

К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЛУФАБРИКАТА И ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ В ХЛОПКОПРЯДЕНИИ МЕТОДАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

С.А. Сакулин

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: анализ состояния технологического процесса; вейвлет-анализ, вейвлет-преобразование; математическая обработка сигнала; текстильный полуфабрикат – чесальная лента; нечеткая логика.

Аннотация: Рассмотрены методы определения параметров, несущих полезную информацию, при математической обработке сигнала линейной плотности текстильного полуфабриката с помощью спектрального анализа и вейвлет-преобразования. Предложен метод анализа состояний технологического процесса, качества продукта и диагностики оборудования на основе распознавания образов с применением аппарата нечеткой логики.

Внедрение наукоемких технологий с элементами искусственного интеллекта в промышленность, в частности – в легкую промышленность, – это реальность сегодняшнего дня. К сожалению, отставание отечественной легкой промышленности в этой области велико. Закупка современного оборудования, переоснащение производств – долгосрочная задача, требующая больших денежных инвестиций. Для более оперативного решения проблем можно предложить «дооснащение» действующих производств элементами автоматики и вычислительной техники, создание программного обеспечения, ориентированного на контроль и управление технологическими процессами. В этой области возможно создание интеллектуальной продукции.

При решении задач, которые стоят перед нашей промышленностью, мы поневоле вынуждены считаться с нестабильностью внешних условий, качества сырья, разнообразными дефектами техники. Поэтому математическая модель процесса и программное обеспечение для наших условий должно отличаться от соответствующего программного обеспечения, например, фирмы «Устер» [1].

В данной статье рассматривается система контроля, разработанная автором статьи для одного из этапов прядильного производства – технологического перехода «кипа – чесальная лента».

Объектом контроля является текстильный полуфабрикат – чесальная лента. Одним из показателей качества этого полуфабриката является неровнота линейной плотности. Кроме того, неровнота линейной плотности может служить источником информации о протекании техпроцесса, состоянии оборудования, качества сырья. Передача этой информации на компьютер, ее обработка, выдача сообщений о текущем состоянии техпроцесса, а также сохранение информации в

сжатом виде для последующего анализа – все это дает возможность с минимальными затратами повысить культуру производства.

В данной работе описано применение аппарата нечеткой логики [2, 3] для распознавания ситуаций, возникающих при протекании техпроцесса.

При рассмотрении особенностей технологического процесса получения чесальной ленты можно выделить основные состояния процесса, влияющие на качество продукции.

Биение валов, шестерен механизма чесальной машины.

Неоднородность поверхности барабана, нарушение гарнитуры шляпок.

Засоренность сырья неволокнистыми включениями.

Засоренность сырья волокнистыми включениями.

Зажгученность волокна.

Неоптимальная настройка системы подачи волокна.

Неоптимальная настройка вытяжного устройства.

Повышенная влажность сырья.

Неровнота ленты вызвана вероятностным характером процесса и находится в границах нормы.

При анализе сигнала датчика плотности чесальной ленты можно получить образы, соответствующие перечисленным состояниям технологического процесса. Сигнал с датчика представляет собой последовательность чисел, пропорциональных линейной плотности чесальной ленты; частота измерений составляет 1000 Гц. При загрузке записи сигнала в компьютер, прежде всего, регистрируются результаты прямых измерений сигнала и производится их статистическая обработка; это позволяет судить о качестве выпускаемого продукта, его неровноте на длинных и коротких отрезках, отклонении средней плотности от требуемого значения или об обрыве. Для диагностики состояния техпроцесса производится математическая обработка сигнала с использованием пакета MATLAB.

При спектральном анализе хорошо распознаются периодические и условно-периодические возмущения, вызванные биением валов и шестерен, неоднородностью и дефектами поверхности барабана. Спектры, свидетельствующие о неровноте, имеющей случайный характер вследствие засоренности сырья неволокнистыми или волокнистыми включениями, зажгученности волокна, неоптимальной настройке вытяжного устройства, имеют общие признаки. Вследствие значительного влияния случайных факторов, каждая конкретная запись сигнала, сделанная на одном оборудовании при неизменных условиях, имеет свои особенности; в то же время разные причины могут приводить к появлению сходных наборов спектральных линий, поэтому применение аппарата нечеткой логики необходимо для распознавания ситуаций и принятия решений [3, 4]. В то же время можно выделить ряд образов, которые однозначно свидетельствуют о нормальном протекании процесса или о явном нарушении [5, 6].

