

На правах рукописи

**ЯСИНСКИЙ ИГОРЬ ФЕДОРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ТКАНИ  
НА МЕРИЛЬНО-БРАКОВОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Специальность 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы  
(легкая промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иваново 2007

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Ивановская государственная текстильная академия" (ИГТА).

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Калинин Евгений Николаевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Фомин Юрий Григорьевич

доктор технических наук, профессор

Глазунов Виктор Федорович

Ведущая организация - Ивановский государственный

химико-технологический университет

Защита диссертации состоится "28" мая 2007г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.061.01 при Ивановской государственной текстильной академии по адресу:

153000, г. Иваново, пр.Ф.Энгельса, д.21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ивановской государственной текстильной академии.

Автореферат разослан "25" апреля 2007 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Кулида Н.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время обнаружение дефектов ткани и оценка ее качества в мерильно-браковочном цехе производятся визуально. Ткань на мерильно-браковочной машине движется со скоростью 30-50 м/мин. Ввиду ограниченной способности человека к обработке информации, и при увеличении скорости движения ткани количество пропущенных дефектов резко возрастает. В течение рабочего дня эффективность обнаружения дефектов ткани уменьшается. Для улучшения качества контроля сортности ткани, увеличения производительности мерильно-браковочного оборудования и высвобождения человека для более квалифицированного труда необходимо автоматизировать процесс контроля качества ткани средствами нейросетевых технологий, исключая значимость человеческого фактора из технологического процесса.

**Цель работы** состоит в повышении производительности мерильно-браковочного оборудования, надежности контроля качественных параметров текстильных материалов, расширении спектра распознаваемых дефектов ткани, снижении влияния человеческого фактора в технологическом процессе за счет автоматизации процесса контроля качества выпускаемой ткани посредством использования нейросетевых технологий.

Для достижения указанной цели поставлены следующие **задачи**:

1. Исследование современных способов и систем контроля качества и определение концептуальных направлений развития средств автоматического контроля качества текстильных материалов.
2. Разработка и реализация аппаратного и программного обеспечения нейросетевой системы автоматического контроля качества выпускаемой ткани.
3. Разработка принципиально новых эффективных алгоритмов обучения искусственных нейронных сетей применительно к процессу обнаружения и классификации дефектов ткани.
4. Производственная апробация созданной системы нейросетевого контроля качества ткани.

**Методы исследований.** При решении поставленных задач использовались теория автоматического управления, теория цифровых систем управления, методы экспериментального исследования, а также методы математической статистики и вычислительной математики с применением ЭВМ.

В основе представленного исследования лежат принципы математического моделирования. Для обучения искусственных нейронных сетей распознаванию дефектов ткани использовались дельта-метод, алгоритм обратного распространения ошибки, разработанный нами синтетический алгоритм и входящие в его состав созданные нами оригинальные методы усовершенствованного случайного поиска, случайного поиска с памятью, инерционной минимизации функции, генетического поиска. Для улучшения

показателей распознаваемости применялся метод сжатия информации с помощью нейросетевой воронки.

**Научная новизна.** В представленной работе получены следующие результаты:

1. Разработаны функциональная и структурная схемы аппаратного обеспечения системы для распознавания и классификации дефектов на движущейся ткани применительно к мерильно-браковочной машине.
2. Разработаны и апробированы принципиально новые алгоритмы, обеспечивающие обучение и функционирование нейронной сети, предназначенной для распознавания и классификации дефектов ткани. Разработан пакет прикладных программ, позволяющий комбинировать синтезированные нами алгоритмы с целью отыскания глобального минимума целевой функции в множестве локальных.
3. Разработана система, предусматривающая использование многопроцессорных вычислительных устройств (многопроцессорных кластеров и многоядерных процессоров) для нейросетевого контроля качества текстильных материалов.

**Практическая ценность.** Разработана и реализована нейросетевая система распознавания и классификации дефектов ткани на мерильно-браковочном оборудовании. Установлено, что разработанная система позволяет повысить производительность мерильно-браковочного оборудования и надежность контроля качественных параметров текстильных материалов, расширить спектр распознаваемых дефектов ткани, снизить влияние человеческого фактора в технологическом процессе.

На основе синтетического алгоритма создан пакет прикладных программ, распознающий и классифицирующий дефекты ткани, позволяющий сократить затраты машинного времени на обучение нейронной сети в 2-3 раза.

Получены оптимальные коэффициенты сжатия информации нейросетевой воронкой, обеспечивающие эффективность обнаружения и классификации дефектов на движущейся ткани.

Разработаны оптические устройства, обеспечивающие функционирование системы в заданных технологических условиях.

**На защиту выносятся:**

1. Функциональная схема нейросетевой установки для обнаружения и классификации дефектов ткани на мерильно-браковочном оборудовании.
2. Алгоритмы обучения нейронной сети, распознавания и классификации дефектов ткани.
3. Программная реализация синтетического алгоритма и алгоритмов усовершенствованного случайного поиска, случайного поиска с памятью, метода инерционной минимизации, двух разновидностей генетического поиска, сжатия информации с помощью нейросетевой воронки.

4. Результаты производственной апробации системы распознавания и классификации дефектов ткани.

#### **Апробация работы.**

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на следующих научно-технических форумах:

- VI Международный научно-практический семинар “Физика волокнистых материалов” (Иваново, ИГТА, 2003 г.);
- VII Международный научно-практический семинар “Физика волокнистых материалов” (Иваново, ИГТА, 2004 г.);
- “Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности” (Поиск-2004) (Иваново, ИГТА, 2004 г.);
- “Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности” (Поиск-2005) (Иваново, ИГТА, 2005 г.);
- 57-я конференция “Студенты и молодые ученые КГТУ – производству” (Кострома, КГТУ, 2005 г.);
- “Дни науки-2005” (Санкт-Петербург, СПГУТД, 2005 г.);
- межвузовская научно-практическая конференция “Экологические проблемы Ивановской области” (Иваново, ИГТА, 2005 г.);
- “4<sup>th</sup> Central European Conference 2005” fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles; (Czech Republic, Liberec, Technical University, 2005);
- “Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности” (Поиск-2006) (Иваново, ИГТА, 2006 г.);
- международная научно-техническая конференция “Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности” (ПРОГРЕСС-2006) (Иваново, ИГТА, 2006 г.);
- 16-я Всероссийская конференция “Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов и решение задач математической физики с приложением к многопроцессорным системам” (Дюрсо, Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН и МГУ им. М.В.Ломоносова, 2006 г.).

#### **Публикации**

По теме диссертации опубликованы 19 печатных работ:

- 9 статей в журналах “Известия вузов. Технология текстильной промышленности”; “Вестник ИГТА”; “Вестник ИГЭУ” и сборнике материалов научной конференции “4<sup>th</sup> Central European Conference 2005” fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles;
- 9 тезисов в сборниках материалов научных конференций “Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности” (Поиск-2004, 2005, 2006); 57-й конференции “Студенты и молодые ученые КГТУ - производству”; “Дни науки-2005”; “Экологические проблемы Ивановской области - 2005”; “Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности” (ПРОГРЕСС-2006);

16-й Всероссийской конференции “Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов и решение задач математической физики с приложением к многопроцессорным системам”, 2006.

