

На правах рукописи

Новиков Александр Николаевич

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРИНЦИПОВ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность: 05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами  
(легкая промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва 2014



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы.

В настоящее время на предприятиях текстильной и легкой промышленности выявление брака текстильных материалов является одним из наименее автоматизированных этапов технологической цепочки. В большинстве случаев используется тяжелый ручной труд, где заняты десятки человек и тратится огромное количество рабочего времени. Не всегда эти затраты являются эффективными. Повышение качества продукции при минимальных затратах человеческого труда – одна из главных задач в развитии текстильной и легкой промышленности.

Предприятия в условиях рыночных отношений вынуждены постоянно совершенствовать свою производственную базу, повышать скорость выпуска продукции, оперативно менять ассортимент. При этом цены на сырье неуклонно растут. В подобных условиях резко повышается актуальность оперативного контроля качества сырья и готовой продукции. Большое внимание при этом уделяется разработке специальных аппаратно-программных измерительных комплексов, где для конкретного технического обеспечения создается уникальное программное обеспечение – систем компьютерного зрения.

В настоящее время получение и высокоскоростная обработка изображений являются одними из актуальных направлений научных и прикладных исследований. Практические разработки в области компьютерного зрения активно ведутся лабораториями всего мира. Однако, высокотехнологичные автоматизированные комплексы разбраковки ткани из-за высокой стоимости не могут быть приобретены малыми и средними предприятиями. В связи с этим высокую актуальность имеют исследования в области разработки приемлемого по цене комплекса поиска пороков при выработке текстильных полотен. Основой исследований в данной области можно считать разработку математического и программного обеспечения для подобных комплексов.

Представленная диссертационная работа как раз и посвящена разработке комплекса методов и алгоритмов, позволяющих в реальном времени оценивать качество текстильных материалов на предприятиях текстильной и легкой промышленности, выбору адекватного оборудования для аппаратно-программного комплекса при решении поставленных задач.

### **Цель и задачи исследования.**

Целью работы является разработка теоретических основ, методов и алгоритмов информационно-измерительных систем, предназначенных для получения и обработки цифровых изображений в задачах оперативного контроля качества текстильных материалов на основе создания систем компьютерного зрения.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- разработка и исследование методов и алгоритмов получения, подготовки, анализа и обработки изображений текстильных материалов;
- исследование и анализ эффективности использования различных технических средств получения, передачи и обработки изображений в системах компьютерного зрения для контроля качества текстильных материалов;
- разработка и реализация аппаратно-программного комплекса с необходимыми минимальными техническими характеристиками, основанного на предложенных алгоритмах, соответствующего требованиям действующих предприятий текстильной и легкой промышленности, адекватного по качеству и цене для экспресс-анализа свойств текстильных материалов и решения других задач.

На защиту выносятся теоретические и методологические положения и результаты практической реализации создания системы компьютерного зрения для автоматизации контроля качества текстильных материалов.

### **Автор защищает:**

- теоретические основы и результаты исследования алгоритмов обработки изображений текстильных материалов с целью анализа их качества;
- методику и алгоритмы получения оперативной информации о качестве текстильных материалов в процессе производства;
- теоретические исследования по выбору технического обеспечения и принципы создания систем компьютерного зрения по оценке качества текстильных материалов;
- комплекс методов, алгоритмов и программ обработки цифровых изображений для анализа качества текстильных материалов, результаты экспериментальных исследований разработанных алгоритмов на действующих предприятиях.

### **Методы исследований.**

При решении поставленных задач были использованы: общая теория систем, теория графов, теория исследования операций, теория множеств, теория массового обслуживания, теория вероятностей и математическая статистика, численные и экспериментальные методы, современные средства вычислительной техники и периферийные устройства. Использовались методы теории компьютерного зрения, математической обработки изображений, параллельной обработки данных. При разработке программного обеспечения были использованы языки программирования высокого уровня: Borland Delphi, Microsoft Visual C++, пакеты MATLAB, MATHCAD, Adobe PhotoShop CS5.

### **Научная новизна** работы состоит в следующем:

- впервые разработан комплекс методологических, математических и алгоритмических решений для автоматизации контроля качества текстильных материалов с использованием систем компьютерного зрения;
- предложены научно обоснованные технические решения для разработки аппаратно-программных комплексов по принципу «неразрушающая диагностика»;
- впервые создан и исследован единый комплекс алгоритмов и программ получения и обработки изображений текстильных материалов в процессе производства, совместимый с большинством современных разработок в сфере компьютерного зрения, дающий возможность наращивать алгоритмическую базу;
- известные математические модели и методы обработки изображений адаптированы для решения задач, актуальных для предприятий текстильной и легкой промышленности;
- впервые проведен анализ эффективности использования различных методов получения и обработки цифровых изображений текстильных материалов, полученных с помощью систем компьютерного зрения, для решения задач контроля их качества.

### **Практическая значимость:**

- создано программное обеспечение, реализующее предлагаемые алгоритмы и методы;
- представленные разработки реализуют модульную концепцию, позволяющую заменять используемые программные модули в зависимости от условий эксплуатации аппаратно-программного комплекса;

– разработан и реализован аппаратно-программный комплекс на основе систем компьютерного зрения для оперативного контроля качества текстильных материалов в процессе производства на предприятиях текстильной и легкой промышленности и решения других задач предприятия, где можно использовать цифровые изображения объектов; стоимость комплекса делает его приобретение доступным для малых и средних предприятий;

– десятки исследований в производственных условиях действующих предприятий доказали возможность использования цифровых изображений текстильных материалов для решения задач оперативного контроля их качества.

### **Реализация результатов работы.**

Практическая значимость работы подтверждена актами апробации в условиях завода нетканых материалов ООО «Термопол-Москва» (г. Москва), фабрики по выпуску ватных изделий ООО «Тексфо» (Рязанская обл.), текстильного предприятия ООО «Исток – Сибирские пуховые товары» (г. Новосибирск).

Отдельные результаты работы использованы при подготовке учебных курсов на кафедре информационных технологий и компьютерного дизайна: «Системы реального времени», «Технические средства дизайна», «Инструментальные средства визуальной коммуникации и прикладной дизайн», «Автоматизированные методы проектирования текстильных изделий».

### **Апробация результатов работы.**

Основные положения диссертации и результаты работы обсуждались на научных конференциях и заседаниях кафедры информационных технологий и компьютерного дизайна МГУДТ, на Международной конференции «Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности» (Москва, 2009), на 1 Международной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях» (Москва, 2009), на Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической отраслях промышленности» (Санкт-Петербург, 2009), на Международных научно-технических конференциях «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ – 2010, ТЕКСТИЛЬ – 2011, ТЕКСТИЛЬ – 2012) (Москва, 2010 – 2012), на X, XI Всероссийской научной конференции «Текстиль XXI века» (Москва, 2011, 2012), на Международной

научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Москва, 2013).

**Достоверность результатов и проведенных исследований**  
подтверждается применением современных методов исследования, путем математических доказательств, математического и имитационного моделирования и экспериментальных исследований, апробацией основных положений диссертации в научной периодической печати, конференциях, а также актами производственной апробации о применении разработанных программных продуктов в условиях действующих предприятий текстильной и легкой промышленности.

**Личный вклад соискателя:** постановка задач диссертации, основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены автором лично. Разработка методов и алгоритмов проводилась совместно с соавторами работ, в которых они опубликованы. Проведение рассуждений и выводов при разработке технического обеспечения, обоснование методов и алгоритмов, их исследование и практическая реализация в виде алгоритмов обработки изображений, проверка достоверности результатов, получение выводов и их интерпретация выполнены автором.

### **Публикации.**

Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в 37 печатных работах, в том числе 12 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации.

### **Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов по работе, списка использованной литературы, включающего 177 наименований, и приложений на 22 страницах. Объем диссертации составляет 287 страниц, включая 244 страницы основного текста, содержащего 148 рисунков и 23 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цель исследования и решаемые задачи, излагается научная новизна и практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приводится обзор и анализ состояния научных работ по системам компьютерного зрения и автоматизации контроля качества текстильных материалов.

