технологических участков, достижимо на уровне информационном. На нем перестают быть значимыми методы, средства, приемы получения информации. Важен здесь лишь результат – отображение производственного процесса в информационном поле, способом представления которого могут быть компьютерные базы данных. А это прямо ведет к устранению противоречий в отношении применимости между стандартизованными и нестандартными методами и средствами измерений в трикотажной отрасли.

Производственные ситуации, связанные с переработкой нитей, порою не просто сложны. Нередко их трудно не назвать причудливыми. Однако, если отказаться от чрезмерных статистических усреднений, если к ситуациям, непрерывно сменяющим друг друга в реальном производственном процессе, подходить в разумной мере дифференцированно, то можно обнаружить замечательные частности, учет которых позволяет быстро принять аргументированное решение.

Большой технической, а скорее – технико-экономической, проблемой являются средства измерений. И наиболее приемлемое направление (с технической и экономической точек зрения) в поиске ее решения, на взгляд авторов, связано с расширением измерительных возможностей имеющегося парка средств измерений. На конкретных примерах показано, сколь эффективной и достаточно простой технически оказывается агрегирование приборов и устройств с компьютером, широко сейчас распространенными и сравнительно недорогими. Измерительно-вычислительный комплекс, представленный в главе 3 работы, имеет достаточно высокие метрологические характеристики, измерительные возможности, по которым он мало уступает зарубежным аналогам, а также высокие технико-экономические показатели, оправдывающие его изготовление и применение в производственных условиях. Опыт многолетней эксплуатации таких комплексов на ряде предприятий Республики Беларусь (ОАО «КИМ», г. Витебск, РУП «Центр научных исследований легкой промышленности», г. Минск, учебные лаборатории УО «ВГТУ» и др.) является подтверждением этого.

В работе также рассмотрен вопрос о связи технологической надежности нитей с устойчивостью производственных процессов, рассматриваемой с позиций теории катастроф. Ряд производственных явлений хорошо вписывается в представления этой теории. В сочетании с эстиматорами функций распределения подходы к оценке устойчивости

производственных процессов с позиций теории катастроф могут привести к качественно новому математическому аппарату для изучения течения таких процессов в условиях нестационарных, отличающихся перепадами свойств сырья, состояния технологического оборудования, степени квалификации работников, уровня технологической дисциплины.

В целом вопросы, рассмотренные в работе, взяты непосредственно из производственной практики и нашли свое применение в производстве и других организациях. Ряд компьютерных программ, разработанная информационно-аналитическая система и оболочки баз данных эффективно функционировали в условиях ОАО «КИМ», г. Витебск. Во взаимодействии с предприятием на протяжении всего периода использования производилась корректировка эргономических свойств ИАС, расширялся круг решаемых задач, систематизировалась база данных.

Многолетний период разработки вопросов, связанных с технологической надежностью текстильной нити и ее оценкой в условиях производства, подытоживает данная монография, которая представляет спектр результатов исследований и разработок в указанной области: от теоретических концепций до их практической реализации. Главным разработчиком темы, ее руководителем, генератором идей и двигателем их реализаций являлся доцент, кандидат технических наук НАУМЕНКО Александр Александрович.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зайцев, Г. Н. Управление качеством. Технологические методы управления качеством изделий: учебное пособие / Г. Н. Зайцев. – СПб.: Питер, 2017. – 352 с.

2. Афанасьев, В. А. Техническое регулирование и управление качеством / В. А. Афанасьев [и др.]. – Москва : КД Либроком, 2017. – 256 с.

3. Ковалев, А. И. Менеджмент качества функционирования предприятий / А. И. Ковалев, А. С. Зенкин, А. И. Химичева. – Москва : ПП Цюпак, 2018. – 520 с.

4. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учебное пособие / Ю. П. Лукашин. – Москва: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.

5. Алексеев, Н. И. Статика и установившееся движение гибкой нити / Н. И. Алексеев. – Москва : Легкая индустрия, 1970. – 267 с.

6. Минаков, А. П. К вопросу о форме баллона и натяжении нити в шелко-крутильных машинах американской и итальянской систем / А. П. Минаков // Известия Московского текстильного института. – Том 1. – Вып. 1. – 1927. – С. 1–4.

7. Мильченко, И. С. Теория угла кулирования / И. С. Мильченко // Трикотажная промышленность, 1934, № 2. – С. 9–14.

8. Мильченко, И. С. Теория угла кулирования / И. С. Мильченко // Трикотажная промышленность, 1934, № 6. – С. 5–10.

9. Мильченко, И. С. Теория угла кулирования / И. С. Мильченко // Трикотажная промышленность, 1935, № 1. – С. 21–24.

10. Пинхасович, В. Г. Сопротивление нити при скольжении по неподвижным пруткам / В. Г. Пинхасович // Сборник научно-исследовательских трудов Московского текстильного института. – Том 4, 1936. – С. 373–392.

11. Болдырев, А. С. Исследование перетяжки нити на круглочулочном автомате / А. С. Болдырев // Трикотажная промышленность, № 5, 1940. – С. 17–20.

12. Тихомиров, Е. П. О малой жесткости / Е. П. Тихомиров // Вестник инженеров и техников, № 4, 1934. – С. 158–161.

13. Абрамов, Е. А. Трение пряжи о крючковые иглы круглого сечения. Автореф. канд. дисс. – Москва : МТИ, 1943. – 56 с.

14. Далидович А. С. Основы теории вязания. – Москва : Гизлегпром, 1948. – 422 с.

15. Минаков, А. П. К вопросу о равновесии идеально гибкой нити на шероховатой поверхности. Основы теории наматывания и сматывания нити / А. П. Минаков // Ученые записки МГУ. – Москва : издательство МГУ, Том IV. – Вып. 154, 1951. – С. 241–266.

16. Щербаков, В. П. Стационарное движение нити в основоязальной машине с крючковыми иглами при операции нанесения / В. П. Щербаков // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности, № 1, 1970. – С. 138–142.

17. Щербаков, В. П. Научные основы переработки нитей в трикотажном производстве : диссертация ... доктора технических наук : спец. 05.19.03 – Москва : МТИ, 1983. – 342 с.

18. Щербаков, В. П. Теория и критерии устойчивости нити при вязании / В. П. Щербаков [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 3 (351). – С. 63–68.

19. Цитович, И. Г. Теоретические основы стабилизации процесса вязания / И. Г. Цитович. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 137 с.

20. Цитович, И. Г. Технологическое обеспечение качества и эффективности процессов вязания поперечновязаного трикотажа : Монография. – Москва : Легпромбытиздат, 1992. – 240 с.

21. Матуконис, А. В. Изучение свойств текстильных материалов с учетом их высокопроизводительной переработки / А. В. Матуконис // Текстильная промышленность. – 1985. – № 9 – С. 59–61.

22. Перепелкин, К. Е. Дефектность и технологическая работоспособность нитей – основные факторы стабильности процессов их получения и переработки / К. Е. Перепелкин // Вестник МГТА. – 1994. – № 4 – С. 139–151.