- 1 патент на изобретение (Пат. 2296991 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G01N 33/36 Устройство для обнаружения и регистрации дефектов на движущейся ткани).

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений, изложенных на 192 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунков, 27 таблиц, 80 формул, список литературы из 118 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены ее цель и задачи, сформулированы научные результаты и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** на основе анализа литературных источников выявлены достоинства и недостатки существующих систем контроля качества материала. Приведены описание существующих типов дефектов ткани и их классификация согласно причинам возникновения. Рассмотрены принципы функционирования нейронных сетей, определены задачи, эффективно решаемые ими. Составлен обзор нейросетевых систем, используемых в разных областях человеческой деятельности, таких, как медицина, энергетика, гидрология и др. На основе анализа существующих систем контроля качества материала показана целесообразность применения современных информационных и аппаратных средств реализации контролирующих систем, позволяющих повысить производительность мерильно-браковочного оборудования, надежность контроля качественных параметров текстильных материалов, расширить спектр классифицируемых дефектов ткани, снизить влияние человеческого фактора в технологическом процессе.

Для целей контроля нами использована известная классификация дефектов ткани по их происхождению.

Одной из важнейших задач в ткацком и отделочном производствах является обнаружение дефектов, возникающих в процессе выработки ткани. Осуществление автоматической разбраковки полотен непосредственно в процессе формирования полотна (на ткацком станке) позволит устранить участок разбраковки продукции как дополнительный технологический переход и в сочетании обратной связи с механизмами ткацкого станка значительно сокращает выход несортной продукции.

Существующие в настоящее время методы контроля качества полотен не соответствуют уровню развития современного производства. Контроль качества и определение сортности полотен преимущественно производится визуально. Так как методы органолептического контроля трудоемки и

непроизводительны, а сама оценка качества ткани носит субъективный характер, зависящий от многих причин: состояния контролера, времени проведения осмотра (начало или конец смены), вида переплетения, разноцветности контролируемого полотна и условий окружающей среды, то повысить производительность труда контролера и качество контроля полотен при визуальном методе невозможно; все ресурсы совершенствования этого метода уже исчерпаны.

Из анализа приведенных существующих до настоящего времени методов и устройств контроля поверхности текстильных материалов следует, что существующие технические средства не позволяют обнаруживать все многообразие дефектов полотна. Для контроля всего спектра дефектов с различными геометрическими размерами и формами необходимо использование технологии распознавания вида брака. Другим недостатком существующих автоматических систем является отсутствие адаптивности собственных параметров непосредственно в процессе функционирования.

Нейросетевые системы при контроле качества выпускаемого полотна обладают рядом принципиальных преимуществ по сравнению с известными автоматическими системами. Использование нейронной технологии позволяет расширить спектр классифицируемых дефектов, повысить производительность мерильно-браковочного оборудования и улучшить качество контроля полотна. Важным достоинством нейросетевой технологии является ее адаптивность во время работы.

На основании аналитического обзора сформулированы цель и задачи исследований.

**Вторая глава** посвящена разработке структуры аппаратного обеспечения системы контроля качества текстильного материала, программного обеспечения нейронной сети, а также алгоритмов обучения нейронной сети, предназначенной для распознавания дефектов ткани.

Система контроля качества ткани имеет структуру, показанную на рис.1, и работает следующим образом. Движущаяся ткань 1 освещается источником света 8. С помощью цифровой видеокамеры 2 с частотой, определяемой датчиком 3 длины ткани производится фотографирование поверхности 9 ткани. Получающиеся изображения в цифровом виде передаются в вычислительное устройство 4, в котором с помощью нейросетевой системы может делаться заключение о наличии дефекта ткани, выполняться распознавание его вида, геометрических размеров, формы и координат. Принтер 5 выводит протокол 6 обнаруженных дефектов и их положений на полотне, текущее состояние ткани отображается на мониторе 7.

Для обнаружения дефектов использована идеология построения обучаемой нейронной сети. Весовые коэффициенты синтезированной нами нейронной сети предварительно получены в результате компьютерной математической обработки различных типовых дефектов ткани.

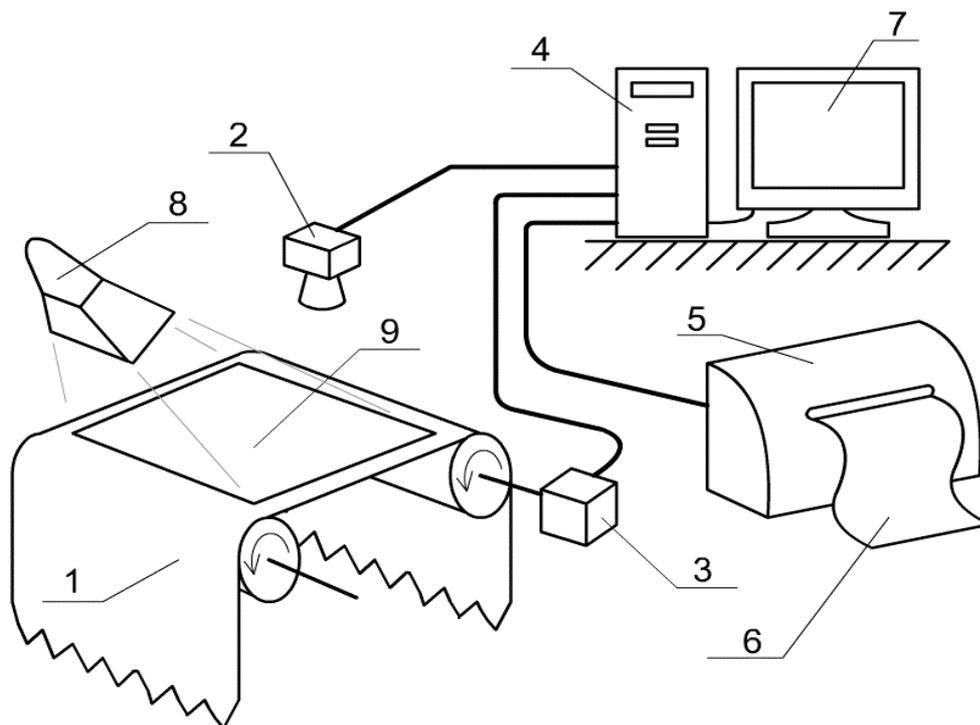


Рис. 1. Структурная схема нейросетевой системы контроля качества ткани

Один из наиболее актуальных вопросов при использовании нейронной сети заключается в выборе метода настройки весовых коэффициентов сети. Задача настройки нейронной сети является задачей многоэкстремального поиска, т.е. поиска глобального экстремума целевой функции ошибки распознавания среди множества локальных экстремумов.

Первоначально был использован традиционный метод обучения нейронной сети, называемый методом обратного распространения ошибки. Эксперименты показали, что этот метод не эффективен для обнаружения дефектов ткани ввиду существенного недостатка, при котором поисковая точка останавливается в локальных минимумах целевой функции ошибки распознавания дефекта ткани и не находит глобального минимума.