Отметим, что применение вейвлет-анализа позволяет лучше распознавать характер непериодических возмущений [7]. Поэтому точность распознавания ситуаций при таких отклонениях, как засоренность сырья, зажгученность волокна, неоптимальная настройка при применении вейвлет-анализа выше, чем при использовании Фурье-анализа. Нечеткие базы знаний для распознавания ситуаций строились на основе изучения спектров сигналов, записанных при работе нескольких чесальных машин в разные периоды времени, при переработке разных партий сырья. На первом этапе исследований образцы чесальной ленты с разных машин проверялись на одном датчике [8], записи сигналов обрабатывались. При накоплении результатов измерений были выделены особенности спектров сигнала-

лов для каждой машины, а также варианты спектров при изменении внешних условий, состава сырья и его качества. В дальнейшем на каждую машину был установлен отдельный датчик, записи сигналов передавались на компьютер и обрабатывались с использованием программного пакета MATLAB [9].

Обработка сигналов велась методами преобразований Фурье, а также методом вейвлет-анализа. Спектральный анализ традиционно применяется при проверке качества в текстильной промышленности [6], и, в первую очередь, из-за возможности диагностики оборудования: дефект или плохое закрепление вращающихся деталей приводит к периодическим изменениям параметров продукта. И при разработке предлагаемой системы, в первую очередь, был использован аппарат спектрального анализа. Причины ухудшения качества чесальной ленты и связанные с ними особенности спектра сигнала с датчика были разбиты на несколько категорий. Биение валов, шестерен машины обнаруживаются по соответствующим линиям в спектре. Ухудшение поверхности барабана чесальной машины, неравномерность гарнитуры шляпок может давать нечеткую спектральную линию. Наличие в сырье примесей влияет на «шумовую составляющую» сигнала. Неотрегулированность механизма может сильно повысить шумовую составляющую спектра. Загущенность хлопка также повышает количество случайных возмущений. Неоптимальная работа загрузочного механизма проявляется как размытая спектральная линия в низкочастотной области. Для диагностики процесса необходимо анализировать как протяженные отрезки сигнала, соответствующие десяткам и сотням метров чесальной ленты, так и короткие отрезки, для лучшего выявления случайных и непериодических возмущений. Задача автоматизации контроля и диагностики отклонений решена с использованием методов нечеткой логики. Возможно несколько уровней для решения этой задачи. Первый уровень – это измерение и анализ наиболее общих параметров спектра. Несмотря на простоту обработки сигнала, он дает довольно точную и оперативную информацию. Возможен более детальный анализ спектра, при котором сообщается приблизительный «адрес» поврежденного вала. Однако можно отметить ряд отклонений, которые не определяются с использованием спектрального анализа. Это диагностика непериодических возмущений, кратковременных биений, временного усиления шумовой составляющей. Для диагностики таких состояний автором статьи применен аппарат вейвлет-анализа [10].

Таким образом, в предлагаемой системе контроля математическая обработка идет в два этапа. Первый этап: статистические расчеты – спектральный анализ – распознавание ситуации методом нечеткой логики. Второй этап: вейвлет-анализ – распознавание ситуации методом нечеткой логики. Для решения задачи распознавания ситуаций на первом этапе выбраны пять факторов, на их основе составлены схемы отношений для эталонных ситуаций, им сопоставлялись измеренные значения параметров сигнала и делался вывод о характере протекания технологического процесса [4]. Конкретизированные термы для различных значений факторов приведены в табл. 1.