23. Сафонов, П. Е. Разработка метода расчета критерия технологичности арамидной нити в процессе ткачества / П. Е. Сафонов, С. С. Юхин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 1 (343). – С. 78–81.

24. Цибикидоржиева А. В. Оценка технологичности нитей при выработке тканей различных переплетений: Дисс... канд. техн. наук. – Москва : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2009. – 160 с.

25. Карпушенко, И.С. К вопросу о качестве сырья в трикотажном производстве и его влиянии на качество готовой продукции / И.С. Карпушенко // Проблемы формирования ассортимента, качества и конкурентоспособности товаров: материалы международной научно-практической конференции, Гомель, 2004 / УО ГИПК. – Гомель, 2004. – С. 78–81.

26. Ефремова, С. А. Актуальные проблемы текстильной промышленности / С. А. Ефремова, Л. В. Кетат, В. Е. Дербишер // Материалы IV Всероссийской конференции «Прогрессивные технологии в обучении и производстве», Камышин, 2006; под общ. ред. Назаровой М. Н. : в 4 томах. – Волгоград, 2006. – Том 2. – С 13–15.

27. СТБ 2195-2011. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – Введ. 01-01-2012. – Минск : Госстандарт, 2012. – 56 с.

28. СТБ ISO 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 01-03-2016. – Минск : Госстандарт, 2016. – 36 с.

29. Шалов, И. И. Технология трикотажного производства : (Основы теории вязания), учебное пособие / И. И. Шалов, А. С. Далидович, Л. А. Кудрявин. – Москва : Легкая промышленность, 1984. – 245 с.

30. СТБ ISO 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – Введ. 01-03-2016. – Минск : Госстандарт, 2016. – 60 с.

31. Соловьев, А. Н. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов / А. Н. Соловьев, С. М. Кирюхин. – Москва : Легкая и пищевая промышленность. – 1984. – 213 с.

32. Кирюхин, С. М. Контроль и управление качеством текстильных материалов / А. Н. Соловьев, С. М. Кирюхин. – Москва : Легкая индустрия, 1977. – 311 с.

33. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) : учебник для вузов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 352 с.

34. Нарисава, И. Прочность полимерных материалов: пер. с яп. / Икуо Нарисава; под ред. Т. Екобори; пер. Ю. М. Товмасын; ред. перевода А. А. Берлин. – Москва: Химия, 1987. – 398 с.

35. Щербаков, В. П. Прикладная механика нити: учебное пособие. – Москва : РИО МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2001. – 301 с.

36. Науменко, А. А. Оценка показателей вязкоупругих свойств волокон и нитей по кривым ползучести / А. А. Науменко, И. С. Карпушенко // Вестн. УО «Полоцкий государственный университет». Серия С. Фундаментальные науки; редкол. В. А. Груздев [и др.]. – 2005. – № 4. – С. 158–161.

37. Кулезнев, В. Н. Химия и физика полимеров : учебное пособие / В. Н. Кулезнев, В. А. Шершнев. – 3-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 368 с.

38. Матуконис, А. В. Инструментальный метод определения деформационных характеристик нитей и тканей повышенной растяжимости / А. В. Матуконис [и др.] // Доклады VII Всесоюзной научной конференции по текстильному материаловедению. – Вильнюс-Каунас, 1971. – С.203–210.

39. Ласавичюс, В. А. Влияние процесса петлеобразования на разрывные характеристики химических нитей / В. А. Ласавичюс, Р. Ф. Жиемялис, С. А. Крауледас // Сборник трудов ЦНИИТЭИлегпром. – Москва, 1979. – С. 93–94.

40. Элиас, Г. Г. Мегамолекулы; пер. с англ. / под ред. С. Я. Френкеля. – Ленинград : Химия, 1990. – 272 с.

41. Большой политехнический энциклопедический словарь / под общ. ред. Б. Я. Белова [и др.] – Москва : Наука и техника, 2005. – 635 с.

42. Надежность и эффективность в технике. Справочник. Т. 1. Методология, организация, терминология / под ред. А. И. Рембезы. – Москва : Машиностроение, 1986. – 224 с.

43. Сорин, Я. М. Физическая сущность надежности. – Москва : Изд-во стандартов, 1969. – 78 с.

44. Каган, В. М. Взаимодействие нити с рабочими органами текстильных машин. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 185 с.

45. Гусева, А. А. Общая технология трикотажного производства: учебник для ВУЗов / А. А. Гусева. – Москва : Легпромбытиздат, 1987. – 296 с.

46. Соловьев, А. Н. Измерение и оценка свойств текстильных материалов. – Москва : Легкая индустрия, 1986. – 215 с.

47. Науменко, А. А. Технологическая надежность нитей и ее оценка / А. А. Науменко, И. С. Карпушенко // Вестн. УО «Витебский государственный технологический университет»; редкол. С. М. Литовский [и др.]. – 2005. – № 7. – С. 24–26.

48. Шустов, Ю. С. Методы подбора и размерности в текстильной промышленности. – Москва : МГТУ им. Косыгина, 2002. – 191 с.

49. Карпушенко, И. С. Оценка численности группы показателей, определяющих способность нити к вязанию в трикотажном производстве // Научно-техническая конференция преподавателей и студентов УО «ВГТУ»: тез. докл. конф., Витебск, 26 апреля 2004 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2004. – С. 86

50. Рогов, В. А. Методика и практика технических экспериментов : учебное пособие для вузов / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – Москва : Академия, 2005. – 283 с.

51. Седов, Л. И. Методы подбора и размерности в механике / Л. И. Седов. – 10-е изд., доп. – Москва : Наука, 1987. – 430 с.

52. Алабужев, П. М. Теория подбора и размерностей. Моделирование / П. М. Алабужев [и др.]. – Москва : Высшая школа, 1968. – 206 с.

53. Науменко, А. А. Технологическая надежность нитей в трикотажном производстве / А. А. Науменко, И. С. Карпушенко // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС-2002): материалы международной научно-технической конференции, Иваново, 2002 / ИГТА; редкол. Г. И. Чистобородов [и др.]. – Иваново, 2002. – С. 49.

54. Надежность и эффективность в технике. Справочник. Том 2. Математические методы в теории надежности и эффективности / под ред. А. И. Рембезы. – Москва: Машиностроение, 1986. – 224 с.

55. Николис, Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – Москва : Мир, 1990. – 342 с.

56. Кане, М. М. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: учебное пособие / М. М. Кане, Б. В. Иванов, В. Н. Корешков, А. Г. Схиртладзе. – СПб.: Питер, 2008. – 580 с.

57. Виноградов, И. М. Математическая энциклопедия. Том 4 / И. М. Виноградов. – Москва : Наука, 1999. – 843 с.

58. Сухорученков, Б. И. Анализ малой выборки. Прикладные статистические методы / Б. И. Сухорученков. – Москва : Вузовская книга, 2010. – 384 с.

59. Севостьянов, А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности : учебник для студентов высших учебных заведений / А. Г. Севостьянов. – Москва : МГТУ им. А.Н. Косыгина : Совьяж Бево, 2007. – 646 с.