Для решения этой проблемы нами разработан синтетический алгоритм, способный отыскать глобальный минимум среди множества локальных. Синтетический алгоритм основан на чередовании в процессе поиска рандомизированных составляющих алгоритмов. В состав синтетического алгоритма входят разработанные нами методы усовершенствованного случайного поиска, случайного поиска с памятью, инерционной минимизации и генетического поиска.

Численные эксперименты позволили убедиться в том, что синтетический алгоритм позволяет эффективно обучать нейронные сети распознаванию дефектов ткани, перемещая поисковую точку в глобальный минимум целевой функции ошибки распознавания образа, преодолевая локальные.

Принят следующий алгоритм усовершенствованного случайного поиска. Множество весов нейронной сети рассматриваются как вектор  $\vec{W}$  в N-мерном пространстве. Целевая функция Q ошибки распознавания зависит от значений весов  $\vec{W}$ .  $\vec{W}^0 = (W_1^0, \dots, W_N^0)$  - исходная точка в пространстве поиска. Последовательность  $(W_1^k, \dots, W_N^k)$ ;  $k = 0, 1, \dots, M_2$  является последовательностью удачных точек, если в каждой следующей точке целевая функция  $Q(\vec{W})$  меньше, чем в предыдущей. Последовательность удачных точек получается таким образом.

1. Около очередной удачной точки строится окрестность в виде N-мерного прямоугольного “ящика” с полуразмерами  $DW_m^k$ .
2. Из этой окрестности выбирается пробная случайная точка  $\vec{W}$  с координатами

$$W_m = W_m^k + \zeta DW_m^k; m = 1, 2, \dots, N,$$

где  $\zeta$  - случайные числа, равномерно распределенные в интервале (-1, +1).

3. В этой точке вычисляется значение целевой функции  $Q(\vec{W})$ , которое сравнивается с ее значением в последней удачной точке  $Q(\vec{W}^k)$ . Если  $Q(\vec{W}) < Q(\vec{W}^k)$ , то такая точка объявляется новой удачной

$$Q^{k+1} = Q(\vec{W}), \quad W_m^{k+1} = W_m; m=1, 2, \dots, N$$

и она становится центром новой окрестности с полуразмерами  $DW_m^{k+1}$ .

Следующая пробная точка будет взята из этой новой окрестности. Последовательность удачных точек  $\vec{W}^k$  сходится к точке минимума целевой функции  $Q(\vec{W})$ .

Использован следующий способ выбора начальных размеров окрестности поиска  $DW_m^k$ , позволяющий оптимально изменять их по мере приближения окрестности к точке минимума:

$$DW_m^0 = 0,28 \cdot h_m / \sqrt{\varepsilon^2 + |Q_m^+ - 2Q^0 + Q_m^-|} / N,$$

где  $Q^0 = Q(W_1^0, \dots, W_N^0)$ ,  $Q_m^+ = Q(W_1^0, \dots, W_m + h_m, \dots, W_N^0)$ ,

$Q_m^- = Q(W_1^0, \dots, W_m - h_m, \dots, W_N^0)$ ,

$h_m$  – малые пробные приращения аргументов  $W_m^0$ ,  $\varepsilon$  - малое положительное число (защита от нуля в знаменателе).

В процессе поиска размеры окрестности  $DW_m^k$  изменялись следующим образом: выполнена серия из  $M_s$  проб, из них  $v$  проб оказались удачными. Вычисляем эмпирически полученный множитель

$$\mu = 1 + 2,8(v / M_s - 1/4).$$

По окончании указанной серии проб все размеры окрестности  $DW_m^k$  умножаем на множитель  $\mu$ . Согласно такому алгоритму пробная окрестность по мере приближения к точке минимума сжимается. Поиск прекращается, когда для всех весов начинает выполняться условие  $DW_m^k < E$ , где  $E$  - допустимая погрешность в определении координат минимума.

На рис.2 представлены результаты процессов обучения нейронной сети распознаванию образов по методу обратного распространения ошибки (кривая 1) и при помощи усовершенствованного случайного поиска (кривая 2). На вертикальной оси отложено отношение текущего значения суммы модулей невязок к ее начальному значению в зависимости от длины обучающей последовательности. Преимущество метода усовершенствованного случайного поиска перед методом обратного распространения ошибки заключается в сокращении затрат машинного времени примерно в 1,5 раза.

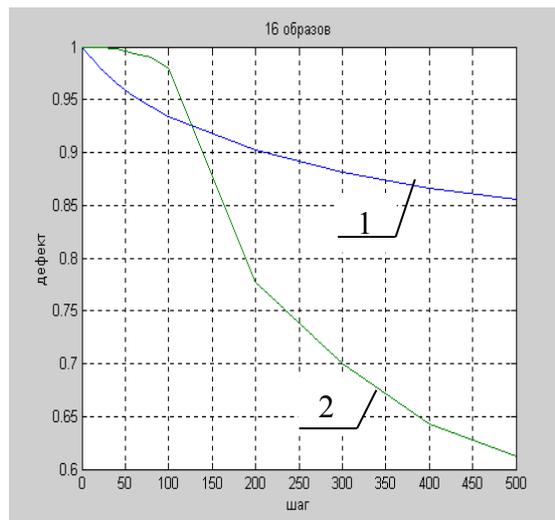


Рис. 2. Сравнение результатов процессов обучения нейронной сети по методу обратного распространения ошибки и при помощи случайного поиска

Разработанный случайный поиск с памятью содержит блок, вычисляющий значения “стохастического градиента” от целевой функции при случайных пробах (удачных и неудачных). Окрестность, из которой берется следующая случайная проба, смещается в направлении стохастического антиградиента:

$$\vec{G} = - \sum_{i=1}^n \frac{Q(\vec{W}_i) - Q(\vec{W}^k)}{|\delta \vec{W}_i|^2} \cdot \delta \vec{W}_i,$$

где  $\delta \vec{W}_i = \vec{W}_i - \vec{W}^k$  - случайный сдвиг пробной точки относительно k-й удачной.

В численном эксперименте найдены значения коэффициентов  $\alpha_i$ , которые учитывают успешность предыдущих шагов. Эти коэффициенты используются для предварительного сдвига окрестности поиска, из которой берутся случайные пробы:

$$\vec{W}_{\text{new}}^k = \vec{W}^k + \tau \cdot (\alpha_1 \vec{G}^k + \alpha_2 \vec{G}^{k-1} + \alpha_3 \cdot \vec{G}^{k-2}),$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1,$$

где  $\vec{W}_{new}^k$  - новые координаты центра окрестности, из которой берутся случайные пробы;  $\tau$  - шаг по времени.

Алгоритм инерционной минимизации, разработанный нами и входящий в состав синтетического алгоритма, наделяет поисковую точку инерцией, которая позволит ей выходить из локальных минимумов и находить глобальный минимум. Численные эксперименты, проведенные с алгоритмом инерционной минимизации, показали, что эффективной является методика настройки весовых коэффициентов нейронной сети, которая предусматривает подчинение движения поисковой точки в пространстве весовых коэффициентов дифференциальным уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_s}{dt} &= G_s - \mu V_s \\ \frac{dW_s}{dt} &= V_s; \quad S = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \right\},$$

где  $V_s$  – составляющие скорости поисковой точки,  $\mu V_s$  – составляющие силы трения, которая будет гасить колебания поисковой точки,  $\mu$  – вязкость среды.