Здесь «Плотность» – значение сигнала, соответствующего линейной плотности ленты, усредненное для отрезка 3 м. Соответствующая трапецевидная функция принадлежности:

$$\begin{aligned}R^0_{XI} &= \{1/0; 0/0,94; 0/0,96; 0/0,98; 0/1; 0/1,2; 0/1,4; 0/1,6\} \\R^H_{XI} &= \{0/0; 1/0,94; 0,5/0,96; 0/0,98; 0/1; 0/1,2; 0/1,4; 0/1,6\}, \\R^c_{XI} &= \{0/0; 0/0,94; 0,5/0,96; 1/0,98; 1/1; 1/1,2; 0,5/1,4; 0/1,6\}, \\R^B_{XI} &= \{0/0; 0/0,94; 0/0,96; 0/0,98; 0/1; 0/1,2; 0,5/1,4; 1/1,6\}\end{aligned}$$

Таблица 1

Конкретизированные термины для различных значений факторов

Фактор	Значение фактора	Терм
Плотность	Обрыв	<i>Плотность_Ноль</i> (X_1, R_{X1}^0)
	Низкая	<i>Плотность_Малая</i> (X_1, R_{X1}^H)
	Средняя	<i>Плотность_Норма</i> (X_1, R_{X1}^C)
	Высокая	<i>Плотность_Большая</i> (X_1, R_{X1}^B)
Внутренняя неровнота	Низкая	<i>ВнутренняяНеровнота_Низкая</i> (X_2, R_{X2}^H)
	Средняя	<i>ВнутренняяНеровнота_Средняя</i> (X_2, R_{X2}^C)
	Высокая	<i>ВнутренняяНеровнота_Высокая</i> (X_2, R_{X2}^B)
Внешняя неровнота	Низкая	<i>ВнешняяНеровнота_Низкая</i> (X_3, R_{X3}^H)
	Средняя	<i>ВнешняяНеровнота_Средняя</i> (X_3, R_{X3}^C)
	Высокая	<i>ВнешняяНеровнота_Высокая</i> (X_3, R_{X3}^B)
Площадь спектра	Низкая	<i>ПлощадьСпектра_Низкая</i> (X_4, R_{X4}^H)
	Средняя	<i>ПлощадьСпектра_Средняя</i> (X_4, R_{X4}^C)
	Высокая	<i>ПлощадьСпектра_Высокая</i> (X_4, R_{X4}^B)
Максимальная амплитуда в спектре	Низкая	<i>Амплитуда_Низкая</i> (X_5, R_{X5}^H)
	Средняя	<i>Амплитуда_Средняя</i> (X_5, R_{X5}^C)
	Высокая	<i>Амплитуда_Высокая</i> (X_5, R_{X5}^B)

Трапециевидная форма функций принадлежности выбрана как наиболее простая для дальнейших вычислений. Методика построения функций такого вида заключается в задании областей универсума, в которых значение фактора полностью соответствует и полностью не соответствует определяемому понятию [3, 11, 12]. Аналогично были построены функции принадлежности для остальных факторов. Внутренняя неровнота – среднеквадратичное отклонение текущего значения плотности ленты от среднего значения на отрезке 3 м. Внешняя неровнота – это среднеквадратичное отклонение от среднего значения измеренных масс отрезков ленты длиной 3 м. Площадь спектра – это сумма гармоник спектра, полученного быстрым преобразованием Фурье из записи сигнала, соответствующего прохождению через датчик отрезка ленты по длиной 3 м. Максимальная амплитуда в спектре – вычисленное максимальное значение гармоники спектра, полученного быстрым преобразованием Фурье из записи сигнала, соответствующего прохождению через датчик трехметровых отрезков ленты.

