

*На правах рукописи*



**Баженов Сергей Михайлович**

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУРЫ  
ТКАНЫХ ПОЛОТЕН**

05.19.02 –Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иваново – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «**Ивановский государственный политехнический университет**» (ФГБОУ ВО «ИВГПУ») на кафедре материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии.

Научный руководитель: **Матрохин Алексей Юрьевич**,  
доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой материаловедения,  
товароведения, стандартизации и метрологии  
ФГБОУ ВО «ИВГПУ»

Официальные оппоненты: **Шустов Юрий Степанович**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой материаловедения и  
товарной экспертизы ФГБОУ ВО «Российский  
государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва

**Гречухин Александр Павлович**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии и проектирования  
тканей и трикотажа ФГБОУ ВО «Костромской  
государственный университет», г. Кострома

Ведущая организация: **ОАО «Инновационный научно-  
производственный центр текстильной и  
легкой промышленности» (ОАО «ИНПЦ  
ТЛП»)**, г. Москва

Защита диссертации состоится «25» мая 2017 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»: [www.ivgpu.com](http://www.ivgpu.com).

Автореферат разослан “\_\_” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.355.02,  
доктор технических наук, профессор



Е.Н. Никифорова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность избранной темы исследований.** Тканые полотна (суровые и готовые) относятся к категории продукции с высокой добавленной стоимостью, поэтому несоответствия, возникающие на конечном этапе формирования тканей, резко снижают эффективность всего технологического цикла «волокно–ткань». Особую роль в обеспечении качества тканей и в повышении технико-экономических показателей текстильного производства играет соблюдение проектных нормативов по такой структурной характеристике, как число нитей на 10 см, которая во многом определяет совокупность физико-механических показателей. Контроль числа нитей на заключительных этапах изготовления по-прежнему остается актуальным, при этом речь должна идти не только о разовой проверке правильности настройки технологического оборудования (ткацких станков, отделочных линий), но и об оперативном контроле стабильности соответствующих параметров в процессе работы. Очевидно, что стандартный органолептический метод определения числа нитей не способен эффективно решать задачи контроля в производственных условиях в свете высокой трудоемкости измерительных процедур и значительного количества работающих ткацких станков на среднестатистическом предприятии. Таким образом, большая часть рисков, связанных с нестабильной работой оборудования, фактически переводится в юридическую плоскость взаимоотношений поставщика и потребителя. Важность решения проблем, связанных с данными рисками возрастает в связи с тем, что на отечественных текстильных предприятиях около 80 % парка действующего ткацкого оборудования эксплуатируется уже более 30 лет и характеризуется повышенным износом.

**Степень разработанности темы.** Анализ современного состояния исследований в направлении автоматизации методов контроля характеристик структуры текстильных материалов позволяет установить ключевые подходы к решению данных задач. Среди отечественных ученых, которые внесли значительный вклад в развитие автоматизированных методов оценки качества волокон, нитей, полотен, можно выделить Б.Н. Гусева, Н.А. Коробова, Н.А. Смирнову, Г.Г. Сокову, В.А. Ивановского, П.А. Севостьянова, Е.Л. Пашина, П.Г. Шляхтенко, А.Ю. Матрохина. Среди зарубежных ученых следует отметить Deiter Hinze, Ellen Virteil, W. Roye, Y. Scharffenberg и др.

Проведенный анализ научных публикаций по вопросам разработки программно-аппаратных комплексов для контроля структурных характеристик текстильных материалов показал, что они применимы преимущественно в лабораторных исследованиях и не интегрированы в производственные процессы.

**Целью диссертационного исследования** является повышение производительности, снижение субъективности контроля, автоматизация и расширение функциональных возможностей методов измерения характеристик структуры тканых полотен.