Генетический алгоритм разработан в следующих двух вариантах. В первом варианте сформировано множество наборов “хромосом”, представляющих веса нейронной сети. Текущий массив весов  $W_m$  и случайно выбранный набор весов  $W_m'$  составляют родительскую пару. В массив весов-потомков входит первая половина весовых коэффициентов текущего массива и вторая половина от выбранного набора. Далее после предъявления сети обучающего образа и получения на выходе ответа производится сравнение: если целевая функция ошибки после генетических операций уменьшилась  $Q'(\vec{W}) < Q(\vec{W})$ , то тестируемый массив весов становится текущим (действующим). В противном случае, т.е. при  $Q'(\vec{W}) > Q(\vec{W})$  тестируемый массив удаляется.

Разработан также следующий вариант генетического алгоритма. В пространстве  $\vec{W}$  выбирается некоторое количество исходных точек  $W_r^f$  ( $f = 1, 2, \dots$ ). Они были получены с помощью метода случайного поиска, повторением поиска из различных начальных точек пространства поиска. Это “родители”, образующие пары, которые формировались таким образом, что целевые функции для пар должны были быть близки, а расстояние между парами было быть максимальным:

$$\left| Q^f - Q^l \right| < \varepsilon_Q \rightarrow \min, \quad \sum_{r=1}^R (W_r^f - W_r^l)^2 = E_Z \rightarrow \max.$$

Пара дает “потомство”. Координаты точек родителей соединяются прямой согласно выражению:

$$W_i = W_i^f + \eta (W_i^1 - W_i^f),$$

где  $\eta$  - одномерная координата, по которой осуществляется глобальный поиск. Для этого использованы метод интерполяции и метод Р.Г.Стронгина. Таким образом, многомерный поиск заменяется одномерным, что ускоряет процесс вычисления.

Рис.3 поясняет процедуру такого поиска. Точки-потомки находятся ближе к искомому минимуму, чем родительские точки. Потомков должно быть не меньше, чем родителей, с тем чтобы этот процесс можно было продолжить неограниченно.

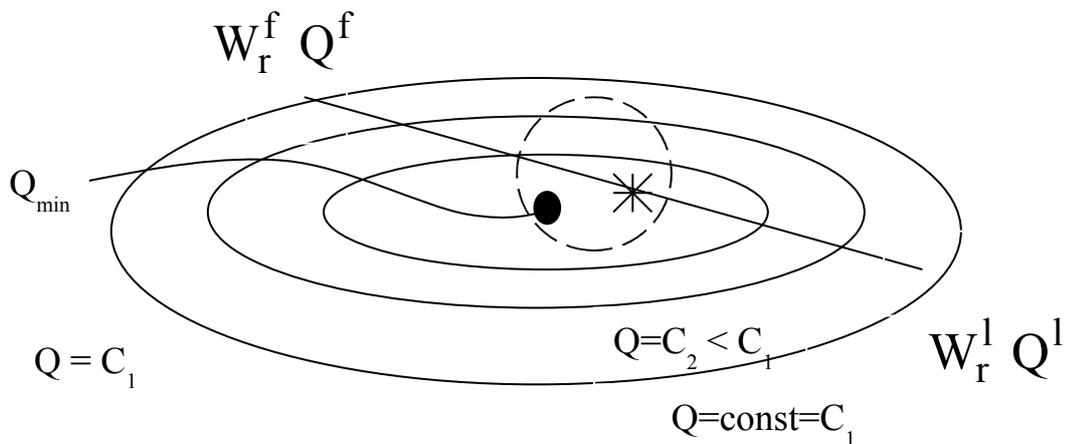


Рис. 3. Представление генетического алгоритма:

⊗ - родительские точки, \* - точки-потомки,  $Q = \text{const}$  – линии равного значения целевой функции,  $Q_{\min}$  – значение целевой функции в минимуме,  $W_r^f, W_r^1, Q^f, Q^1$  - координаты родительских точек и значение в них целевой функции.

Следует обратить внимание, что как метод усовершенствованного случайного поиска, так и генетический алгоритм реализованы нами на многопроцессорных вычислительных машинах.

Выполнены численные эксперименты по определению наилучшей последовательности указанных выше составляющих алгоритмов в синтетическом алгоритме. Для оценки эффективности синтетического алгоритма, помимо настройки нейронных сетей, изучена также минимизация эталонных целевых функций: функции Розенброка и специальных тестовых функций с множеством локальных минимумов. Пусть С - усовершенствованный случайный поиск, П - случайный поиск с памятью, И - инерционный поиск, Г - генетический алгоритм. В ходе экспериментов определена последовательность алгоритмов, позволяющая найти глобальный минимум целевой функции с наименьшими затратами машинного времени. Она имеет следующий вид: ПГСИ ПГСИ ПГСИ .....

Эффективность распознавания образов нейронной сетью зависит от процедуры выделения существенных параметров образа. Проведены эксперименты по обучению нейронной сети распознаванию образов со слоем вида "воронка". Структура такой сети представлена на рис.4.

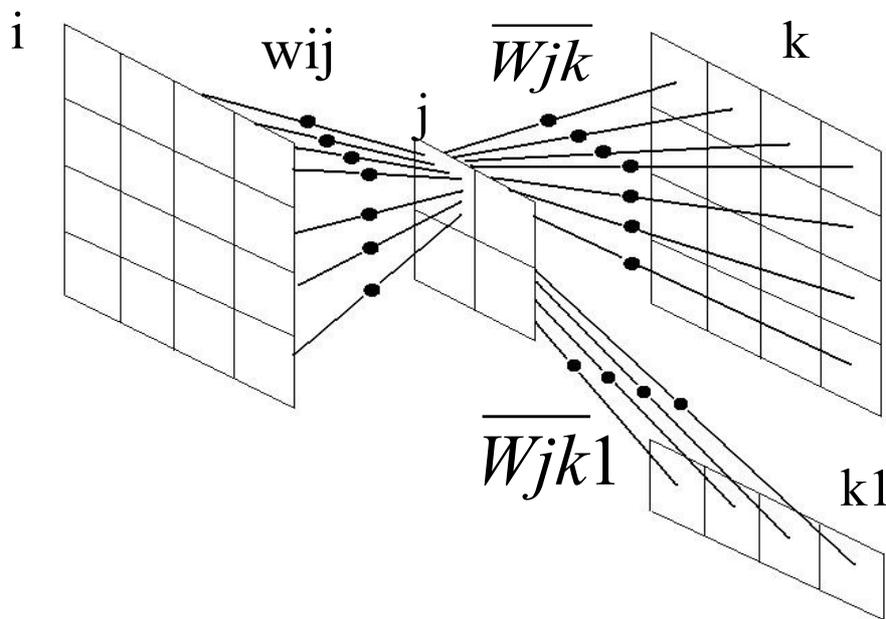


Рис. 4. Структура нейронной сети со слоем вида "воронка"

Информация, поступающая на рецепторный слой  $i$  нейронной сети, передается на скрытый слой  $j$ , имеющий меньшее количество элементов. При этом выполняется сжатие информации. Затем по оставшейся информации изображение восстанавливается, передаваясь на слой восстановления  $k$ . Изображения на рецепторном слое и слое восстановления сравниваются. Путем подбора весовых коэффициентов связей  $W_{ij}$ ,  $W_{jk}$  добиваются минимального различия исходного и полученного после сжатия изображения.