Основными этапами работы системы компьютерного зрения являются: получение изображения, передача его для обработки на компьютер, обработка изображений по специальным алгоритмам и выдача управляющего решения. Типовая система компьютерного зрения состоит из одной или нескольких фото- или видеокамер, системы передачи данных в компьютер и системы обработки данных (компьютер).

Большинство современных систем контроля качества текстильных материалов представляют собой сложные многоцелевые устройства, позволяющие регистрировать практически любые пороки текстильных полотен. Основными производителями систем автоматизированной дефектоскопии текстильных материалов являются компании ISRA Vision, I2S Linescan, Cognex, Lenzing Instruments, EasyBraid Co, Elbit Vision Systems, Zellweger Uster и др. Они выпускают довольно широкий спектр систем, подходящих к большинству производств.

Однако из-за своей многозадачности эти системы требуют немалых материальных затрат. Поэтому разработка упрощенных, но эффективных систем видеорегистрации пороков текстильных полотен поможет предприятиям получить направленную конкретно для решения их задач систему контроля качества, вкладывая при этом значительно меньшие суммы. Вопросам автоматизации обнаружения дефектов текстильных материалов посвящены работы Коробова Н.А., Ивановского В.А., Комарова А.Б.

Анализируя спрос и предложение на рынке контроля качества текстильных материалов, можно заметить, что существует потребность в бюджетных вариантах систем контроля, которые могли бы выполнять может и меньшее количество задач по сравнению с аппаратно-программными комплексами ведущих производителей, но не менее эффективно и при наименьших материальных затратах. Это свидетельствует об актуальности данного направления.

Одну из главных ролей в таких комплексах играет математическое обеспечение. Разработано много методов оценки качества текстильных материалов, основанных на обработке их изображений. Большинство из них



реализовано программно. В этой области известны работы Коробова Н.А., Севостьянова П.А., Ивановского В.А., Комарова А.Б., Городнова И.А., Агафонова В.И. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Некоторые из них ориентированы на лабораторные исследования. Широкая реализация других усложняется дороговизной разработки и внедрения в производство. Какие-то алгоритмы требуют больших временных затрат центрального процессора. В связи с этим назрела необходимость в создании комплекса программ, сочетающих в себе все преимущества известных алгоритмов, способного адаптироваться к любой решаемой конкретной задаче в условиях производства.

Теоретическому и практическому решению вопроса автоматизации контроля качества текстильных материалов на основе создания системы компьютерного зрения и посвящена данная диссертация.

**Во второй главе** рассмотрены вопросы развития и совершенствования математического и технического обеспечения автоматизированных систем получения и обработки изображений для контроля качества текстильных материалов в процессе их производства.

Прежде чем обрабатывать изображение, необходимо оценить его качество, выработать показатели, по которым можно оценить изображение, как единое целое. В качестве основных показателей в нашем случае можно считать яркость и контрастность.

Перед выработкой критериев и методов оценки качества изображения нужно выбрать цветовую модель. Наиболее простой для понимания и удобной для математического описания представляется модель *RGB*. Она применяется практически во всех технических устройствах для получения растровых изображений и программных продуктах по обработке этих изображений. При необходимости она легко преобразуется в другие цветовые модели.

Яркость изображения  $Y$  можно выразить как среднюю яркость всех пикселей. В соответствии с рекомендациями стандарта Федеральной комиссии связи (FCC), яркость изображения вычисляется по формуле:

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N (0,299 * R_p + 0,587 * G_p + 0,114 * B_p), \quad (1)$$

где  $R_p$ ,  $G_p$ ,  $B_p$  – значения компонент модели *RGB*,  $N$  – количество пикселей изображения.

Коэффициенты соответствуют яркости цветовой модели  $YCrCb$ . Компоненты  $C_r$  и  $C_b$  содержат информацию о цвете и насыщенности. Эти две цветовых модели связаны следующим матричным преобразованием:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,5 & -0,41869 & 0,08131 \\ -0,168874 & -0,33126 & 0,5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

В качестве критерия оценки яркостной контрастности можно рассматривать дисперсию яркости пикселей изображения:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N (Y_p - Y)^2 \quad (3)$$

Судить о виде брака возможно только после определения контуров бракованного участка, его размера и формы.

В области обработки изображений известно много алгоритмов выделения границ контуров. Сама операция выделения границ контуров заключается в усилении резких перепадов яркости соседних пикселей. Это достигается путем дифференцирования двумерного поля изображения по различным направлениям области определения. При этом в окрестности перепада функции яркости образуется пик, который можно легко зарегистрировать. Производная функции здесь определяется, как разность значений соседних пикселей:

$$\frac{dy}{dx} = y(x + 1) - y(x) \quad (4)$$

Одним из лучших алгоритмов определения контуров изображения считается оператор Канни. Он и используется в данной работе. В алгоритме выделяются пять основных этапов:

- Для уменьшения вычислительных затрат в начале изображение преобразуется в оттенки серого.
- Для удаления шума и лишних деталей на изображении производится операция сглаживания. Используется фильтр на основе первой производной от гауссианы с параметром  $\sigma = 1.4$ .
- Осуществляется поиск градиентов. Границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение. Используется оператор Собеля с масками по горизонтали и вертикали:

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(5)

- Подавление немаксимумов. Только локальные максимумы отмечаются как границы.
- Далее реализуется операция применения порога – для определения, находится или нет граница в данной точке изображения. Чем меньше порог, тем больше границ будет находиться, но тем более восприимчивым к шуму станет результат, выделяя лишние фрагменты изображения.

Оценивание качества текстильных материалов базируется на анализе результатов лабораторных испытаний. Эта задача часто решается подбором. В соответствии с конкретной ситуацией в качестве аппроксимационной модели можно выбрать не только классические распределения, но и модели, которые получаются в результате суммирования тех или иных комбинаций стандартных распределений. Эти модели последнее время получают все большую популярность.

Характерным примером распределений является смесь нормальных распределений, названная «моделью Тьюки». При этом исходят из того, что наблюдения берутся из генеральной совокупности, заданной функцией плотности вида:

$$f(x) = (1 - \varepsilon) * \varphi(x; m, \sigma_1^2) + \varepsilon * \varphi(x; m, \sigma_2^2), \quad (6)$$

где  $\varphi(x; m, \sigma^2)$  - плотность нормального распределения со средним значением  $m$  и дисперсией  $\sigma_1^2$ ;

$\varepsilon$  - доля «засоряющих» наблюдений, причем  $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$ .

Тьюки предложил соотношение  $\sigma_1 = 3\sigma_2$ .

Для несимметричных засорений можно использовать модель засорения Шурыгина. В модель смеси засорений вводится дополнительный параметр « $a$ », отражающий сдвиг засорения относительно основного распределения, имеющего функцию плотности  $\psi(x; \theta, \sigma)$ . Тогда модель смеси имеет вид:

$$f(x) = (1 - \varepsilon) * \psi(x; \theta, \sigma) + \varepsilon * h(x - \theta - a), \quad (7)$$

где  $\theta$  и  $\sigma$  - параметры места группирования и масштаба соответственно;

$h$  - плотность некоторого симметричного закона распределения.

Основной характеристикой, влияющей на время реакции системы компьютерного зрения, является суммарное время выполнения каждой из решаемых задач:

$$T = T_c + T_l + T_a + T_r, \quad (8)$$

где  $T$  – время реакции комплекса в целом;

$T_c$  – время получения и обработки данных на камере;

$T_l$  – время, затраченное на передачу данных с камеры на компьютер;

$T_a$  – время анализа изображения на компьютере;

$T_r$  – время реакции станка на полученные результаты вычислений.

Указанные величины зависят от большого количества параметров: разрешения кадра, глубины цвета, количества кадров в секунду, типа интерфейса, используемого алгоритма обработки изображений.