60. Бардушкин, В. В. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие. Ч. 2: Математическая статистика / В. В. Бардушкин, А. М. Ревякин, И. В. Бардушкина. – Москва : МИЭТ, 2017. – 223 с.

61. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион // пер. с англ. – Москва : Мир, 1980. – 611 с.

62. Постон, Т. Теория катастроф и ее приложения / Т. Постон, И. Стюарт; пер. с англ. [и предисл.] А. В. Чернавского. – Москва : Мир, 1980. – 607 с.

63. Науменко, А. А. Устойчивость технологических систем в трикотажном производстве : монография / А. А. Науменко. – Витебск : УО «ВГТУ», 2007. – 178 с.

64. Шпаков, П. С. Статистическая обработка экспериментальных данных / П. С. Шпаков, В. Н. Попов. – Москва : МГГУ им. Баумана, 2003. – 268 с.

65. Науменко, А. А. Компьютерные способы анализа качества текстильных нитей / А. А. Науменко, И. С. Карпушенко // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС-2002): материалы международной научно-технической конференции, Иваново, 2002 / ИГТА; редкол. Г. И. Чистобородов [и др.]. – Иваново, 2002. – С. 113

66. Autolab: General characteristic and opportunities. Rules of work. The survey information. – Budapest : Q-edition, 2003. – 56 p.

67. Фролова, И. В. Методы и средства контроля качества текстильных волокон, пряжи на предприятиях трикотажной промышленности: курс лекций. – Иваново : ИГТА, 2001. – 41 с.

68. Каталог оборудования для испытания волокон, нитей, пряжи, ленты фирмы «МЕТРОТЕКС» / под общ. ред. А. Н. Киселева [и др.]. – Москва : Метротекс, 2019. – 6 с.

69. Карпушенко, И. С. Производственное применение разработок в области информационных технологий / И. С. Карпушенко // Молодые

ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС-2004): материалы международной научно-технической конференции, Иваново, 2004 / ИГТА; редкол. Г. И. Чистобородов [и др.]. – Иваново, 2004. – С. 277–278.

70. Науменко, А. А. Компьютерная система для определения показателей фрикционных свойств текстильных нитей / А. А. Науменко, И. С. Капушенко // Тезисы докладов XXXV НТК преподавателей и студентов, Витебск, 2002 / УО ВГТУ; редкол. С. М. Литовский [и др.]. – Витебск, 2002. – С. 91–93.

71. Науменко, А. А. Автоматизация испытательного цикла маятниковых разрывных машин / А. А. Науменко // Сб. статей «Пути совершенствования технологических процессов в машиностроении». – Минск : «Университетское», 1990. – С. 112–116.

72. Науменко, А. А. Компьютерный контрольно-вычислительный комплекс на базе ПЭВМ для ЛВК предприятий текстильной и легкой промышленности / А. А. Науменко, И. С. Карпушенко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы международной научно-технической конференции, Минск, 2003 / УП «Технопринт» ; редкол. Б. М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2003. – С. 69.

73. ВЕ 178 А5. 00. 01 ТО. Преобразователь угловых перемещений фотоэлектрический. Модель ВЕ 178А5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Оршанский инструментальный завод, Республика Беларусь, Орша. – 19 с.

74. Карпушенко, И. С. Психологические аспекты применения компьютерных ИАС / И. С. Карпушенко // Актуальные проблемы гармонизации социально-трудовых отношений: материалы международной научно-практической конференции, Витебск, 2002 / ВФ УО ФПБ МИТСО; редкол.: В. В. Янч [и др.]. – Витебск, 2002. – С. 259–260.

75. Карпушенко, И. С. Информационно-аналитическая система для оценки качества сырья в системе менеджмента качества предприятия / И. С. Карпушенко // Сборник статей международной научно-технической конференции «Качество в XXI веке: системный подход и инновации / под общ. ред. В. Н. Корешкова. – Минск: БелГИСС, 2008. – С. 291–294.

76. Гвоздева, Т. В. Проектирование информационных систем. Учебное пособие / Т. В. Гвоздева, Б. А. Баллод. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 512 с.

77. Змитрович, А. И. Интеллектуальные информационные системы. – Минск : НТОО «ТетраСистемс», 1997. – 368 с.

78. Советов, П. М. Информационно-аналитическая система мониторинга в управлении предприятием: учебное пособие / П. М. Советов, Р. Г. Селезнев. – Вологда : ВГМА им. Верещагина, 2014. – 84 с.

79. Кониченко, А. В. Разработка экспериментального образца программного комплекса информационно-аналитической системы / А. В.

Кониченко, А. Т. Мергалиев, А. Н. Уваров // Инновации в информационно-аналитических системах: сб. научн. трудов. Вып. 6. – Курск : Научком, 2013. – С. 5–25.

80. Плаксицкий, А. Б. Информационно-аналитическая система прогнозирования пожароопасных свойств органических растворителей / А. Б. Плаксицкий, А. В. Калач, Е. В. Калач // Современные проблемы гражданской защиты. – Выпуск № 2 (7), 2013. – С. 29–37.

81. Железнов, О. В. Разработка модели информационно-аналитической системы мониторинга состояния конструкторского, технологического и производственного процессов авиастроительного предприятия / О. В. Железнов, А. А. Блюменштейн, М. С. Черников // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва. – № 5(36), 2012. – С. 227–282.

82. Половникова, А. А. Структура информационно-аналитической системы мониторинга здоровья студентов ВУЗа / А. А. Половникова, С. Б. Пономарев, Н. П. Соболева [и др.] // Кубанский научный медицинский вестник, № 3 (126), 2011. – С. 135–138.

83. Пьянков, О. В. Информационно-аналитическая система: назначение, роль, свойства / О. В. Пьянков // Информационная безопасность регионов, № 1 (14), 2014. – С. 21–26.

84. Кутовая, Я. Интеллектуальное превосходство: Китай ставит на мировое господство на рынке искусственного интеллекта. – Forbes : Режим доступа : <https://www.forbes.ru>. – Дата доступа : 12.05.2017.

85. Жилин, В. В. Искусственный интеллект в современных компьютеризированных системах / В. В. Жилин, И. И. Дроздова // Технические науки в России и за рубежом: материалы VII Междунар. науч. конф. (ноябрь 2017 г.). – Москва : Буки-Веди, 2017. – С. 23–26.

86. Коробов Н. А. Развитие теории и практики построения методов измерения характеристик строения текстильных материалов с использованием современных информационных технологий : дис. ... докт. технич. наук: 05.19.01 / Коробов Николай Анатольевич; Ивановский государственный политехнический университет. – Иваново, 2007. – 365 с.

87. Sistem HVI – Estimation of quality of a cotton fibre. The survey information. – Boston-USA : USDA, 2001. – 52 p.

88. Рыклин, Д. Б. Оценка качества текстильных нитей и полуфабрикатов с использованием приборов Uster Tester : монография / Д. Б. Рыклин, С. С. Медвецкий ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – 168 с.

89. Карпушенко, И. С. Информационно-аналитическая система для оценки качества сырья в трикотажном производстве / И. С. Карпушенко // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС-2004): материалы международной научно-технической конференции, Иваново, 2004 / ИГТА. – Иваново, 2004. – С. 303–304.