Ситуации, возникающие в процессе изготовления чесальной ленты, можно представить схемами отношений:

Нормальная работа (*Плотность_Норма* (X_1, R_{X1}^C), *ВнутренняяНеровнота_Низкая* (X_2, R_{X2}^H), *ВнешняяНеровнота_Низкая* (X_3, R_{X3}^H), *ПлощадьСпектра_Низкая* (X_4, R_{X4}^H), *Амплитуда_Низкая* (X_5, R_{X5}^H))

Биение валов (*Плотность_Норма* (X_1, R_{X1}^C)), *ВнутренняяНеровнота_Высокая* (X_2, R_{X2}^B), *ВнешняяНеровнота_Низкая* (X_3, R_{X3}^H), *ПлощадьСпектра_Средняя* (X_4, R_{X4}^C), *Амплитуда_Высокая* (X_5, R_{X5}^B))

Дефект барабана (*Плотность_Норма* (X_1, R_{X1}^C)), *ВнутренняяНеровнота_Высокая* (X_2, R_{X2}^B), *ВнешняяНеровнота_Средняя* (X_3, R_{X3}^C), *ПлощадьСпектра_Высокая* (X_4, R_{X4}^B), *Амплитуда_Средняя* (X_5, R_{X5}^C))

Засоренность волокна (Плотность_Норма (X_1, R^c_{X1}), ВнутренняяНеровнота_Высокая (X_2, R^b_{X2}), ВнешняяНеровнота_Низкая (X_3, R^h_{X3}), ПлощадьСпектра_Средняя (X_4, R^c_{X4}), Амплитуда_Низкая (X_5, R^h_{X5}))

Неравномерная подача (Плотность_Норма (X_1, R^c_{X1}), ВнутренняяНеровнота_Низкая (X_2, R^h_{X2}), ВнешняяНеровнота_Средняя (X_3, R^b_{X3}), ПлощадьСпектра_Высокая (X_4, R^b_{X4}), Амплитуда_Высокая (X_5, R^b_{X5}))

Недостаточная подача (Плотность_Низкая (X_1, R^h_{X1}), ВнутренняяНеровнота_Средняя (X_2, R^h_{X2}), ВнешняяНеровнота_Высокая (X_3, R^h_{X3}), ПлощадьСпектра_Высокая (X_4, R^h_{X4}), Амплитуда_Высокая (X_5, R^h_{X5}))

Избыточная подача (Плотность_Высокая (X_1, R^b_{X1}), ВнутренняяНеровнота_Низкая (X_2, R^h_{X2}), ВнешняяНеровнота_Низкая (X_3, R^h_{X3}), ПлощадьСпектра_Низкая (X_4, R^h_{X4}), Амплитуда_Низкая (X_5, R^h_{X5}))

Обрыв (Плотность_Ноль (X_1, R^h_{X1}), ВнутренняяНеровнота_Низкая (X_2, R^h_{X2}), ВнешняяНеровнота_Низкая (X_3, R^h_{X3}), ПлощадьСпектра_Низкая (X_4, R^h_{X4}), Амплитуда_Низкая (X_5, R^h_{X5}))

Плохая Регулировка (Плотность_Норма (X_1, R^c_{X1}), ВнутренняяНеровнота_Высокая (X_2, R^h_{X2}), ВнешняяНеровнота_Низкая (X_3, R^b_{X3}), ПлощадьСпектра_Средняя (X_4, R^b_{X4}), Амплитуда_Средняя (X_5, R^c_{X5}))

Таким образом, каждый эталонный образ представлен нечеткой схемой отношений. Точно также в виде схемы отношений можно представить и измеренный образ. Рассмотрим одну из конкретных записей сигнала:

Измеренный образ (Плотность_измеренная (X_1, R^n_{X1}), ВнутренняяНеровнота_измеренная (X_2, R^r_{X2}),

ВнешняяНеровнота_измеренная (X_3, R^r_{X3}), ПлощадьСпектра_измеренная (X_4, R^p_{X4}), Амплитуда_измеренная (X_5, R^s_{X5}), где

$$R^n_{X1} = \{0/0,94; 0/0,96; 1/0,98; 0/1; 0/1,2; 0/1,4; 0/1,06\},$$

$$R^b1_{X2} = \{0/0; 0/1; 0,5/2; 0,5/4; 0/6\},$$

$$R^b2_{X3} = \{0/0; 0,5/1; 0,5/2; 0/4; 0/6\},$$

$$R^c_{X4} = \{0/0; 0/0,05; 0/0,1; 0/0,2; 1/0,3; 0/0,5; 0/0,6; 0/0,8; 0/1 \},$$

$$R^a_{X5} = \{0/0; 0/0,005; 0/0,01; 1/0,025; 0/0,05; 0/0,1; 0/0,25; 0/0,5; 0/1\},$$

Теперь измеренный и эталонные образы представлены схемами отношений.