После выбора аппаратной конфигурации и алгоритмов обработки данных необходимо проанализировать производительность проекта, оценить, насколько он соответствует временным ограничениям для решения поставленных задач. Это удобно сделать с применением теоремы о верхней границе коэффициента использования центрального процессора: «Множество из  $n$  независимых периодических задач, планируемых согласно алгоритму монотонных частот, всегда удовлетворяет временным ограничениям, если

$$\frac{C_1}{T_1} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \leq n(2^{\frac{1}{n}} - 1), \quad (9)$$

где  $C_i$  и  $T_i$  - время выполнения и период задачи  $i$  соответственно».

Временная сложность параллельного алгоритма вычисляется по формуле:

$$T = T_{\text{выч}} + T_{\text{комм}} + T_{\text{синхр}}, \quad (10)$$

где  $T_{\text{выч}}$  – непосредственно время вычислений, зависит от объема данных и количества используемых процессоров,

$T_{\text{комм}}$  – накладные расходы на коммуникационные задачи,

$T_{\text{синхр}}$  – затраты на синхронизацию при работе нитей.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве рекомендаций для примерной оценки скорости работы комплекса в зависимости от его основных характеристик.

**Третья глава** посвящена разработке алгоритмов анализа качества текстильных материалов для систем компьютерного зрения.

Для экспресс-контроля неровноты по линейной плотности нетканого полотна можно использовать изображения полотна, полученные на просвет. Очевидно, что чем выше линейная плотность полотна, тем хуже полотно пропускает свет, и, соответственно, изображение получается темнее.

Предлагается использовать метод скользящего среднего, который является методом сглаживания с целью исключения влияния случайной составляющей. В данном случае используется простое сглаживание (не взвешенное), которое заключается в обычной замене значений членов ряда на среднее арифметическое:

$$X_{cp}(k) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x(k), \quad (11)$$

где  $n$  – количество пикселей в изображении.

Вычисляется среднее значение цвета конкретного изображения. В модели *RGB* форма записи белого цвета выглядит, как (255,255,255). Запись (0,0,0) соответствует черному цвету. Полученное среднее значение можно взять за аналог линейной плотности исследуемого образца нетканого полотна, поскольку оно обратно пропорционально освещенности образца.

Для реализации широкого спектра задач по выявлению и классификации неоднородностей, зафиксированных на изображении тканого полотна, в последнее время стали использовать наиболее удачно скомбинированные алгоритмы. Объединив несколько операторов и фильтров, удалось написать программу поиска контура на качественном уровне (рис. 1). Программа реализует работу оператора Канни для поиска границ брака на изображении ткани.



**Рис. 1.** Результат работы программы по выделению контуров

Одной из сложнейших задач является определение не только наличия брака, но и его характера: недосека, масляное пятно, дыра или утолщение нити. Исследования формы, цветовых значений пикселей и других показателей качества изображения помогут соотнести результаты с конкретным пороком ткани. Была выполнена классификация видов брака по форме и размеру. Определялся прямоугольный размер бракованного участка для последующего вывода о площади бракованной области.

При попытке выявить пороки в изображении тканого полотна, приходится сталкиваться с такой проблемой, как способ обозначения пороков. Дефекты ткани различаются по площади, виду, значимости и т.д.

Рассмотрим алгоритм выявления пороков ткани на примере полотняного переплетения. Алгоритм был реализован последовательным способом обработки изображений. Светлые участки изображения, соответствующие непосредственно нитям основы, обозначим за 0. Промежутки между нитями утка (темные участки) обозначим за 1. Тогда матрица исходного эталонного изображения примет вид (рис.2):

$$X = \begin{pmatrix} 0000000000000000 \\ 010101010101010 \\ 0000000000000000 \\ 010101010101010 \\ 0000000000000000 \\ 010101010101010 \end{pmatrix}$$

**Рис. 2.** Полученная исходная матрица

Если на ткани имеется местный порок (например «дыра»), на изображении будет темное пятно, а матрица будет выглядеть, как на рис. 3:

$$X_B = \begin{pmatrix} 0000000000000000 \\ 011111110101010 \\ 011111110000000 \\ 010101110101010 \\ 0000000000000000 \\ 010101010101010 \end{pmatrix}$$

**Рис. 3.** Выявление порока путем сравнения эталонной матрицы с полученной

Путем сравнения полученной матрицы  $X_B$  с эталонной  $X$  порок может быть выявлен.

Для повышения точности определения бракованного участка ткани иногда целесообразно увеличивать размер изображения (разрешение кадра). Время обработки изображения при этом увеличивается в квадратичной зависимости. Сократить время обработки изображения можно с помощью параллельно работающих процессоров, предварительно изображение надо разбить на  $m$  частей. Обозначим:  $m$  – количество параллельных процессоров,  $t_m$  – время обработки изображения этими процессорами,  $t_1$  – время обработки исходного изображения текстильного материала (до увеличения разрешения кадра),  $n$  – число раз, в которое увеличился размер нового изображения по обеим осям. Тогда в первом приближении  $t_m$  вычисляется по формуле:

$$t_m = n^2 t_1 / m + \Delta, \quad (12)$$

где  $\Delta$  – величина, которая учитывает все дополнительные временные затраты – время на разбиение изображения на части, на контекстные переключения, на суммирование результатов, полученных каждым из процессоров.

Одним из наиболее актуальных направлений развития систем автоматизированного проектирования художественного оформления тканей является создание и ведение электронных коллекций изображений, наносимых на ткани. Пополнение подобных коллекций новыми образцами можно осуществлять также с помощью предлагаемого в работе аппаратно-программного комплекса, поскольку изображения фиксируются WEB-камерой.

Наряду с этим может решаться и противоположная задача – по имеющемуся изображению найти в базе данных подобные рисунки. Были разработаны алгоритмы, реализованные программно, которые распознают линейные и клетчатые элементы в текстильных узорах с использованием графа соседства цветов.

Метод поиска основан на сравнении визуальных примитивов образца с аналогичными визуальными примитивами точечных изображений. Все множество цветов изображения разбивается непересекающимися и полностью покрывающими его подмножествами. Для этого разбиения формируется гистограмма, отражающая долю каждого подмножества цветов в цветовой гамме изображения. При поиске изображений, обладающих цветовыми гаммами, подобными цветовой гамме заданного образца, вычисляется расстояние между гистограммами, которое является критерием этого подобия.

Однако очевидно, что встречаются изображения, имеющие одинаковые векторы гистограмм, но отличающиеся друг от друга по цветовому





Граф соседства цветов узора  $G$ , ребра которого взвешены положительными целыми значениями элементов матрицы  $A$ , приведен на рис. 4:

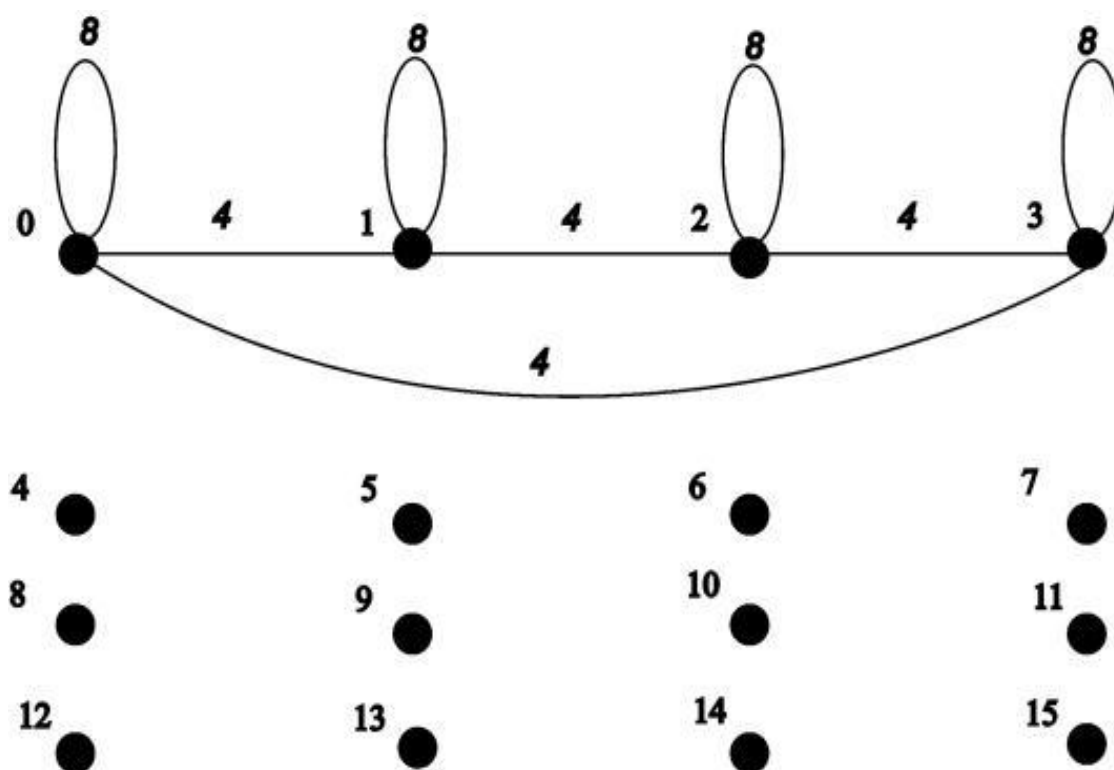


Рис. 4. Граф соседства цветов узора  $G$

Графы соседства цветов для узоров, состоящих из одинакового числа разноцветных полос шириной в 1 точку изоморфны. При увеличении ширины полос в графах соседства цветов меняются только веса петель; граф соседства цветов инвариантен к повороту на  $90^\circ$  узора, состоящего из разноцветных полос, и может быть использован для определения подобия узоров, состоящих из разноцветных полос.

**В четвертой главе** приведены примеры практического применения разработанных алгоритмов для оценки качества текстильных материалов.

Совместно с заводом по выпуску нетканых полотен «Термопол-Москва» непосредственно в производственных цехах проводилась работа, в которой анализировалась возможность использования различных типов датчиков для определения неровноты по поверхностной плотности нетканого полотна.

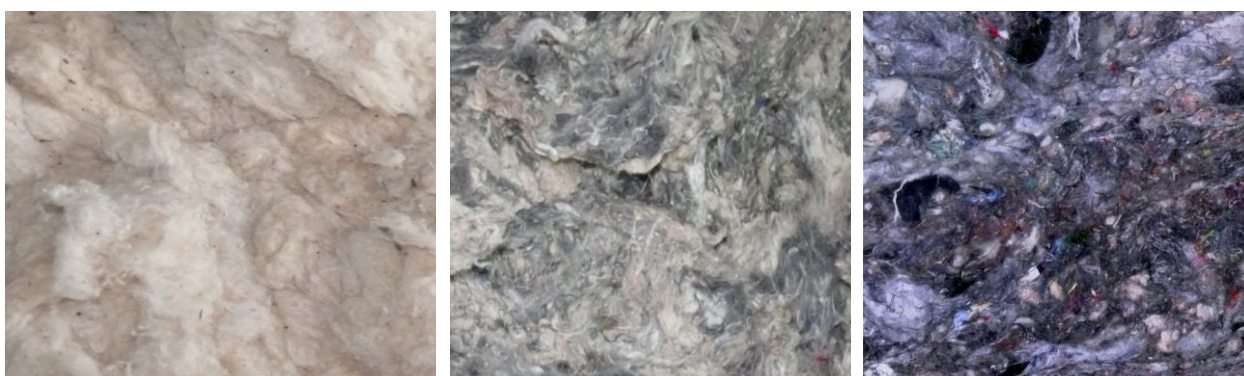
Были исследованы различные варианты: опробована пара «светодиод-фотодиод»; сканер, позволяющий получать изображения «на просвет»;

цифровой фотоаппарат; WEB-камера. В качестве оптимального варианта для получения изображений полотна был выбран последний вариант. WEB-камера обязательно должна иметь функцию ручной настройки экспозиции – для исключения автоматического повышения чувствительности матрицы при уменьшении освещенности. Камера в процессе производства устанавливалась с одной стороны полотна, а осветительная лампа – с другой. Изображения полотна с различной плотностью представлены на рис. 5:



**Рис. 5.** Изображения полотен различной плотности: 70 г/ м<sup>2</sup>; 200 г/ м<sup>2</sup>; 400 г/ м<sup>2</sup>

На текстильном предприятии ООО «Тексфо», специализирующимся на выпуске ватных изделий, была проведена работа по оперативной оценке качества сырья. Качество и цена ватной продукции зависят от качества сырья – наполнителя. Наполнитель может состоять из чистой ваты белого цвета. Продукция из чистой ваты является самой дорогой. Для снижения себестоимости, в том числе и по желанию покупателя, в вату может добавляться регенерированное волокно – вторичное сырьё, получаемое разволокнением отходов текстильного производства. Обычно, оно бывает темных тонов. Чем темнее сырьё, тем оно дешевле. Изображения сырья с различной долей вложения регенерированного волокна представлены на рис. 6.



**Рис. 6.** Изображения сырья с различной долей вложения регенерированного волокна: чистая вата; 30%; 100%

Оценить процент вложения темного регенерированного волокна в смеске может только опытный технолог. Оценить равномерность подаваемого в производство сырья на протяжении всей перерабатываемой партии – задача ещё более сложная.

Если продукция будет производиться из разного по составу сырья на протяжении одной партии, то и качество изделий в пределах одной партии будет разным. Последствия этого могут быть не совсем приятны для фабрики. Одно из решений подобной проблемы – последовательный анализ изображений сырья, полученных после выхода из смесовой машины.

При производстве натуральных пуховых наполнителей для подушек, одеял и других пуховых изделий также может использоваться сырье разного качества. Качество наполнителя характеризуется однородностью сырья, в том числе и по цвету. При соблюдении одних и тех же условий съемки были получены фотоизображения белого сырья и более темного сырья (рис. 7):



**Рис. 7.** Две партии пуха: слева – темнее, справа – светлее

Были проанализированы изображения в монохромном варианте, 16-цветном, 256-цветном и 24-разрядном варианте. Использовался алгоритм вычисления среднего значения цвета изображения. Результаты расчетов приведены в табл. 3:

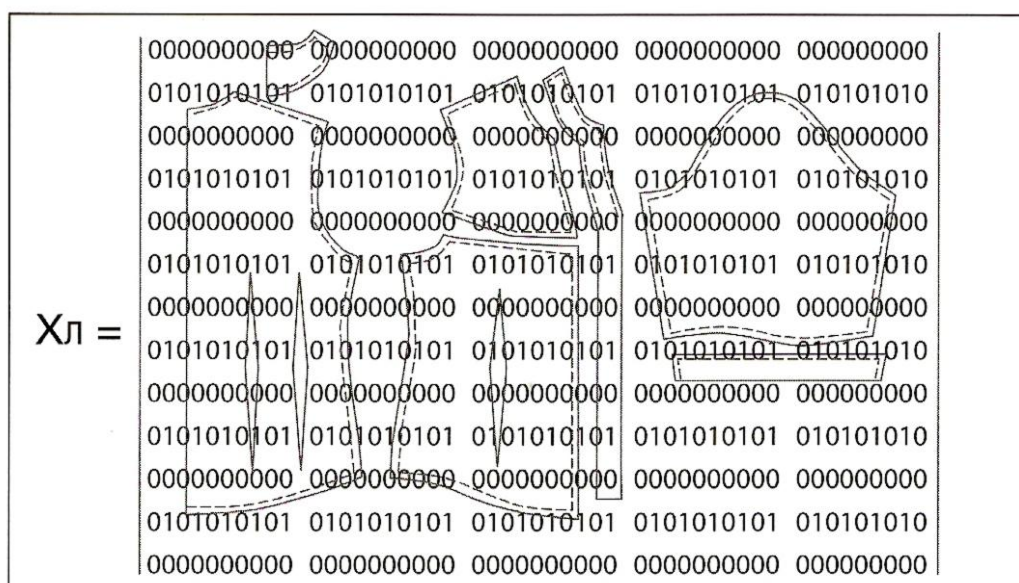
Таблица 3

Расчетные значения предлагаемого показателя

<b>Вид изображения</b>	<b>Темное сырье</b>	<b>Светлое сырье</b>
<b>монохромное</b>	117	135
<b>16-цветное</b>	930	962
<b>256-цветное</b>	943	958
<b>24-разрядное</b>	938	954

Несмотря на то, что изображения сырья визуально практически не отличаются, рассчитанный коэффициент для всех вариантов получился обратно пропорционален степени «белизны» сырья, как и ожидалось.