90. Карпушенко, И. С. Оценка качества сырья в трикотажном производстве с помощью компьютерной информационно-аналитической системы / И. С. Карпушенко // НИРС-2004: материалы международной научно-технической конференции аспирантов и студентов, Гродно, 2004 / ГрГУ. – Гродно, 2004. – С. 123–124.

91. Науменко, А. А. Нестатистические подходы к анализу состояний технологических систем / А. А. Науменко, И. С. Карпушенко // Вестн. УО «Витебский государственный технологический университет»; редкол. В.В. Пятов [и др.]. – 2008. – № 14. – С. 52–57.

92. Системный анализ и принятие решений. Словарь-справочник / Под ред. проф. В. Н. Волковой, проф. В. Н. Козлова. – Москва : Высшая школа, 2004. – 616 с.

93. Карпушенко, И. С. Алгоритм сравнительной оценки качества нитей в трикотажном производстве, реализуемой компьютерной ИАС / И.С. Карпушенко // Материалы юбилейной научно-практической конференции, Витебск, 2005 / УО ВГТУ. – Витебск, 2005. – С. 62–63.

94. Кузнецов, А. А. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей : монография / А. А. Кузнецов, В. И. Ольшанский. – Витебск : УО «ВГТУ», 2004. – 226 с.

95. Науменко, А.А. Алгоритм прогнозирования технологической надежности нитей в трикотажном производстве с применением адаптивных моделей / А. А. Науменко, И. С. Карпушенко // Текстиль, одежда, обувь: дизайн и производство: материалы международной практической конференции, Минск, 2002 / УО ВГТУ; редкол. С. М. Литовский [и др.]. – Витебск, 2002. – С. 91–93.

96. Карпушенко, И. С. Комплексная оценка качества нитей на этапе входного контроля в трикотажном производстве / И. С. Карпушенко,; И. С. Карпушенко // Качество товаров: теория и практика : материалы докладов международной научно-практической конференции, Витебск, 15-16 ноября 2012 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – С. 113–114.

97. Карпушенко, И. С. Технологическая надежность нитей и ее оценка в условиях производства / И. С. Карпушенко // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 27–28 ноября 2013 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2013. – С. 37–39.

98. Карпушенко, И. С. Концепция оценки технологической надежности нитей / И. С. Карпушенко,; И. С. Карпушенко // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 25-26 ноября 2015 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – С. 52–53.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Функциональные модели технологических процессов
производства трикотажных изделий

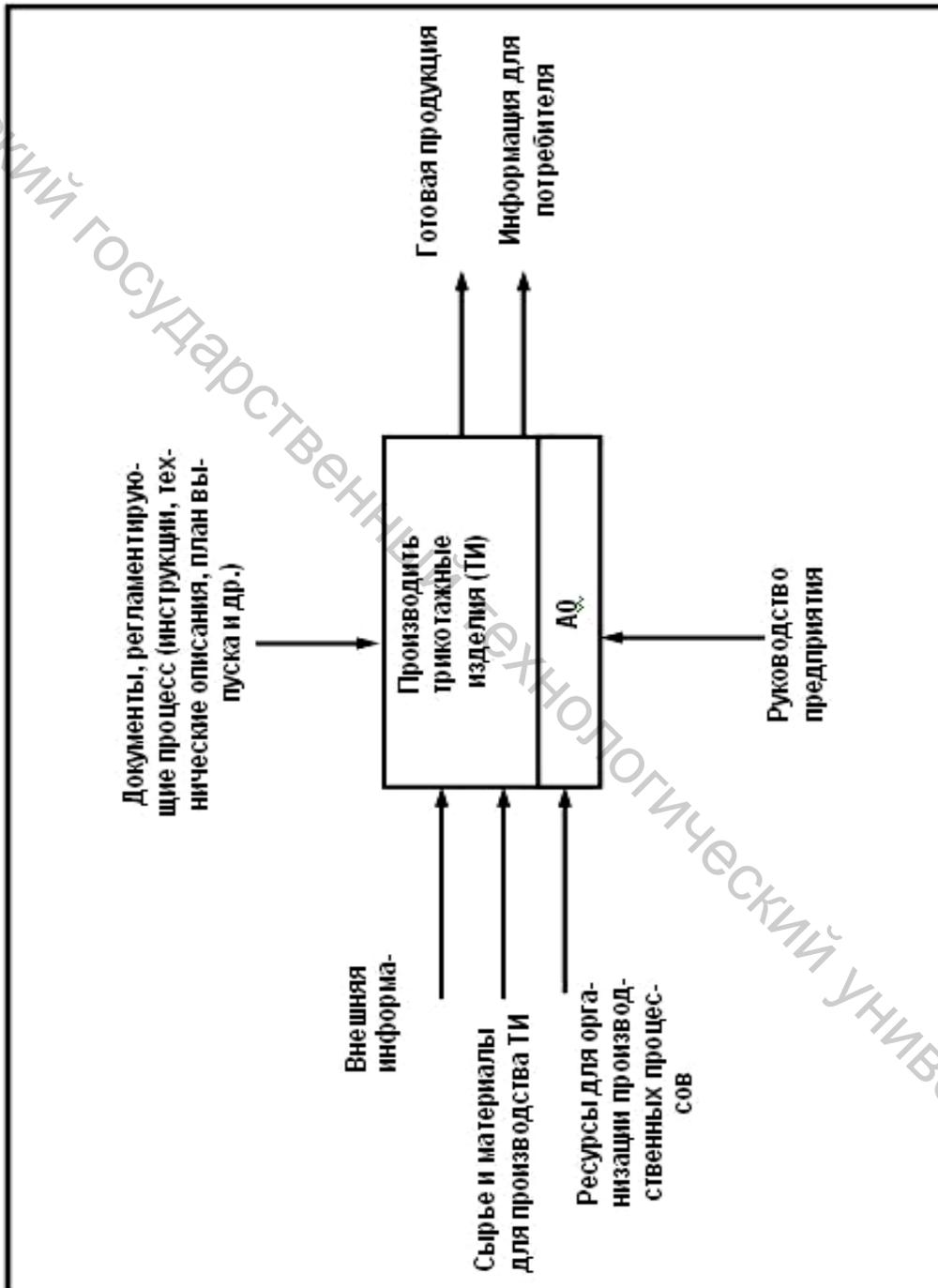


Рисунок А.1 – Функциональная модель процесса
«Производить трикотажные изделия»