Напомним метод расчета степени сходства измеренного образа с эталонными [4]. Термом называется выражение $a_i(X_i, R_i)$, где $X_i = \{x^i_1, x^i_2, \dots, x^i_{n_i}\}$ – множество объектных переменных терма, R_i – имя нечеткого множества, соответствующего атрибуту a_i и заданного на X_i . Частным случаем терма, который назовем простейшим, является выражение $a_i(x^i_j, \mu(x^i_j))$, где x^i_j – единственная объектная переменная универсума, а $\mu(x^i_j)$ – функция принадлежности, определенная на этой переменной. Схемой отношений называется выражение $\alpha(a_1(X_1, R_1), \dots, a_N(X_N, R_N))$, где α является именем или атрибутом схемы отношений, $a_i(X_i, R_i)$ – терм, R_i – нечеткое множество, соответствующее атрибуту a_i . Для того, чтобы измеренный образ отнести к тому или иному типу (в соответствии с эталонными образами) для выбора соответствующего состояния технологического процесса, необходимо термы, представляющие плотность, внешнюю и внутреннюю неровноту, площадь спектра и амплитуду гармоник измеренного образа сравнить с термами, представляющими соответствующие параметры эталонного образа. Формула для вычисления степени сходства эталонного образа с измеренным имеет вид [4]:

$$M(\alpha, \alpha_i) = \sum_{h=1}^{h=N} w_h M(\alpha_h, \alpha_{hi}), h = 1, \dots, N, i = 1, \dots, m;$$

$$\sum_{h=1}^{h=N} w_h = 1.$$

Здесь w_h – весовые коэффициенты, вводятся для определения приоритета определенных факторов. Конкретное значение этих коэффициентов устанавливается при обучении системы. Соотношение коэффициентов может меняться в процессе работы при решении конкретных проблем, поэтому коррекция данных коэффициентов должна быть доступна для пользователя.

При вычислении степеней сходства измеренного сигнала с эталонными при уточненных весовых коэффициентах получается наибольшая степень сходства (0,625) с эталоном «Засоренность сырья». Отметим, что этот ответ правильный: действительно засоренность сырья была выше нормы.

Как уже указывалось, такие возмущения сигнала, как кратковременные биения (соответствующие ситуации «стук в машине») или локальные повышения шумовой составляющей (из-за плохо прочесанных участков вследствие дефектов вытяжного устройства) не определяются методом спектрального анализа. В этом случае применение вейвлет-анализа [7] дает хорошие результаты. Непрерывный вейвлет-анализ, который обычно ассоциируется с эффектными графическими образами, своей популярностью обязан возросшей мощности компьютерной техники и связан с большим объемом вычислений. Несколько позже Ингрид Дебоши [10] разработала метод ортогонального вейвлет-анализа, замечательного по простоте, не требующего больших вычислительных мощностей. Этот метод работает даже быстрее, чем анализ Фурье.

Применяя метод ортогонального вейвлет-анализа записи сигнала, мы получили возможность отслеживать подробности протекания техпроцесса, которые при других методах контроля остаются скрытыми.