Нейросетевая воронка выполняет функцию отбора наиболее характерных важных свойств, присущих распознаваемым образам. Такой отбор важен при решении задач анализа изображений, когда на входной слой нейронной сети поступают большие массивы информации, среди которой требуется выделить только интересующие нас области.

Выставление оптимальных коэффициентов сжатия информации при обучении нейронной сети со слоем типа "воронка" для выделения существенных параметров изображения позволило значительно повысить распознаваемость дефектов на движущейся ткани.

**В третьей главе** рассмотрен процесс получения изображений дефектов с помощью разработанных нами оптических устройств и видеотехники.

В компьютерной программе, обеспечивающей работу системы, загружаемое в память компьютера изображение покрывается сеткой с шагом по горизонтали и вертикали. Ячейки сетки последовательно сканируются и записываются в таблицу. Числа, входящие в эту таблицу, пропорциональны уровням освещенности соответствующих ячеек. Описанные операции сопровождаются процедурами масштабирования изображения. После масштабирования и преобразования файла видеоизображения получается числовой код, готовый для обработки нейронной сетью.

Использован также блок линейно расположенных видеокамер, сигналы с которых перед распознаванием суммировались, образуя единственный образ, передаваемый далее нейронной сети. Благодаря такому суммированию при прохождении дефекта в поле зрения объектива хотя бы одной видеокамеры нейронная сеть обнаруживает дефект и программа фиксирует, на какой длине рулона он был замечен.

Идея блока видеокамер реализована на многопроцессорной вычислительной технике. В разработанной компьютерной программе применена многопроцессорная схема соединения по типу "звезда". За обработку сигнала с каждой видеокамеры отвечает свой процессор, содержащий собственную нейронную сеть, обученную на распознавание трех типов дефектов (дефект основной нити, дефект уточной нити, пятно). Главный процессор в реальном времени принимает результаты распознавания изображения от подчиненных процессоров и проверяет эти данные на наличие кода известного типа дефекта, в случае обнаружения тип дефекта документируется в памяти компьютера и в протоколе (рис.5).

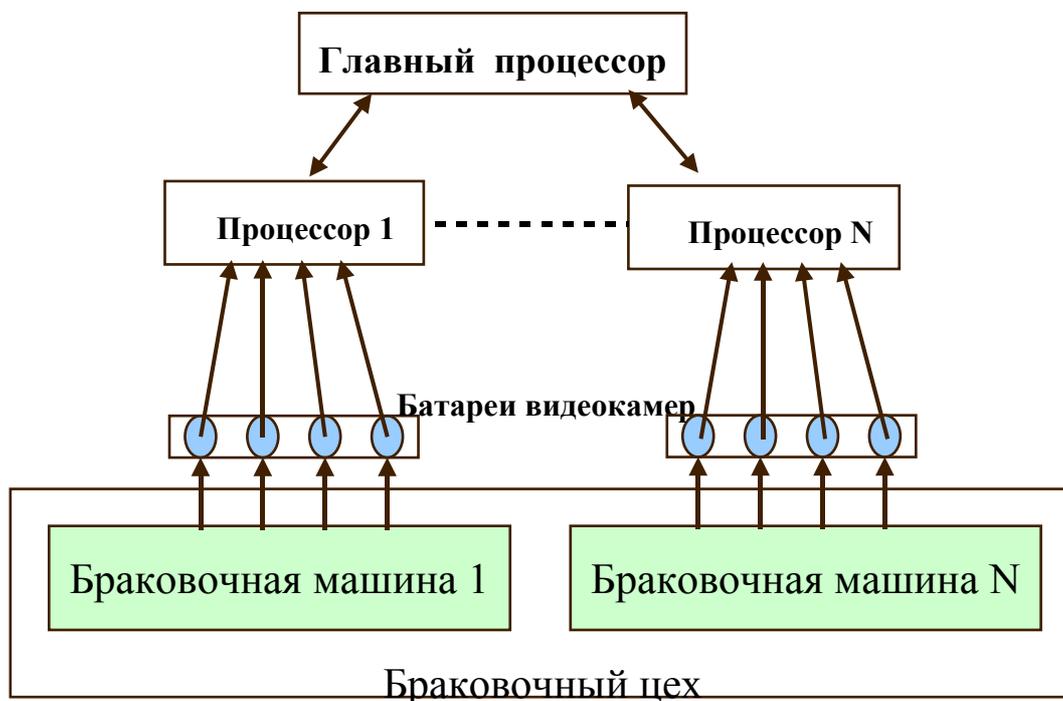


Рис. 5. Схема многопроцессорной реализации системы контроля качества ткани

Произведен расчет ожидаемого быстродействия системы с учетом тактовых частот используемой вычислительной техники (3ГГц) при минимальных размерах обнаруживаемых дефектов (1×1мм) и заданной скорости движения ткани (60м/мин). Суммарные затраты машинного времени на обработку одного изображения составляют 1,13 с, что обеспечивает рассчитанный нами требуемый допуск по времени ( $\tau = 1,28$  с).

Нами разработана функциональная схема автоматизации браковочного оборудования (рис.6).