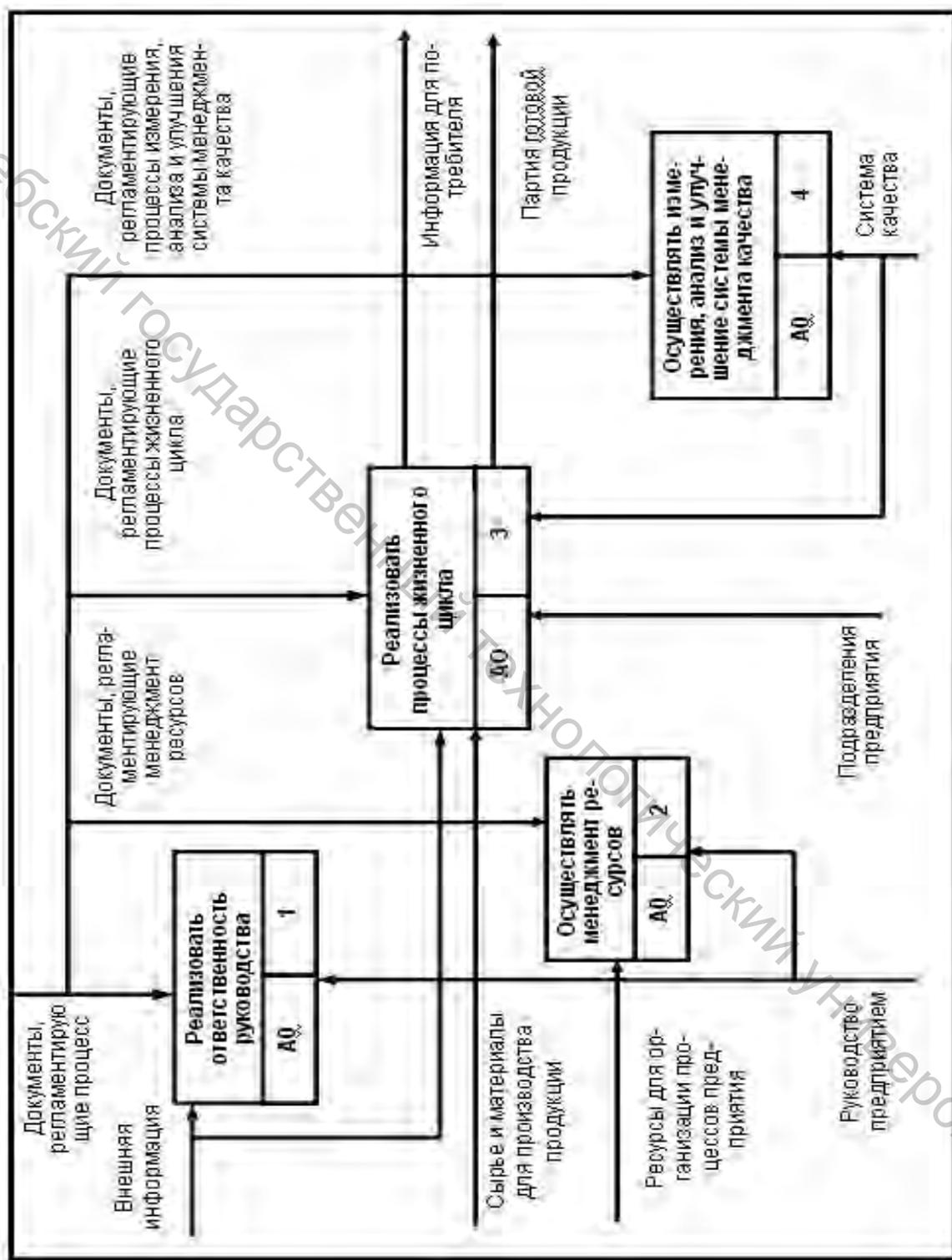
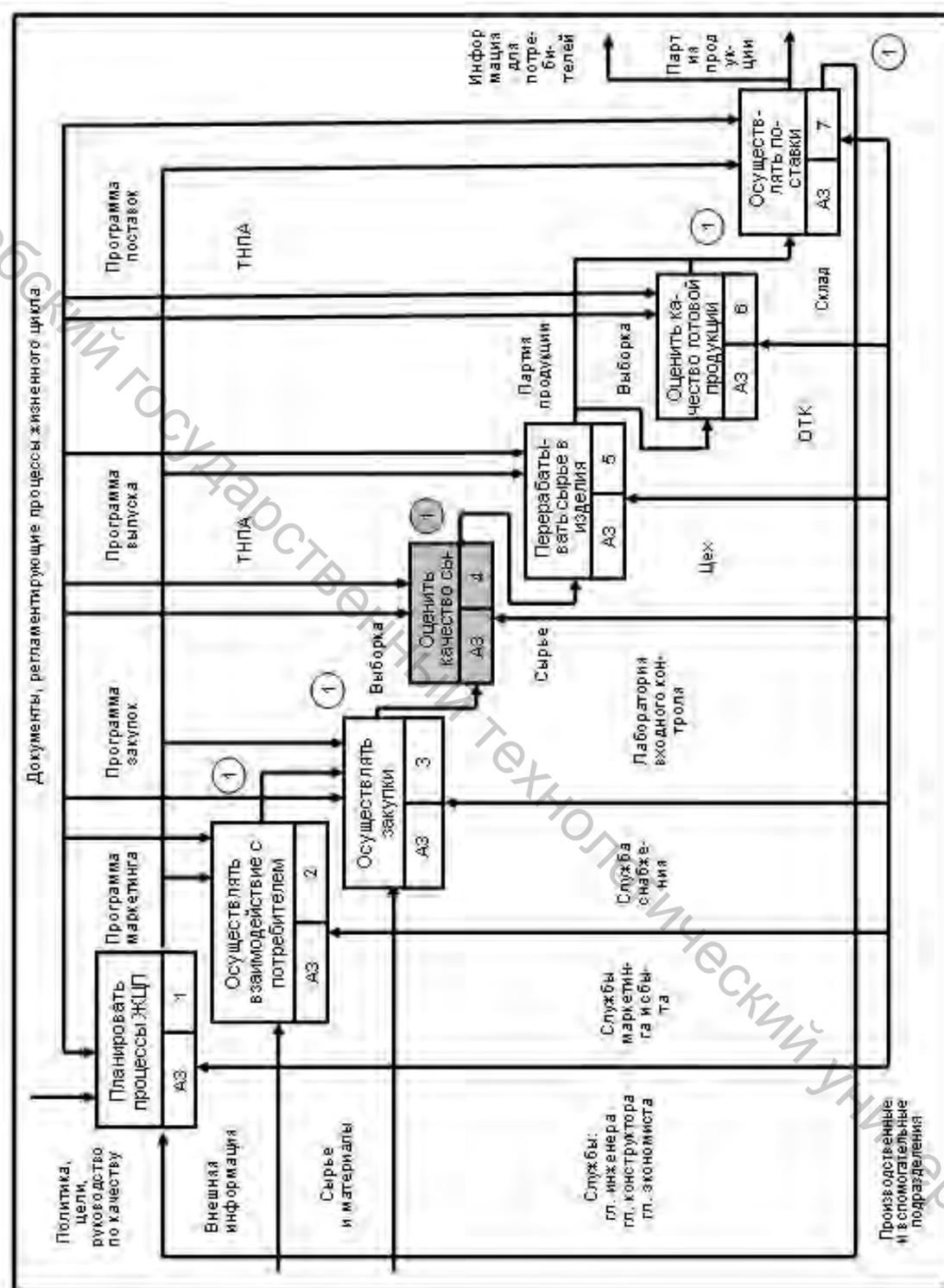