В процессе раскроя тканого полотна по заданной раскладке фрагментов будущего изделия примерно 30% используемой ткани идет в утиль. Задача раскроя заключается в размещении деталей изделия, соответствующих исходным заготовкам, на листе. Выше был предложен метод формирования матрицы по изображению ткани, имеющей дефекты. Изображения лекал можно наложить на цифровую матрицу ткани (рис. 8):



**Рис. 8.** Наложение изображения лекал на цифровую матрицу ткани

При анализе изображений полотен создаются матрицы, анализируется наличие пороков путем сравнения с эталонной матрицей. Далее сравнивается полученная матрица с матрицей заданного лекала, выявляются фрагменты, попадающие на участки полотна, которые содержат пороки. После выявления таких фрагментов ищется оптимальное расположение фрагментов изделия на полотне, при котором будет наименьшее количество бракованных деталей, полученных после раскроя.

**Пятая глава** посвящена разработке аппаратно-программного комплекса на основе создания систем компьютерного зрения, приведены результаты его апробации на текстильных предприятиях.

Аппаратно-программный комплекс был разработан для оценки неровноты по длине и ширине нетканого полотна (по поверхностной плотности полотна).

Данный комплекс может считаться системой экспресс-оценки качества нетканых материалов в промышленных условиях. Выбрано техническое обеспечение и реализовано два режима 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, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации плотности по длине полотна. Некоторые экранные формы приведены на рис. 9 – 10.



Рис. 9. Пример графика, полученный в производственных условиях

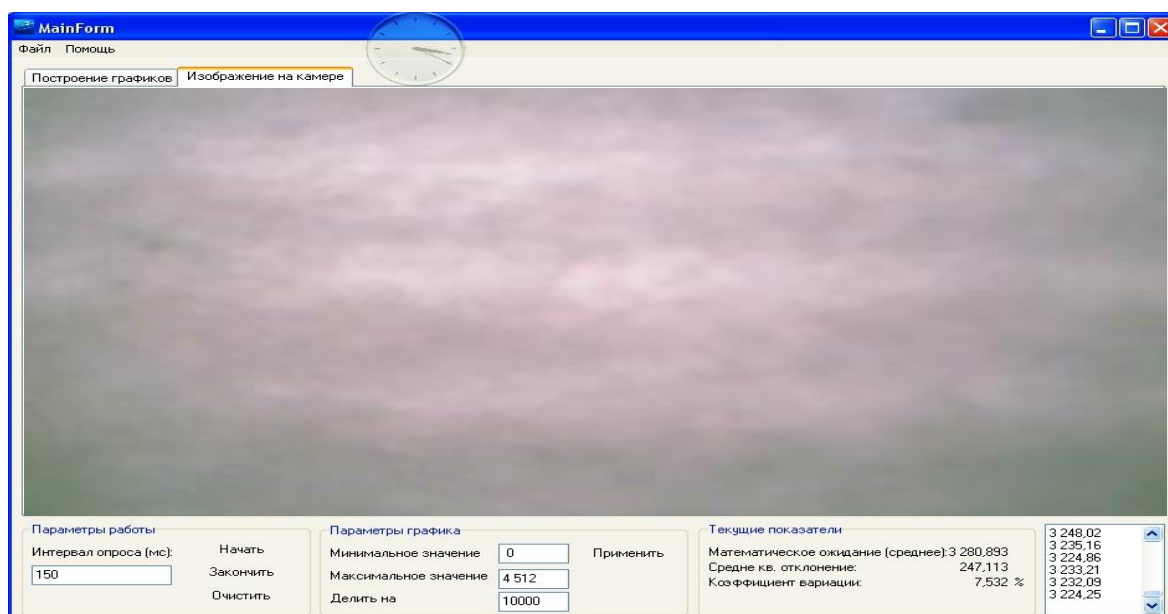
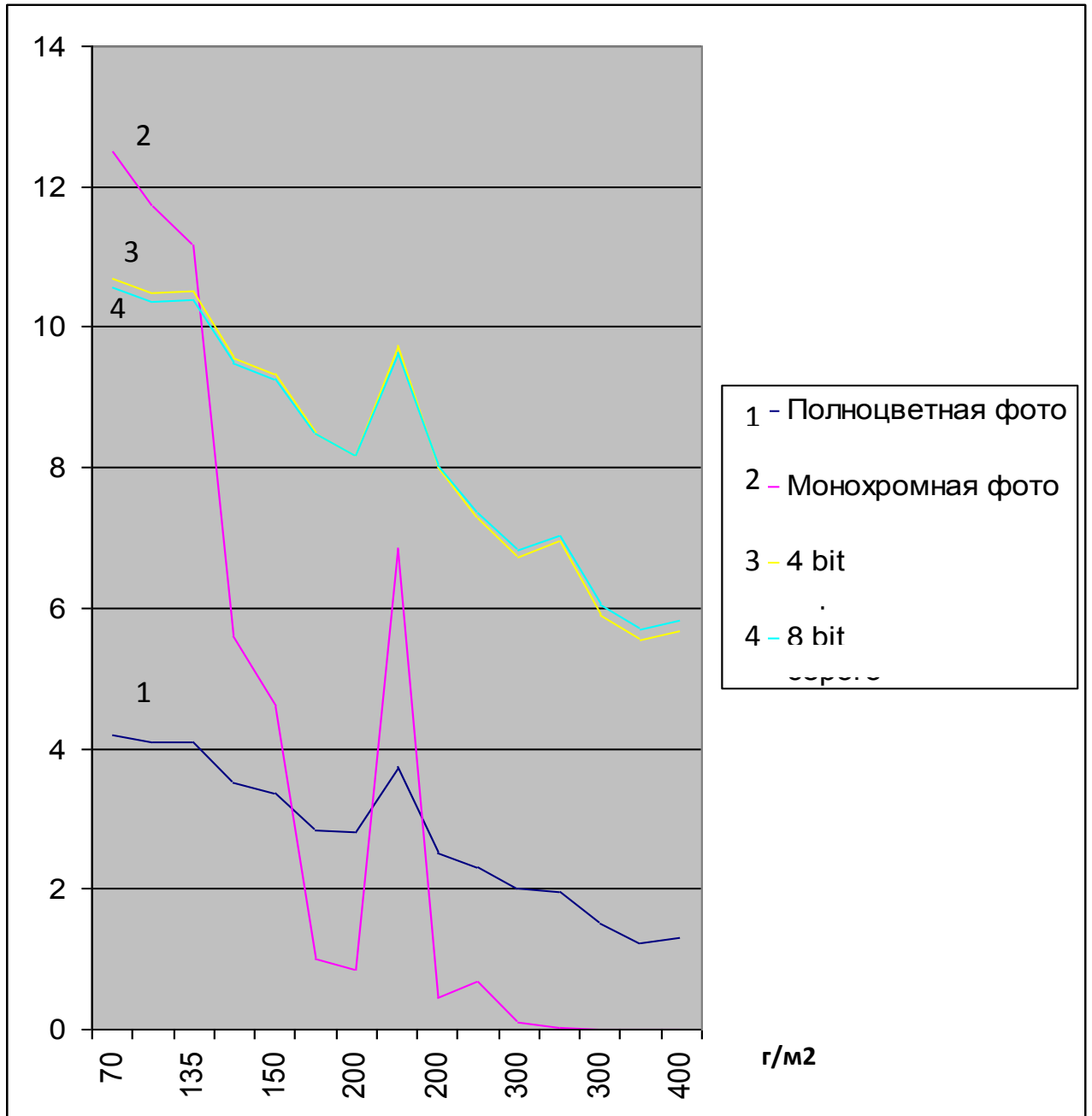