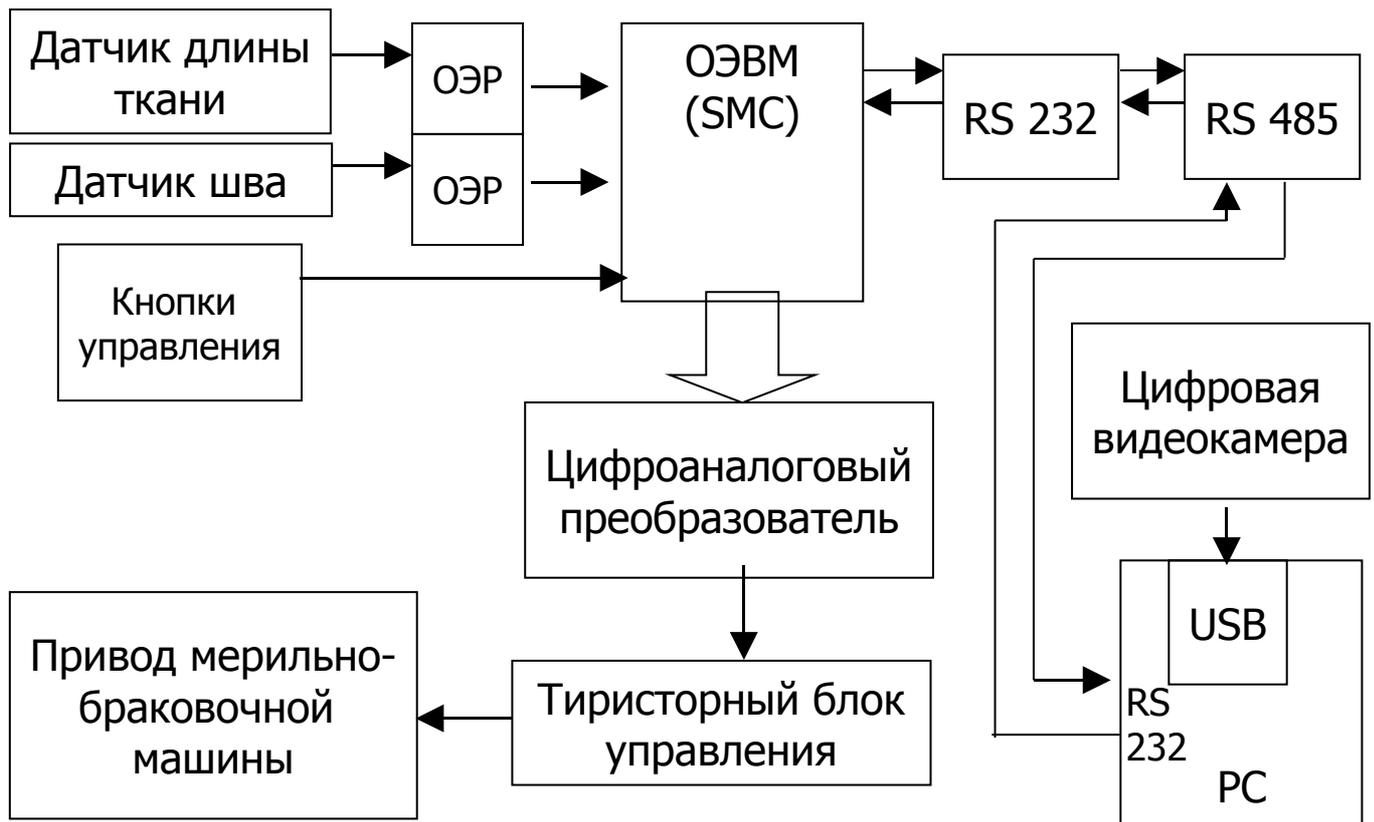


Рис. 6. Функциональная схема автоматизации браковочного оборудования

Для обеспечения функционирования системы разработан алгоритм работы нейросетевого устройства для обнаружения дефектов, включающий алгоритмы однокристалльной ЭВМ (контроллера) и вычислительного блока.

**В четвертой главе** с целью определения функциональных параметров системы перед апробацией в производственных условиях на серийном технологическом оборудовании выполнены 3 типа экспериментальных исследований нейросетевой системы контроля за дефектами полотна.

**Эксперимент с моделями дефектов.** Целью эксперимента являлось исследование пропускной способности видеоканала системы. С помощью установки, показанной на рис.7, промоделирована работа системы по обнаружению дефектов.

Компьютер 1 содержит в памяти образы-аналоги возможных дефектов и показывает их на мониторе 3. Скорость показа может меняться в широких

пределах. Компьютер 2 подключен к видеокамере ВК, которая направлена на экран компьютера 1. Компьютер 2 содержит уже настроенное нейросетевое математическое обеспечение и распознает образы, которые предъявляет первый компьютер. С помощью описанной установки выполнена отладка и исследование нейросетевой контролирующей системы в целом до ее постановки на мерильно-браковочные машины в цехе.

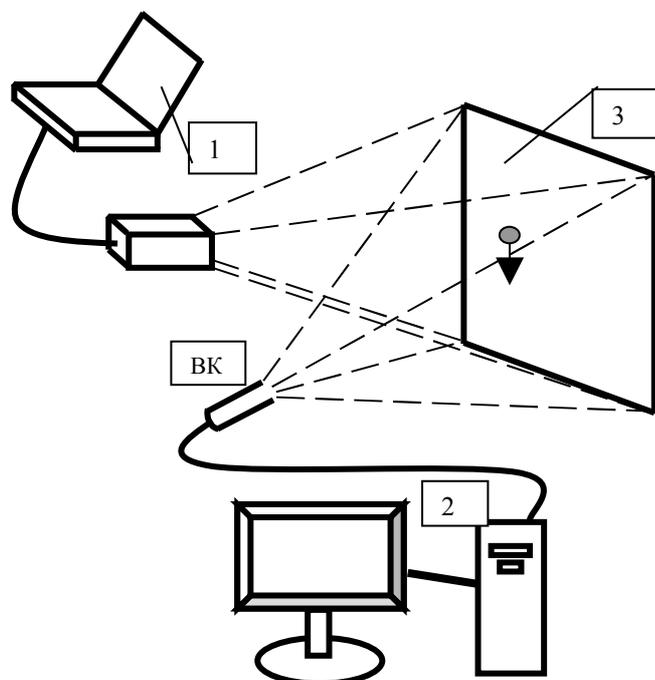


Рис. 7. Установка для исследования модели системы обнаружения дефектов

Произведена оценка прогнозируемого повышения производительности браковочного оборудования за счет применения системы нейросетевого контроля качества ткани, позволяющей увеличить скорость движения ткани на мерильно-браковочной машине до 60 м/мин.

**Эксперимент в лабораторных условиях.** Главными задачами проведенных исследований являлись нахождение погрешности обнаружения дефектов системой и определение оптимального режима освещения полотна.

В состав лабораторной установки, разработанной нами, входят: перекаточный ролик, который покрыт полотном арт.С5ТИ; установленная над полотном web-камера Creative; системный блок, подключенный к web-камере через порт USB; монитор для текущего контроля. В ходе эксперимента скорость движения ткани составляла 30 м/мин. Системе требовалось обнаружить и распознать заданное число искусственно созданных дефектов на движущейся ткани и правильно разделить их на 3 типа: 1) дефект основной нити (близны, недоработанные нити основы); 2) дефект уточной нити (недосеки, поднырки, пролеты); 3) пятна.

Размеры дефектов варьировались в пределах от 1 мм до 6 см.

В ходе эксперимента установлено, что источник света должен обеспечивать равномерное, интенсивное освещение (порядка 100 люкс), позволяющее получить четкое изображение структуры ткани на снимках. Отраженный свет желательно свести к минимуму, поскольку он может "ослепить" снимок.

Распознаваемость указанных типов дефектов находилась на уровне выше 95 %.

Интерфейс разработанной нами компьютерной программы обеспечивает диалог оператора с системой обнаружения и классификации дефектов, охватывая все этапы настройки нейронной сети и ее функционирования в основном технологическом режиме.

**Производственная апробация.** Целью эксперимента являлось испытание системы в производственных условиях и установление функциональной зависимости распознаваемости дефектов от скорости движения ткани.

На рис.8,а,б представлена нейросетевая установка для контроля качества продукции, которая испытана в браковочном цехе АО "Меланжевый комбинат" г.Иванова.