Рисунок А.2 – Декомпозиция процесса А0 «Производить трикотажные изделия»



1 - информация

Рисунок А.3 – Декомпозиция процесса А3
«Реализовать процессы жизненного цикла продукции»

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Общая характеристика измерительно-вычислительного комплекса для оценки показателей прочностных и деформационных свойств нитей

Состав комплекса

В состав измерительно-вычислительного комплекса входят:

– разрывные машины РМ-3, (шт.)	1...3
– преобразователь угловых перемещений маятника разрывной машины, (шт.)	1...3
– датчик перемещений нижнего зажима разрывной машины, (шт.)	1...3
– блок формирования сигнала готовности	1
– кабель связи преобразователя угловых перемещений, датчика перемещений нижнего зажима разрывной машины и блока формирования сигнала готовности интерфейсом ввода сигналов в компьютер, (шт.)	1 (с тройным разветвлением)
– персональный компьютер типа IBM, (шт.)	1
– интерфейс ввода, (шт.)	1

Технические характеристики комплекса

Напряжение питания, В:

– разрывных машин РМ-3	220
– персонального компьютера	(переменный ток)
– преобразователей угловых перемещений	+5
– датчика перемещений нижнего зажима	(постоянный ток)
– разрывной машины	±15;
– интерфейса ввода	+5 (постоянный ток)

Относительная погрешность измерения разрывной нагрузки, %

1

Погрешность измерения удлинения, мм

1

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Характеристика преобразователя ВЕ-178-А5

Фотоэлектрический преобразователь угловых перемещений модели ВЕ-178-А5 предназначен для использования в системах автоматического регулирования и для информационной связи по положению между исполнительными механизмами и устройством программного управления, а также в системах автоматического или автоматизированного контроля, регулирования и управления.

Количество выходных сигналов	6
U_1 – основной сигнал	+
U_2 – смещенный	+
U_0' – сигнал начала отсчета	+В
U_0 – инверсный начала отсчета	+В
Форма выходных сигналов	прямоугольная
Фазовый угол между сигналами U_1 и U_2 , град.	90
Длительность сигналов U_0' и U_0 в долях периода основного сигнала для ВЕ-178-А5	0,25–0,125
Допускаемая погрешность при перемещении на любой угол в пределах $(0-360)^\circ$, угловые секунды	240
Уровень сигналов при напряжении $E_k = 5В$ и сопротивлении нагрузки $R_H = 0,2 КОм$:	
– в состоянии логического "0" (нижний уровень) В	не более 0,5
– в состоянии логической "1" (верхний уровень) В	не менее 2,4

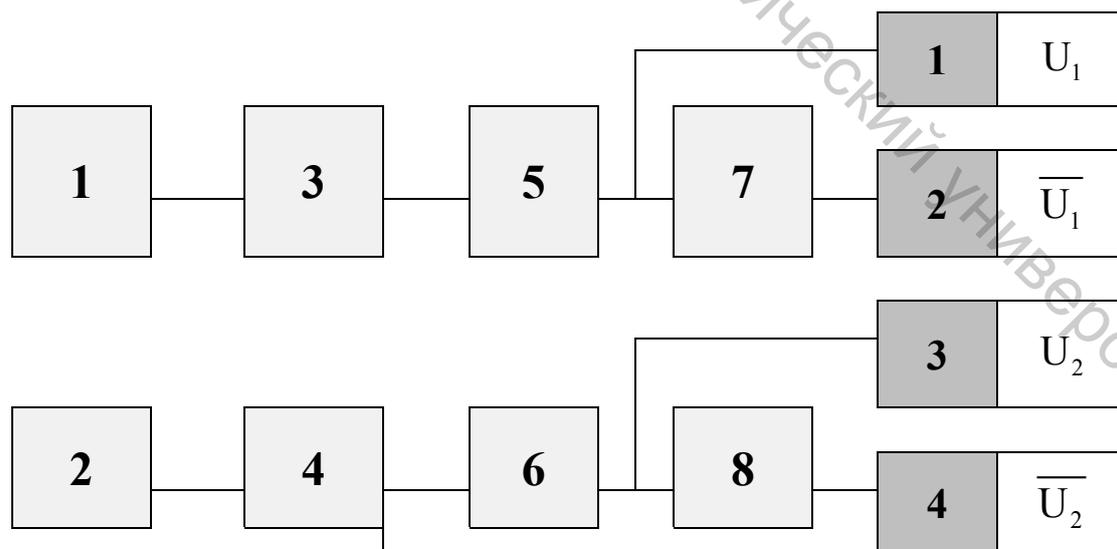


Рисунок В.1 – Блок-схема двух каналов преобразователя угловых перемещений ВЕ-178-А5

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Распределение сигналов информационного обмена между
разрывными машинами (РМ) и компьютером в измерительно-
вычислительном комплексе

№ РМ	№ разряда вход. (ВВ) и выход. (ВД) регистров	Сигнал
1	ВВ 00	Сигнал U1 датчика ВЕ-178
	ВВ 01	Сигнал U2 датчика ВЕ-178, смещенный на четверть периода повторения по отношению к сигналу U1
	ВВ 02	Сигнал С «контакт», поступающий от РМ в момент ее пуска
	ВВ 03	Выходной сигнал V фотоэлектрического датчика перемещения нижнего зажима разрывной машины
	ВВ 04	Сигнал R «Готовность»
	ВД 00	Сигнал S «Пуск»
2	ВВ 05	Сигнал U1 датчика ВЕ-178
	ВВ 06	Сигнал U2 датчика ВЕ-178, смещенный на четверть периода повторения по отношению к сигналу U1
	ВВ 07	Сигнал С «контакт», поступающий от РМ в момент ее пуска
	ВВ 08	Выходной сигнал V фотоэлектрического датчика перемещения нижнего зажима разрывной машины
	ВВ 09	Сигнал R «Готовность»
	ВД 02	Сигнал S «Пуск»
3	ВВ 10	Сигнал U1 датчика ВЕ-178
	ВВ 11	Сигнал U2 датчика ВЕ-178, смещенный на четверть периода повторения по отношению к сигналу U1
	ВВ 12	Сигнал С «контакт», поступающий от РМ в момент ее пуска
	ВВ 13	Выходной сигнал V фотоэлектрического датчика перемещения нижнего зажима разрывной машины
	ВВ 14	Сигнал R «Готовность»
	ВД 04	Сигнал S «Пуск»

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Общий вид рабочего места оператора измерительно-вычислительного комплекса, включающего три разрывные машины РМ-3



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Интерфейс режима «Сравнение поставщиков» ИАС

Возможности режима «Сравнение поставщиков» предусматривают получение *справки по базе данных* (рис. Ж.1).