Опыт работы показал, что 6-уровневое разложение оптимально для решения поставленной задачи. Результаты дискретного анализа проиллюстрированы на рис. 1. Длина распознаваемых возмущений при повышении уровня пробегает значения от 1 мм до 32 мм; аппроксимация сигнала представляет собой «отфильтрованный» сигнал с длинноволновыми составляющими (более 30 мм). На иллюстрации видно, как всплески на разных уровнях при вейвлет-разложении коррелируют с возмущениями сигнала, вызванными разными причинами. Так, локальные увеличения (уменьшения) плотности дают в аппроксимации на верхнем (в данном случае – шестом) уровне пики и провалы, при этом возмущения типа «усиление шума», «стук в машине» на этом уровне отфильтровываются. Наличие пиков при этом свидетельствует о зажугченности сырья (возможны варианты: повышенная засоренность сырья; наличие волокнистых примесей), наличие провалов – о дефекте барабана. Локальное усиление шумовой и коротковолновой составляющих приводит к всплескам на первом и втором уровнях и свидетельствуют о неполадках в вытяжном устройстве. Высокие амплитуды вейвлет-коэффициентов на всех уровнях свидетельствуют о засоренности сырья неволокнистыми примесями. «Стук в машине» коррелирует с всплесками вейвлет-коэффициентов на 2–5 уровнях. Наблюдаются локальные возмущения, при которых сигнал с датчика представляет собой белый шум, амплитуда которого на локальных промежутках значительно выше средней. Это – свидетельство неполадок

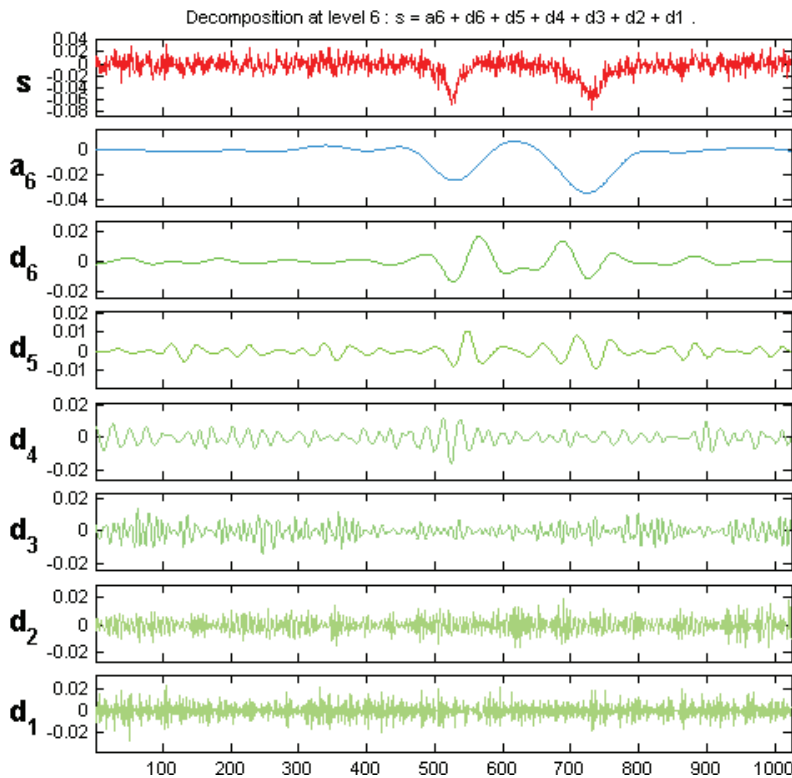


Рис. 1 Дискретный вейвлет-анализ. Разложение сигнала по базисным функциям.
Сигнал соответствует ситуации «локальные уменьшения плотности
из-за дефектов гарнитуры шляпок барабана»

в вытяжном устройстве; с этой ситуацией коррелируют «всплески» коэффициентов вейвлет-разложения на 1 и 2 уровнях. Для автоматизированного контроля качества чесальной ленты было нужно выбрать минимально необходимое количество параметров и составить схемы отношений. При 6-уровневом разложении исходного сигнала рассматриваются функции вейвлет-коэффициентов первых пяти уровней и аппроксимирующая функция шестого уровня, представляющая собой отфильтрованный сигнал (из исходного сигнала вычитаются функции нижних уровней). При рассмотрении аппроксимации 6 уровня измеряются максимум функции (пик) и минимум (провал). В норме это небольшие колебания около среднего значения. При возмущениях, вызванных локальными увеличениями плотности ленты (зажужженность волокна; засорение волокнистыми примесями), высота пиков определяется как большая. При локальных уменьшениях плотности (неоднородная структура ленты из-за дефекта барабана) глубина провала оценивается как большая. Как пики, так и провалы данной функции коррелируют с возмущениями достаточно длительными, соответствующими отклонениям в плотности длиной в несколько сантиметров. Наличие равномерно, случайным образом распределенных пиков и провалов характерно для неоптимальной настройки вытяжного устройства. Этим факторам соответствуют термины *Высота* и *Провал*. Рассмотрение функций вейвлет-коэффициентов первых пяти уровней позволяет отслеживать более короткие возмущения; чем ниже уровень, тем сильнее «сжат» материнский вейвлет и тем меньше длина распознаваемых возмущений. При анализе функций вейвлет-коэффициентов рассматривалась половина разности между наивысшим и наименьшим значениями на данном промежутке,