Рис. 10. Функция просмотра текущего изображения полотна

Для выявления оптимального вида изображения, позволяющего тратить минимум времени при сохранении удовлетворительных результатов вычислений, были исследованы: полноцветные изображения, монохромные фотографии, 4- и 8-битовые изображения. Графики обработки изображений представлены на рис. 11. Всплеск в районе 200-граммового образца вызван тем, что на нем был специально сделан тонкий срез – для имитации неровности.



**Рис. 11.** Зависимость предлагаемого показателя от поверхностной плотности полотна

Разработанное программное обеспечение было использовано для обработки изображений, полученных на ватной фабрике. Результаты расчетов приведены в табл. 4. Чем светлее изображение, тем больше среднее значение цвета изображения в системе *RGB*, что и ожидалось.

Таблица 4

Значения коэффициентов, полученных для разных изображений

Процент вложения РВ в смеску	0	15	30	100
Изображение получено со вспышкой (полноцветное)	391	386	381	313
Изображение получено без вспышки (полноцветное)	354	338	257	250
Изображение получено со вспышкой (монохромное)	390	385	380	311

С помощью предлагаемого комплекса можно контролировать ткань как на протяжении всей партии, так и по ширине полотна. Для этого необходима доработка программного обеспечения. Поскольку размер некачественных участков ткани может быть значительно меньше, чем на нетканых полотнах, анализировать предлагается не весь кадр, а лишь узкий участок изображения. Сектор, анализируемый программой, задаётся оператором с помощью компьютерной мыши. При наличии мощного компьютера выделенную область можно разбить на части (рис. 12) и анализировать полотно поперёк – по утку.

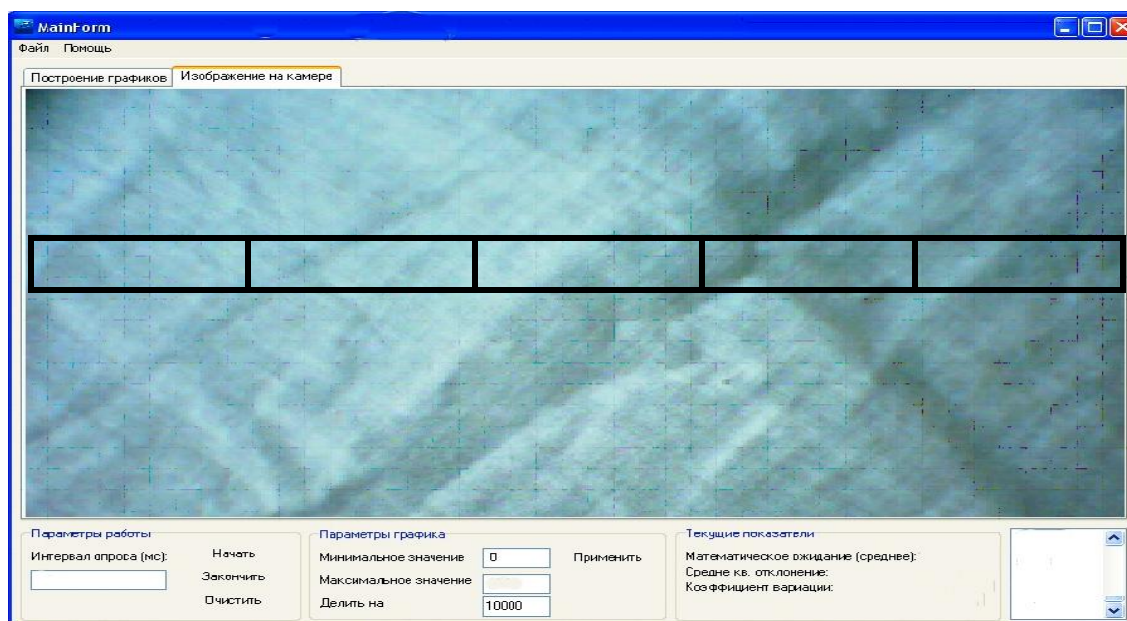


Рис. 12. Исследуются сектора изображения тканого полотна по утку

Вариантов сравнения кадров может быть несколько, но практически применимыми видятся два основных: сравнение двух последовательных кадров и сравнение каждого нового кадра с эталонным. Описанный алгоритм основан на первом варианте.

Для реализации второго варианта была разработана отдельная программа. Чувствительность комплекса на изменение нового кадра по отношению к эталонному может изменяться в процессе работы программы. Можно настроить комплекс на реагирование при малейших изменениях на новом кадре (например, узел или другой мелкий порок ткани), можно снизить чувствительность для определения более крупных видов пороков – дыры, масляные пятна и т.п. На рис. 13 приведены результаты обработки изображений ткани с дефектами, полученные при различных значениях чувствительности.



**Рис. 13.** Изображения ткани с дефектами, полученные при различных значениях чувствительности



**В шестой главе** описаны дополнительные возможности использования разработанного аппаратно-программного комплекса для решения задач текстильной и легкой промышленности.

На данном этапе развития сферы услуг в России важным преимуществом любой компании становится конкурентоспособность, основанная на нестандартных способах презентации новых возможностей компании, особенно с использованием современных информационных технологий. Появился устойчивый спрос на программы, используемые в узком профиле и решающие одну или несколько схожих по направлению задач. В работе была исследована возможность использования предлагаемого аппаратно-программного комплекса в ателье, мастерских по пошиву одежды, свадебных салонах и прочих фирмах, производящих и реализующих одежду на заказ.

В ателье полученная с помощью WEB-камеры фотография заказчика может быть обработана программой по определению контуров элементов одежды. Теперь дизайнер и заказчик могут «залить» полученные контуры различными цветами и фактурами, а результат видеть моментально на экране компьютера (рис. 14):