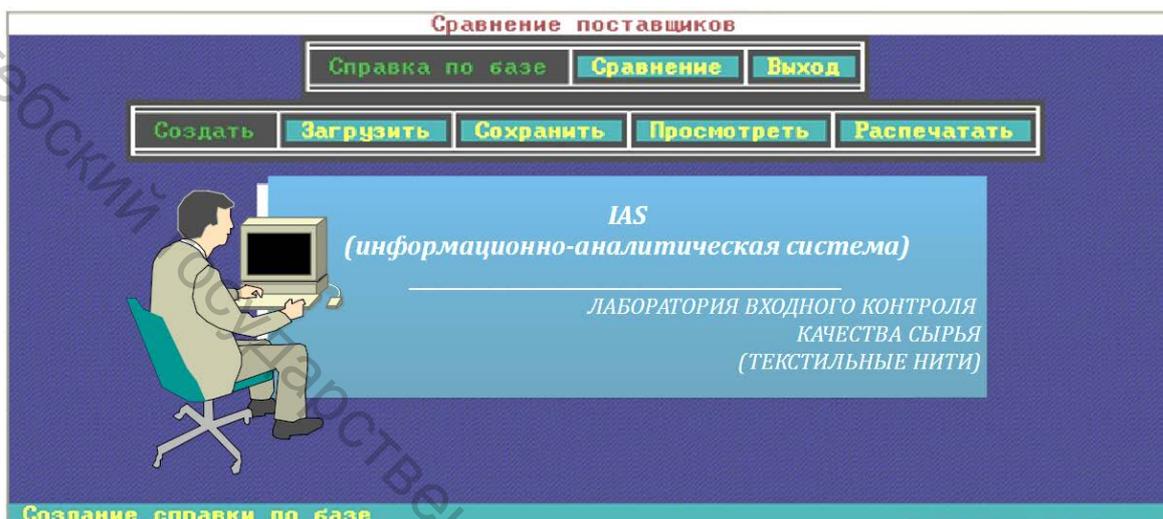


Рисунок Ж.1 – Интерфейс режима «Сравнение поставщиков». Справка по базе данных

Непосредственно *сравнение* качества пряжи различных поставщиков осуществляется в двух режимах: сравнение качества нитей одного поставщика за два периода и сравнение качества нитей двух различных поставщиков (рис. Ж.2, Ж.3).

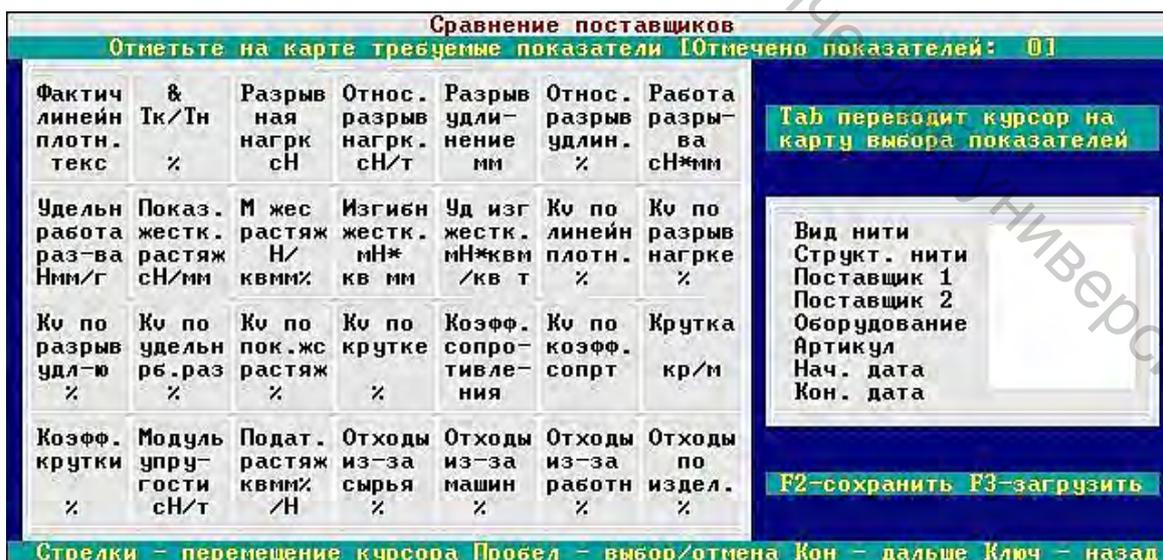


Рисунок Ж.2 – Интерфейс режима «Сравнение поставщиков». Сравнение качества нитей двух поставщиков

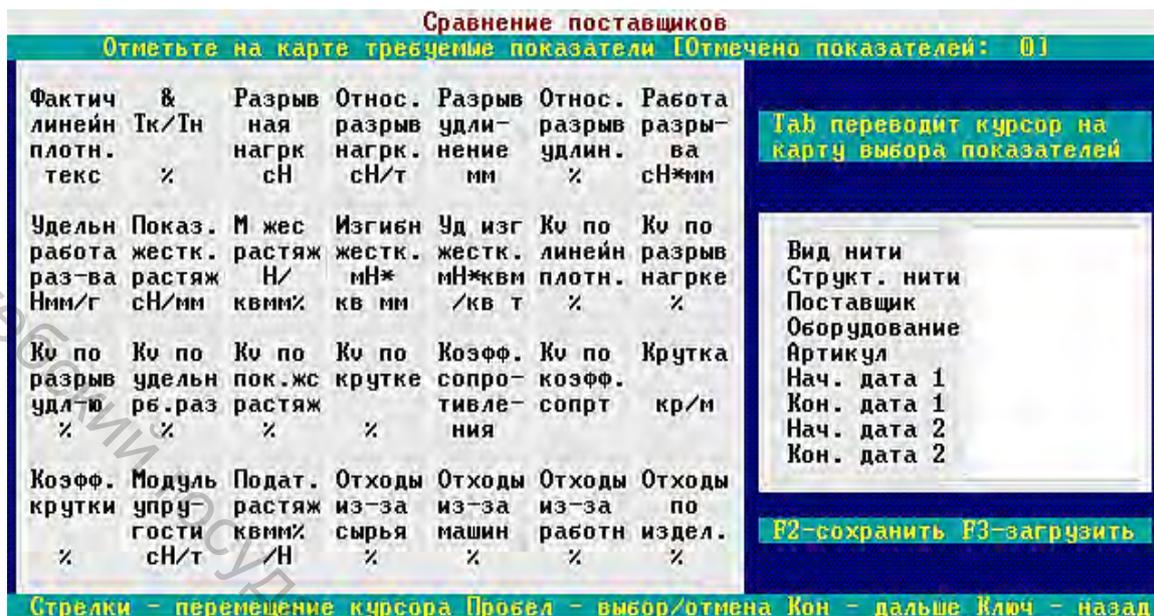


Рисунок Ж.3 – Интерфейс режима «Сравнение поставщиков». Сравнение качества нитей одного поставщика за два периода

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Интерфейс режима «Прогнозирование» ИАС

Возможности режима «Прогнозирование» предусматривают **выбор класса производства**, для которого осуществляется прогнозирование и идентификаторов, по которым проводится выбор показателей для прогнозирования (рис. И.1).

В режиме «Прогнозирование» предусмотрена возможность проведения корреляционного анализа и непосредственно прогнозирования параметров.