эта величина названа здесь «амплитуда уровня». Если все нормально, то амплитуда любого уровня не должна превышать значения 0,015...0,02. Значительная амплитуда какого-либо уровня говорит о наличии возмущающих факторов. Для оценки этих факторов было предложено использовать термы *Амплитуда_малая*, *Амплитуда_большая*. Важным параметром является среднее абсолютное значение функции. Здесь использовалось *отношение амплитуды уровня к среднему абсолютному отклонению функции уровня от нуля*, условно названное здесь ОТКЛОНЕНИЕ. Эта величина при случайном характере функции имеет значение, близкое к 10. Для периодических функций значение ОТКЛОНЕНИЯ меньше. При всплесках, локальных возмущениях ОТКЛОНЕНИЕ значительно превышает 10. Для оценки этих факторов введены термы *Отклонение_Норма* (для случайных последовательностей), *Отклонение_Малое* (свидетельствует о неслучайном процессе, о наличии периодических возмущений), *Отклонение_Всплеск* (свидетельствует о локальных возмущениях).

Таким образом, выбрано 12 факторов для составления функций принадлежности. Это ПИК АППРОКСИМАЦИИ, ПРОВАЛ АППРОКСИМАЦИИ, а также АМПЛИТУДА (1...5) и ОТКЛОНЕНИЕ (1...5). Чтобы численно определить, какие значения параметров являются высокими, средними, низкими, был проведен опрос экспертов. Были отобраны эталонные образцы чесальной ленты, с заранее известными пороками, а также образцы высокого качества. При прохождении таких эталонных образцов через датчик записывались сигналы, и далее производился анализ сигналов посредством дискретного вейвлет-анализа с использованием разложения *coif*. После просмотра большого количества образцов, когда эксперты начали свободно «читать» информацию, полученную в результате вейвлет-анализа, был проведен опрос. Эксперты должны были проставить ответы 1 (то есть «да») или 0 (то есть «нет»), а также 0,5 (при затруднении с отнесением промежуточного значения к той или иной группе) в таблицах такого вида.

Таблица 2

Амплитуда уровня 1

	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	1
Низкая	1	1	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Высокая	0	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1

Когда таблицы были заполнены всеми участвующими в опросе экспертами, проводилось «голосование»: вычислялось среднее значение для каждой ячейки. Такие таблицы первоначально составлялись для каждого параметра, но в процессе работы стало ясно, что параметры можно разбить на две группы и сопоставить параметрам внутри группы одинаковые наборы значений.

К первой группе относятся: Пик_Аппроксимации, Провал_Аппроксимации, Амплитуда_уровня1, Амплитуда_уровня2, Амплитуда_уровня3, Амплитуда_уровня4, Амплитуда_уровня5. Каждому терму этой группы сопоставлены наборы значений:

$$R^H_{X_i} = \{1/0,0; 1/0,005; 0,9/0,01; 0,5/0,02; 0/0,03; 0/0,1; 0/1\},$$

$$R^B_{X_i} = \{0/0,0; 0/0,01; 0/0,02; 0,5/0,03; 0,9/0,05; 1/0,1; 1/1\}.$$

К второй группе относятся: Отклонение1, Отклонение2, Отклонение3, Отклонение4, Отклонение5. Каждому терму этой группы сопоставлены наборы значений.

$$R^h_{Xi} = \{1/1; 1/3; 0/5; 0/10; 0/15; 0/20; 0/50\},$$

$$R^c_{Xi} = \{0/1; 0/3; 1/5; 0,5/10; 0/15; 0/20; 0/50\},$$

$$R^b_{Xi} = \{0/1; 0/3; 0/5; 0,5/10; 0,9/15; 1/20; 1/50\}.$$

На основе выбранных факторов составлены схемы отношений для эталонных ситуаций, им сопоставлялись измеренные значения параметров, и делался вывод о характере протекания технологического процесса. Построение функций принадлежности и выбор весовых коэффициентов проводились методом обработки мнений экспертов [10].