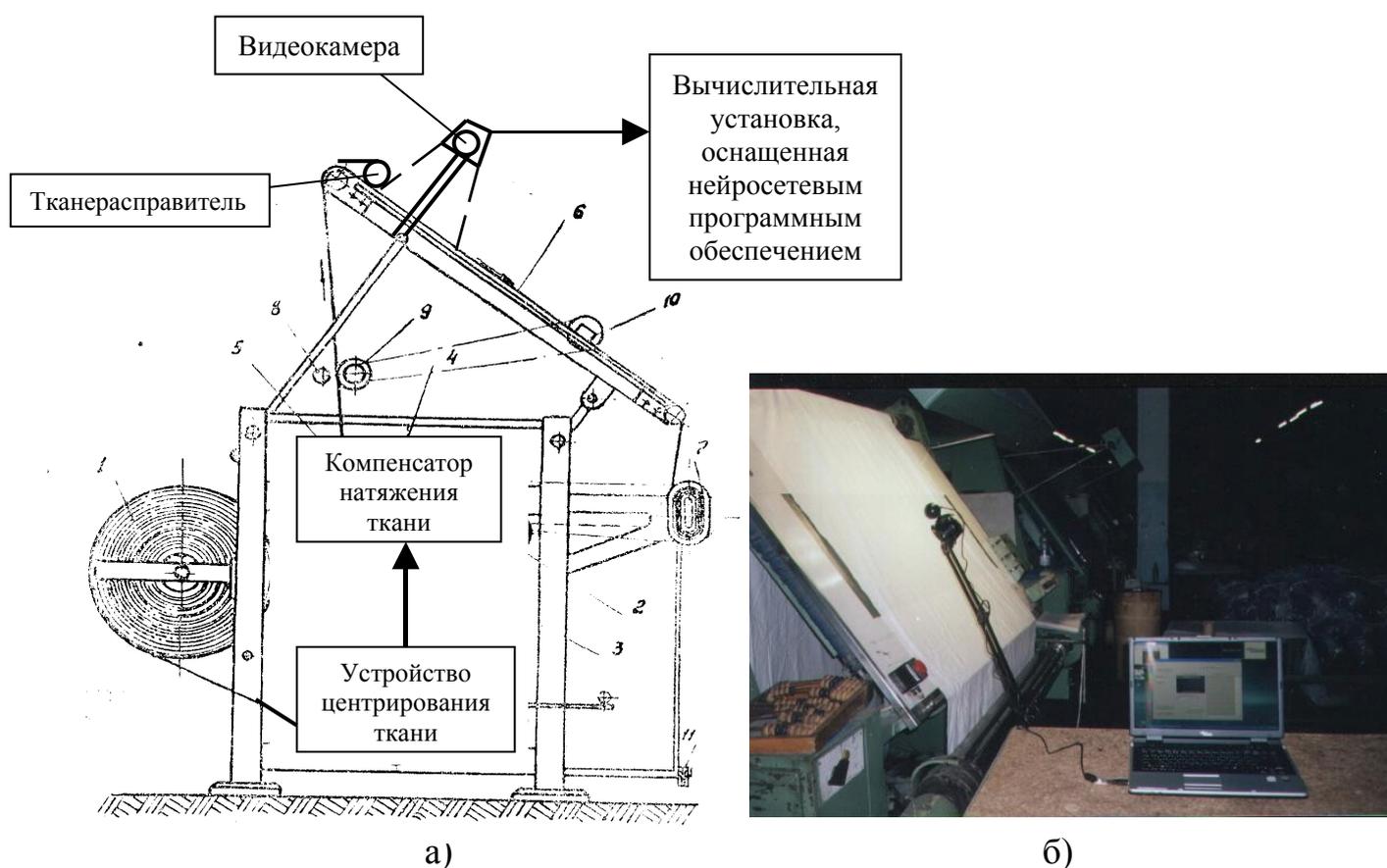


Рис. 8. Схема нейросетевой установки по контролю качества ткани на производстве

Установка состоит из видеокамеры, источника местного освещения, держателя камеры и источника света, ноутбука, оснащенного описанной выше

нейросетевой системой контроля качества материала. Камера охватывала 0,4 м ткани при ширине ткани 1,6 м (1/4 часть ширины ткани). Максимальная скорость движения ткани составляла 65 м/мин. Для опытов использовалась однотонная ткань арт.С124-ЮГ. Испытания проводились в соответствии с технологией работы на машине МКМ-180.

В процессе проведенных опытов отмечалось, что складки на ткани системой могут быть восприняты как дефект. Эта задача решается установкой перед видеокамерой тканерасправителя (см.рис.8,а).

Проведены серии опытов с определением зависимости распознаваемости дефектов ткани от скорости движения ткани. Система была настроена на распознавание и классификацию дефектов по типам, соответствующим лабораторным испытаниям. Эксперименты позволили установить, что в пределах технологических скоростей движения ткани от 30 до 60 м/мин распознаваемость дефектов находится в удовлетворительных пределах, снижаясь с 97% до 94-95% (рис.9).