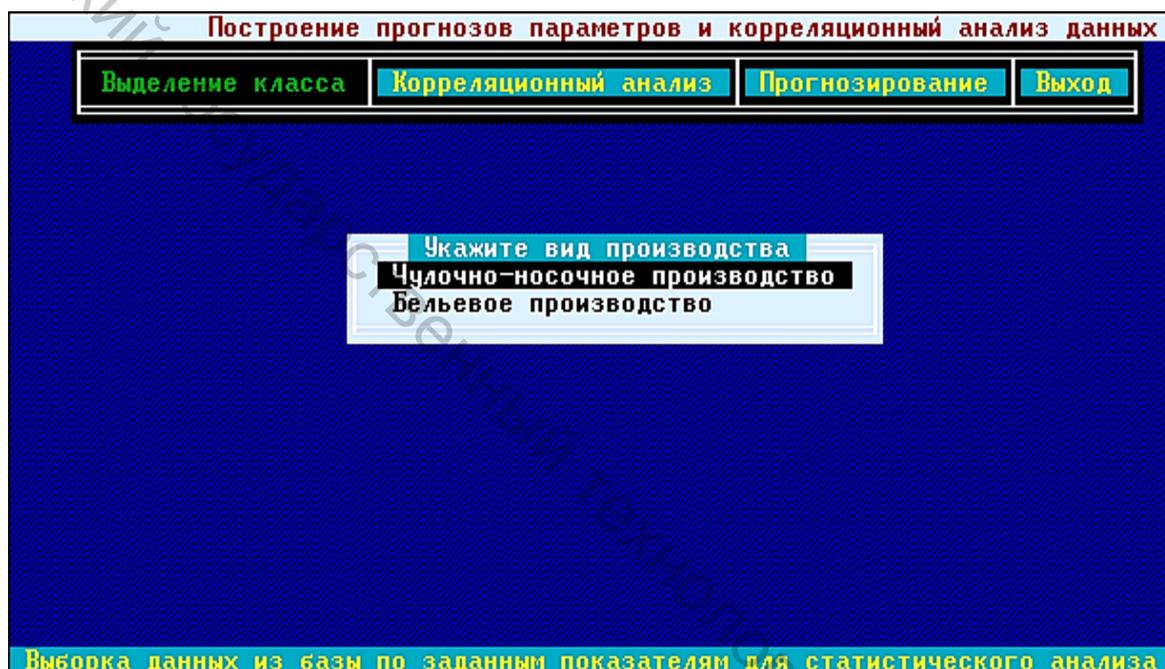


Рисунок И.1 – Интерфейс режима «Прогнозирование».
Выбор класса производства

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Формы таблиц выходных данных

Таблица К.1 – Форма таблицы выходных данных, получаемых в блоке «Прогнозирование значений параметров», входящем в состав ИАС

№	Дата получения данных	Вид оборудования	Наименование прогнозируемого параметра				Действительное значение параметра
			<i>прогноз 1</i>		<i>прогноз 2</i>		
			Значение	Относительная ошибка, %	Значение	Относительная ошибка, %	
1.							
2.							
3.							
.							
.							
<i>Средние значения</i>							

Таблица К.2 – Результаты статистического анализа первичных данных, проводимого с использованием ИАС

<i>Зависимости</i>	$Y \rightarrow X_1$	$Y \rightarrow X_2$	$Y \rightarrow X_3$...	$Y \rightarrow X_n$
Коэффициент корреляции 1:					
Индекс корреляции 2:					
3:					
Коэффициент детерминации 1:					
2:					
3:					

Примечание: 1 – показатели связи в рамках линейной модели; 2 – показатели связи в рамках нелинейной модели; 3 – показатели связи в рамках гиперболической модели.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Интерфейс режима «Расчет показателя технологической надежности (ПТН)» ИАС

Возможности режима «Расчет ПТН» предусматривают *выборку данных*, для которых осуществляется расчет ПТН нити (рис. Л.1).

Вычисление показателя технологической надежности нити

Рисунок Л.1 – Интерфейс режима «Расчет ПТН». Выборка данных.

По заданным идентификаторам производится выборка данных для *расчета показателя технологической надежности нити*, которая сохраняется в виде таблицы (рис. Л.2).

Вычисление показателя технологической надежности нити

1 Показатели технологической надежности нити X/B 11.8*2 (Б/ЧИ)										
Вид чулочн автомата	Артикул изделия	ПТН	Время наработки д/п	Разрывная нагрузка сН	Удельная работа разр. Нмм/г	Кэфф. тангенс сопротивлен	Входн. натяж. нити сН	Скор. ур-ва нити м/с	Факт. лин. плотн текс	Отходы из-за сырья г
2АН	2С733	0.9691	1000	600.00	6000.0	5.0000	5.0000	7.0000	23.500	83.000
2АН	2С733	0.9692	1000	600.00	6000.0	5.0000	5.0000	7.0000	23.500	70.000
2АН	2С733	0.9692	1000	600.00	6000.0	5.0000	5.0000	7.0000	23.500	63.000
2АН	2С733	0.9693	1000	600.00	6000.0	5.0000	5.0000	7.0000	23.500	50.000

По показателю технологической надежности данную нить целесообразно перерабатывать на чулочн. автоматах 2АН для производства изделий артикула 2С733

F1 – Справка по ПТН F2 – Справка по клавишам

Рисунок Л.2 – Интерфейс режима «Расчет ПТН». Вычисление ПТН

В режиме расчета ПТН в отношении этой таблицы производится вычисление показателя технологической надежности нити и формулируется рекомендация о рекомендуемом маршруте переработки нити.

Интерфейс режима «Расчет ПТН» предусматривает получение по требованию оператора справки по показателю технологической надежности нити, содержание которой представлено на рисунке Л.3

Показатель технологической надежности ПТН – это безразмерная величина, возможные значения которой заключены в интервале от 0 до 1. Чем ближе ПТН к единице, тем выше надежность нити в процессе вязания: ниже обрывность и уровень отходов, выше производительность вязального оборудования, меньше частота появления дефектов. ПТН – это обобщенный показатель технологичности нити определяемый:

1) показателями физико-механических свойств нити:

- разрывной нагрузкой;
- удельной работой разрыва;
- коэффициентом тангенциального сопротивления;
- фактической линейной плотностью;

2) параметрами режима вязания:

- натяжением нити на входе в п/о систему;
- натяжением нити в зоне вязания;
- скоростью уработки нити;

3) показателями эффективности использования сырья при получении изделий из нити данного вида:

- отходами при вязании по причинам, обусловленным качеством сырья.

Таким образом, ПТН – это показатель, который в свернутом виде отображает влияние главных факторов, от значений которых зависит прежде всего непрерывность процесса переработки нити на трикотажных машинах.

Рисунок Л.3 – Интерфейс режима «Расчет ПТН». Справка по ПТН

Научное издание

Науменко Александр Александрович

Карпушенко Инна Степановна

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ НИТЕЙ

Монография

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *Т.А. Осипова*

Компьютерная верстка *И.С. Карпушенко*

Подписано к печати 31.01.2020. Формат 60x90^{1/16}. Усл. печ. листов 10,3.

Уч.-изд. листов 13,1. Тираж 53 экз. Заказ № 31.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, Витебск, Московский пр-т, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.