Полученная база данных позволяет определять ситуацию с хорошей точностью. Процесс ее уточнения продолжается, и при составлении программы учитывалось требование – сделать базу данных доступной пользователям для коррекции. Проведенные на работающей поточной линии Щелковского ХБК, совместно с технологами эксперименты дали положительный результат – от 70 до 100 % правильного распознавания ситуаций технологического процесса в зависимости от диагностируемой ситуации (неточности возникают при совпадении трех и более возмущающих факторов).

Список литературы

1. Проспект фирмы Zellweger Uster, Швейцария, 2003.
2. Zimmerman H.-J. Fuzzy Set Theory and its Applications. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1996. – 315 p.
3. Заде Л. Лингвистическая переменная / Л. Заде – М.: Физматгиз, 1972.
4. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта / В.В. Девятков – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
5. Кирюхин С.М. Контроль и управление качеством текстильных материалов / С.М. Кирюхин, А.Н. Соловьев – М.: Легкая индустрия, 1977. – 310 с.
6. Севостьянов А.Г. Методы исследования неровноты продуктов прядения / А.Г. Севостьянов. – М.: Ростехиздат, 1962.
7. Robi Polikar. Введение в вейвлет-преобразование. Пер. с англ. Iowa State University, 2000 с.
8. Сакулин С.А. Прибор для измерения ЛПМ чесальной ленты на основе пневматического датчика / С.А. Сакулин // Вестник ДИТУД. – 2003. – № 3 (17).
9. Леоненков А.А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FUZZYTECH / А.А. Леоненков – СПб., 2003.
10. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. SIAM, 1992.
11. Алтунин А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А.Е. Алтунин, М.В. Семиухин – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
12. Круглов М., Голунов Р. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001.

To the Problem of Quality Control of Half-Finished Product and Diagnostics of Equipment in Cotton Spinning by Means of Artificial Intelligence

S.A. Sakulin

Moscow State Technical University after N.E. Bauman

Key words and phrases: analysis of technological process; wavelet-analysis; wavelet-transforming; mathematical signal processing; fuzzy logic; textile half – finished product – combed sliver.

Abstract: Methods of determining parameters, containing useful information during mathematical processing of the signal of linear density of textile half-finished product with the help of spectrum analysis and wavelet transforming are considered. The mechanism of analyzing technological process, product quality and diagnosing equipment on the basis of image identification is proposed.

**Zur Frage der Qualitätskontrolle des Halbfabrikates
und der Einrichtungsdiagnostik in der Baumwollspinnerei durch
die Methoden der künstlichen Intelligenz**

Zusammenfassung: Es sind die Methoden der Bestimmung der die nützliche Information tragenden Parameter bei der mathematischen Bearbeitung des Signales der linearen Dichte des textilen Halbfabrikates mit Hilfe der spektralen Analyse und der Wavelet-Transformation untersucht. Es ist die Methode der Analyse der Zustände des technologischen Prozesses, der Qualität des Produktes und der Diagnostik der Einrichtung vorgeschlagen.

**Sur le problème du contrôle de la qualité du semi-produit
et du diagnostic de l'équipement dans le filage du coton par
les méthodes de l'intelligence artificielle**

Résumé: Sont envisagées les méthodes de la définition des paramètres portant une information utile lors du traitement mathématique du signal de la densité du semi-produit textile à l'aide de l'analyse de spectre et la transformation. Est proposée la méthode de l'analyse des états du processus technologique, de la qualité du produit et du diagnostic de l'équipement à la base de l'identification des images.