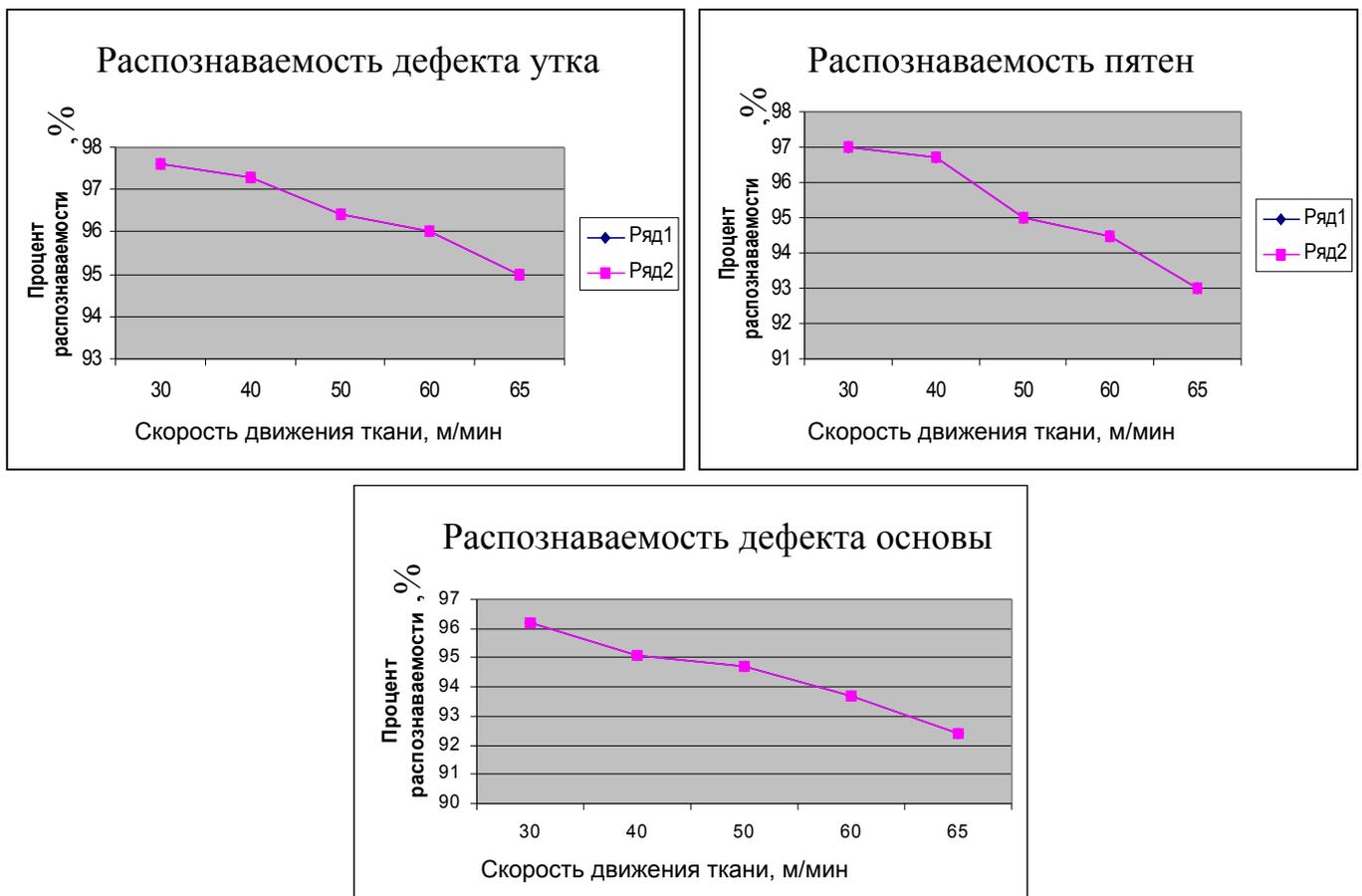


Рис. 9. Зависимости распознаваемости дефектов от скорости движения ткани

Рассчитана стоимость программной и аппаратной составляющих нейросетевой системы для контроля качества ткани, определена экономическая эффективность от внедрения разработанной системы.

Ожидаемый годовой экономический эффект от использования разработанной системы для обнаружения дефектов на мерильно-браковочной машине составит более 626 тыс. руб. Также немаловажным экономическим фактором внедрения данного устройства в производство является короткий срок окупаемости (около 1,5 месяца). Этот факт обусловлен низкой стоимостью изделия, так как оно будет изготавливаться на отечественном предприятии из комплектующих изделий ценовой категории.

## **ВЫВОДЫ**

Поставленные в данной работе цели достигнуты и соответствующие им задачи решены.

В работе получены следующие результаты:

1. Разработана нейросетевая система распознавания и классификации дефектов ткани на мерильно-браковочном оборудовании. Система включает мерильно-браковочную машину, видеокамеры, устройства освещения ткани, компьютер, содержащий созданное нами нейросетевое математическое обеспечение, принтер для вывода результатов контроля, сигнализацию об обнаруженном дефекте.
2. Разработан и апробирован синтетический алгоритм, с помощью которого обучается нейронная сеть, распознающая и классифицирующая дефекты ткани. Установлено, что синтетический алгоритм позволяет сократить затраты машинного времени на обучение нейронной сети в 2-3 раза. Синтетический алгоритм обеспечивает отыскание глобального минимума в тех случаях, когда алгоритм обратного распространения ошибки попадает в локальный минимум и прекращает поиск.
3. Разработаны и исследованы алгоритмы, входящие в синтетический алгоритм: усовершенствованный случайный поиск, случайный поиск с памятью, метод инерционной минимизации, две разновидности генетического алгоритма, а также их комбинации.
4. Установлено, что использование нейросетевой "воронки" для сжатия информации и выделения существенных параметров изображения позволяет существенно повысить эффективность распознавания дефектов на движущейся ткани.
5. Создан прикладной пакет программ, реализующий описанные выше алгоритмы.
6. Разработана многокамерная конструкция системы нейросетевого контроля, которая предусматривает установку нескольких видеокамер на каждую браковочную машину. Все камеры обслуживаются одним компьютером, что позволяет произвести автоматизацию в масштабах цеха.
7. В качестве перспективного направления рассмотрен вариант использования многопроцессорных вычислительных устройств (многопроцессорных кластеров и многоядерных процессоров) для нейросетевого контроля качества текстильных материалов.

8. Установлено, что разработанная система распознает дефекты ткани с вероятностью 95% и позволяет повысить производительность мерильно-браковочного оборудования, надежность контроля качественных параметров текстильных материалов, расширить спектр классифицируемых дефектов ткани, снизить влияние человеческого фактора в технологическом процессе.

**Основные положения диссертации изложены в публикациях:**

1. Харахнин, К.А. Применение нейросетевой технологии для обнаружения дефектов на движущемся полотне [текст]/ К.А.Харахнин, И.Ф.Ясинский //Изв.вузов. Технология текстильной пром-сти.- 2003.-№4.-С.98-101.
2. Об алгоритме настройки нейронных сетей с помощью инерционной минимизации [текст]/ И.Ф.Ясинский, Ф.Н.Ясинский, К.А.Харахнин, С.Г.Сидоров// Вестник ИГТА.-2003.-№3.-С.145-147.
3. Ясинский, И.Ф. Усовершенствованный случайный поиск [текст]/ И.Ф.Ясинский, Ф.Н.Ясинский // Вестник ИГЭУ.-2004.-№3.-С.47-48
4. Kalinin, E.N. The system for the fabric defects control [text]/ E.N.Kalinin, I.F.Yasinskiy //Forth Central European Conference 2005, fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles.-Liberec: Technical University,2005.-С.189-190.
5. Ясинский, И.Ф. О нейросетевом контроле качества при поточном производстве [текст]/ И.Ф.Ясинский // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти..- 2005.-№2.-С.113-115.
6. Ясинский, И.Ф. О двух способах настройки нейронных сетей [текст]/ И.Ф.Ясинский // Вестник ИГТА..- 2006.-№4.-С.116-120.
7. Ясинский, Ф.Н. Применение многопроцессорной вычислительной техники при контроле качества в поточном производстве [текст]/ Ф.Н.Ясинский, И.Ф.Ясинский // Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов и решение задач математической физики с приложением к многопроцессорным системам: сборник материалов 16-й Всероссийской конф.- Дюрсо: Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, МГУ им. М.В.Ломоносова, 2006.- С.61-62.
8. Пат. 2296991 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G01N 33/36 Устройство для обнаружения и регистрации дефектов на движущейся ткани [текст]/Ясинский И.Ф., Харахнин К.А.; ИГТА. - № 2005116839; заявл. 01.06.05; опубл. 10.04.07, Бюл.№10.- 8с.:ил.

---

Подписано в печать 18.04.2007 Формат 60x84 1/16. Бумага писчая.

Усл.печ.л.1,16. Уч.-изд.л. 1,2. Тираж 100 экз. Заказ № 1040

Редакционно-издательский отдел

Ивановской государственной текстильной академии

Центр офисных технологий кафедры ПМИТ ИГТА

153000, г.Иваново, пр.Ф.Энгельса, 21

Адрес в Интернет: [www.igta.ru](http://www.igta.ru)