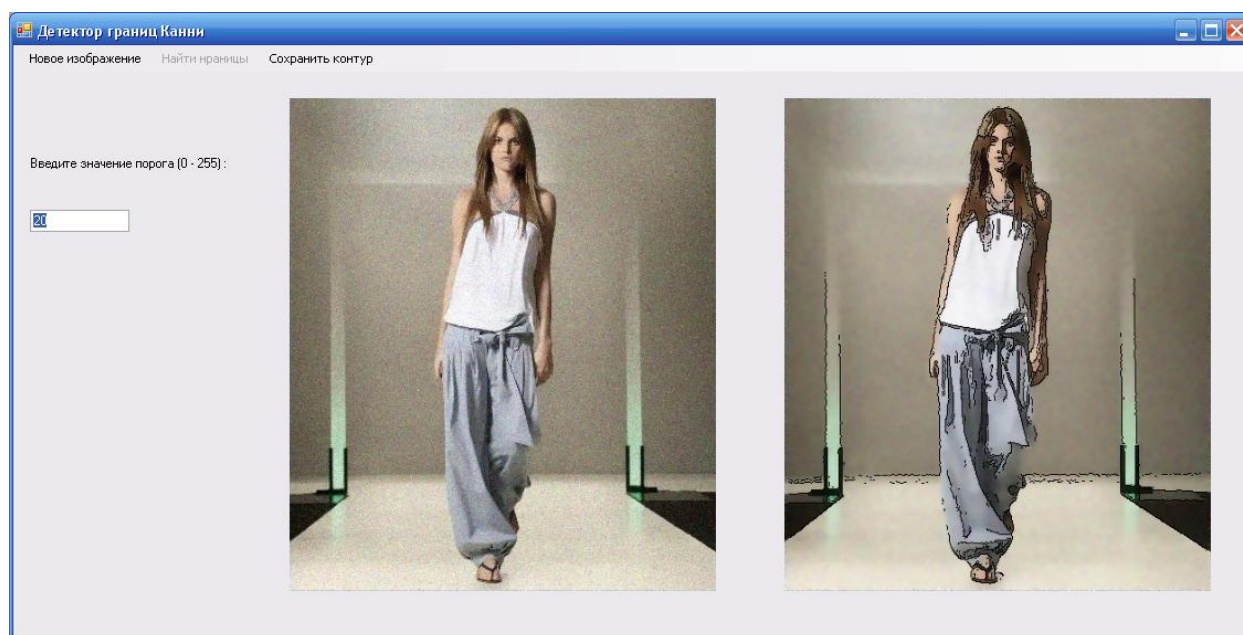
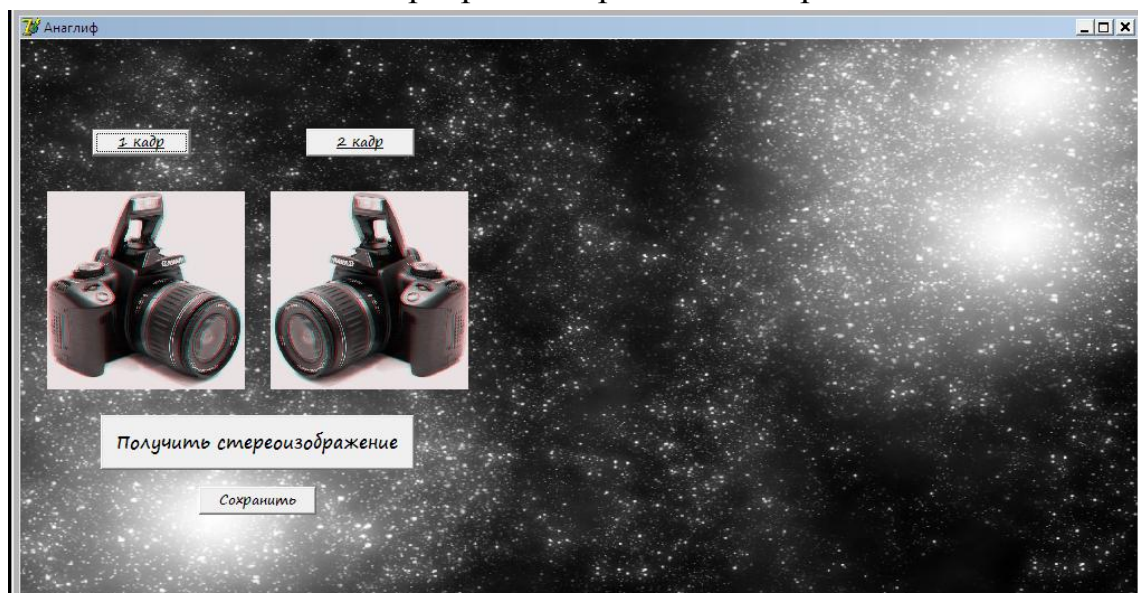


Рис. 14. Результаты работы программы

Цвет изделия или товара играет большую роль в формировании спроса на этот товар. Поэтому вопросы восприятия цвета и решение задач, связанных с улучшением визуального восприятия объекта, являются довольно актуальными для многих производителей изделий текстильной и легкой промышленности.

Цветовосприятие тканей может меняться в зависимости от условий и источников освещения. Проведена серия экспериментов по определению влияния различных источников света на цветовосприятие ткани. Появилась возможность до изготовления изделия показать заказчику, как будет выглядеть это изделие при различных источниках освещения. Конечно, предварительно в ателье должна быть сформирована база данных по имеющимся в наличии тканям и их изображения при различном освещении.

Современные услуги ателье должны быть, как и реклама, максимально яркими и запоминающимися. Обычной рекламой и стандартными услугами в ателье сегодня никого не удивишь. Именно поэтому возникла идея использовать уже полученные фотоизображения заказчика для получения на их основе стереоскопических изображений заказчика. Технология получения стереоизображения должна быть недорогой. Необходим бюджетный вариант. Поэтому был выбран вариант с применением анаглифных стереочков – очков, стекла которых окрашены в разные цвета. Стереопару предлагается получать с помощью двух WEB-камер, разнесенных на 6 см и получающих изображения одновременно. Полученный результат отображается на экране компьютера. Для получения стереоизображений было разработано специальное программное обеспечение. Главное окно программы приведено на рис. 15:



**Рис. 15.** Главное окно программы получения стереоизображений

### **Общие выводы**

В работе решены все поставленные задачи.

Впервые разработан комплекс методологических, математических и алгоритмических решений для автоматизации контроля качества текстильных материалов с использованием систем компьютерного зрения, реализующих принцип «неразрушающая диагностика».

Впервые создан и исследован единый комплекс алгоритмов и программ получения и обработки изображений текстильных материалов в процессе производства, совместимый с большинством современных разработок в сфере компьютерного зрения, дающий возможность наращивать алгоритмическую базу. Известные математические модели и методы обработки изображений адаптированы для решения задач, актуальных для предприятий текстильной и легкой промышленности.

В условиях действующих предприятий проведен анализ эффективности использования различных методов получения и обработки цифровых изображений текстильных материалов, полученных с помощью систем компьютерного зрения, для решения задач контроля их качества.

Создано программное обеспечение, реализующее предлагаемые алгоритмы и методы. Представленные разработки реализуют модульную концепцию, позволяющую заменять используемые программные модули в зависимости от условий эксплуатации аппаратно-программного комплекса.

Предложенные методы использованы при разработке и реализации аппаратно-программного комплекса на основе систем компьютерного зрения для оперативного контроля качества текстильных материалов в процессе производства на предприятиях текстильной и легкой промышленности и решения других задач предприятия, где можно использовать цифровые изображения объектов. Стоимость комплекса делает его приобретение доступным для малых и средних предприятий.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Новиков, А.Н. Алгоритмы распознавания видов брака ткани по ее изображению [Текст] / А.Н. Новиков, О.С. Матвеева // Дизайн и технологии. – 2013. – №37. – С. 96 – 101.
2. Новиков, А.Н. Выделение контуров растрового изображения в задачах визуализации контуров одежды [Текст] / А.Н. Новиков, А.В. Фирсов, Ю.С. Шустов, О.С. Матвеева // Дизайн и технологии. – 2013. – №36. – С. 75–81.
3. Новиков, А.Н. Разработка информационной системы оценивания влияния искусственного света на цветовосприятие тканей [Текст] / А.Н. Новиков, А.В. Фирсов, Ю.С. Шустов, С.В. Колесникова // Дизайн и технологии. – 2013. - №35(77). – С.55 –59.
4. Новиков, А.Н. Методы формирования информационной базы текстильных текстур и материалов [Электронный ресурс] / И.А. Никитин, А.Н. Новиков // «Инженерный вестник Дона», 2013, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1880> (доступ свободный) – Загл. с экрана.
5. Новиков, А.Н. Использование графа соседства цветов для распознавания цветных клеток в текстильных узорах [Текст] / Г.И. Борзунов, К.А. Моисеев, А.Н. Новиков // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – №1. – С. 144 – 147.
6. Новиков, А.Н. Использование графа соседства цветов для распознавания линейных элементов в текстильных узорах [Текст] / Г.И. Борзунов, К.А. Моисеев, А.Н. Новиков // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности.– 2012. – №2. – С.142 – 146.
7. Новиков, А.Н. Оперативный контроль качества на ватной фабрике [Текст] / А.Н. Новиков, А.В.Фирсов, Ю.М. Фокин // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности.– 2012. – №6. – С.160 –162.
8. Новиков, А.Н. Алгоритм выявления неоднородности изображения тканого полотна [Текст] / А.В. Демидов, А.В. Фирсов, А.Н. Новиков // Швейная промышленность. – 2010. – №6. – С.30 – 31.
9. Новиков, А.Н. Вопросы контроля качества нетканых полотен в процессе производства [Текст] / А.Н. Новиков, А.Н. Боначев, С.А. Махов, Г.И. Борзунов, А.В. Фирсов // Швейная промышленность. – 2007. №6. – С.42 – 44.
10. Новиков, А.Н. Случайные ошибки обработки первичных

Результатов испытаний и пути их устранения [Текст] / С.В. Соболев, А.Н. Новиков // Изв.вузов. Технология легкой промышленности. – 1990. №4. – С. 115 – 116.

11. Новиков, А.Н. Анализ и устранение смещения при вычислении выборочного среднего [Текст] / С.В. Соболев, А.Н. Новиков // Изв.вузов. Технология легкой промышленности. – 1990. – №2. – С. 126 – 129.

12. Новиков, А.Н. Статистическая обработка симметрично распределенных результатов испытаний [Текст] / С.В. Соболев, С.А. Проскуряков, А.Н. Новиков // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 1988. – №6. – С. 7 – 10.

13. Новиков, А.Н. Распознавание видов брака ткани по её изображению [Текст] / А.Н. Новиков, О.С. Матвеева // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности». — М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2013. — с. 172.

14. Новиков, А.Н. Алгоритмы обработки изображений для экспресс-анализа качества текстильных материалов [Текст] / А.Н. Новиков, О.С. Матвеева // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ –2012). – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н.Косыгина», 2012. – с. 35.

15. Новиков, А.Н. Применение современных информационных технологий для определения зависимости цвета ткани от способов её освещения [Текст] / А.Н. Новиков, С.В. Колесникова //Сборник тезисов докладов XI Всероссийской научной студенческой конференции «Текстиль XXI века», – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н.Косыгина», 2012. –с. 61.

16. Новиков, А.Н. Разработка программного обеспечения для получения различных вариантов стереоизображений [Текст] / А.Н. Новиков, А.А. Боначева // Сборник тезисов докладов XI Всероссийской научной студенческой конференции «Текстиль XXI века», – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н.Косыгина», 2012. – с. 60 – 61.

17. Новиков, А.Н. Анализ производительности аппаратно-программного комплекса «Оценка качества текстильных материалов» [Текст] / А.Н. Новиков, М.А.Ульянов // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ –2011). – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н.Косыгина», 2011. – с. 46.

18. Новиков, А.Н. Использование WEB-камеры для оперативного контроля качества сырья на пуховом предприятии [Текст] / А.Н. Новиков, Д.Б. Владимирский // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ –2011). – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н.Косыгина», 2011. – с. 45.

19. Новиков, А.Н. Разработка программного обеспечения выделения контуров элементов моделей одежды [Текст] / А.Н. Новиков, О.С. Матвеева // Сборник тезисов докладов X Всероссийской научной студенческой конференции «Текстиль XXI века», – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н.Косыгина», 2012. –с. 70.

20. Новиков, А.Н. Анализ производительности программного обеспечения «Автоматизированный анализ качества ткани» [Текст] / А.Н. Новиков, Скоробогатов А.М. // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (ТЕКСТИЛЬ – 2010). – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н.Косыгина», 2010. – с. 162-163.

21. Новиков, А.Н. Методы обработки изображений в задачах контроля качества текстильных полотен [Текст] / А.Н. Новиков, А.А. Боначева // Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической отраслях промышленности». – СПб.: СПГУТД, 2009. – с. 261 – 262.

22. Новиков, А.Н. Производственный контроль качества текстильных полотен [Текст] / А.Н. Новиков, В.А.Беляев // Сборник тезисов докладов 1 Международной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях». – М.: МГСУ, 2009. – С. 238-239.

23. Новиков, А.Н. Система машинного зрения в текстильной промышленности [Текст] / А.Н. Новиков, А.В. Фирсов, Д.А.Фирсов // Сборник тезисов докладов Международной конференции «Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности». – М.: РОСЗИТЛП, 2009. – с. 31-32.

24. Новиков, А.Н. Использование web-камеры для оперативного контроля производственных процессов [Текст] / А.Н. Новиков, А.Н. Боначев, А.В. Фирсов // Вестник ДИТУД, 2009.– №1. – С. 8-9.

25. Новиков, А.Н. Разработка алгоритмов определения брака ткани на основе ее фотоизображения [Текст] / А.Н. Новиков, О.С. Матвеева // Сборник

тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Современные проблемы развития текстильной и легкой промышленности». – М.: ИТИЛП МГУТУ им. К.Г.Разумовского, 2012.

26. Новиков, А.Н. Аппаратно-программный комплекс диагностирования неровноты нетканых полотен [Текст] / А.Н. Боначев, А.В. Фирсов, А.Н. Новиков // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции. – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2007.

27. Новиков, А.Н. Контроль плотности нетканого полотна в процессе производства [Текст] / А.Н.Новиков, А.В.Фирсов, В.А.Беляев, Е.Н. Дубровская // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» (Поиск – 2007). – Иваново: ИГТА, 2007. – с. 189 – 190.

28. Новиков, А.Н. Новые возможности автоматизированного производства нетканых полотен [Текст] / А.Н.Новиков, А.Н. Боначев // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции. – М.: МГТУ, 2006.

29. Новиков, А.Н. Математическая модель обрывности нитей основы по причине «слабая нить» для пряжи пневмомеханического способа прядения [Текст] / Н.А. Власова, А.А. Мартынова, С.В. Соболев, А.Н. Новиков // Межвузовский сборник научных трудов «Новое в прядении натуральных и химических волокон». – М.: МТИ, 1990. – с. 109 – 112.

30. Новиков, А.Н. Статистический контроль натяжения основных нитей ткацких станков [Текст] / А.Н. Новиков, С.В Соболев // Сборник тезисов докладов областной научно-технической конференции «Научным разработкам – широкое внедрение в практику». – Иваново: ИвТИ, 1988. – с.99 – 100.

31. Новиков, А.Н. Автоматизированный статистический контроль качества изделий текстильной и легкой промышленности [Текст] / А.А. Ариффулина, А.А. Новиков, С.В. Соболев // Сборник тезисов докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Технический прогресс в развитии ассортимента и качества изделий легкой промышленности». – Иваново: ИвТИ, 1987. – с. 134.

32. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2013661511. Выделение контуров одежды на фотоизображении фигуры человека / О.С. Матвеева, А.Н. Новиков, А.В. Фирсов. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ г. Москва, 10 декабря 2013 г.

33. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2013661512. Нахождение пороков тканых полотен по их изображению / О.С. Матвеева, А.Н. Новиков, А.В. Фирсов. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ г. Москва, 10 декабря 2013 г.

34. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2013661513. Получение стереоизображения для анаглифных очков из стереопары / А.А. Боначева, А.Н. Новиков, А.В. Фирсов. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ г. Москва, 10 декабря 2013 г.

35. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2013661514. Получение стереоскопической GIF-анимации из стереопары / А.А. Боначева, А.Н. Новиков, А.В. Фирсов. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ г. Москва, 10 декабря 2013 г.

36. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2013661515. Программа анализа неровноты нетканых полотен в производственных и лабораторных условиях / А.Н. Новиков, А.В. Фирсов, В.А. Беляев, А.Н. Боначев, С.А. Махов. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ г. Москва, 10 декабря 2013 г.

37. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2013661516. Программа видеофиксации пороков текстильных полотен / А.В. Фирсов, А.М. Скоробогатов, А.Н. Новиков. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ г. Москва, 10 декабря 2013 г.