Цель работы подразумевает решение следующих задач:

– разработка теоретических основ и определение информативных признаков

для идентификации элементов структуры тканых полотен и количественного оценивания соответствующих показателей;

- обеспечение заданной точности метода измерения параметров структуры за счет уточнения стандартного подхода к определению размеров измеряемого участка для подсчета числа нитей в тканых полотнах;

- создание надежного алгоритма идентификации и подсчета числа нитей на измеряемой длине, независимого от внешних условий;

- разработка средств подтверждения точности измерения и нормирования пределов допустимой погрешности измерений числа нитей в тканых полотнах;

- разработка интегрированной программной среды, реализующей функции планирования, управления базами данных объектов контроля, проактивной защиты от ошибок, удаленного контроля и принятия решений;

- разработка рекомендаций по практическому применению предлагаемой методики автоматизированного контроля характеристик структуры тканых полотен в условиях текстильных предприятий.

**Научная новизна работы** заключается в разработке методического и программного обеспечения производственного контроля, позволяющего автоматизировать процесс измерения характеристик структуры тканых полотен за счет использования теории распознавания образов и гибридных алгоритмов идентификации нитей при сочетании дополнительных информационных элементов, способствующих повышению точности и надежности результатов контроля.

Новые результаты состоят в том, что:

- разработан метод автоматизированного определения характеристик структуры тканых полотен, включая число нитей по основе и утку на 10 см и размеры их поперечника;

- предложены принципы гибридного анализа цифровых изображений тканых полотен, основанные на использовании конкурирующих алгоритмов получения измерительной информации;

- выявлены и количественно оценены признаки цифровых сигналов, позволяющие надежно идентифицировать нити на цифровых изображениях тканых полотен;

- на основе графической модели нитей экспериментально определены критерии нахождения границ между порами и нитями на компьютерном изображении тканых полотен;

- разработан способ подготовки изображений тканых полотен, обеспечивающий независимое и равномерное освещение объекта измерений, а также постоянство фокусного расстояния между объектом и оптической матрицей;

- впервые предложены средства метрологического обеспечения (калибровочные стандарты) для автоматизированного подтверждения точности результатов контроля числа нитей на заданной длине тканей.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке алгоритмов и формализации критериев распознавания образов нитей, оценке их геометрических характеристик в составе структуры тканых полотен. В теоретическом плане

уточнен стандартный подход к определению размеров измеряемого участка ткани для подсчета числа нитей.

Практическая значимость результатов и предложений по их использованию состоит:

- в реализации и внедрении высокопроизводительной многофункциональной информационно-измерительной системы контроля плотности нитей в ткани в условиях ткацкого производства;
- разработке компактного проекционного устройства, позволяющего выполнять оперативный контроль непосредственно на работающем ткацком (отделочном) оборудовании при любой интенсивности внешнего освещения;
- создании методики автоматизированной калибровки измерительной системы по определению числа нитей на 10 см в тканых полотнах.

Практические результаты исследований внедрены в условиях ООО «ТДЛ-Актив» (ХБК «Навтекс», г. Наволоки Ивановской обл.), а также апробированы в ООО «Тейковская текстильная компания» (г. Тейково Ивановской обл.).

Отдельные результаты (измерительный стенд и измерительная программа) внедрены в учебный процесс ИВГПУ в виде методических материалов и наглядных пособий для студентов.

**Методология и методы исследования.** В качестве теоретических методов исследования, позволивших идентифицировать информативные признаки объектов исследования, подходящие для оценки численных характеристик их структуры, использован инструментарий морфологического анализа, теория распознавания образов, кластерный анализ, аналитическая геометрия, теория искусственных нейронных сетей (ИНС).

На этапе практического воплощения технических решений информационно-измерительной системы производственного контроля характеристик структуры тканых полотен широко применялись методы математической статистики, теории вероятностей, численные методы прикладной математики, методы спектрального анализа, численные методы преобразования цифровых сигналов и изображений. Экспериментальные исследования конкретных объектов и предметов проводились с помощью оригинальных прикладных программ. Подбор необходимых условий измерения и других влияющих величин осуществлен численными методами многофакторной оптимизации.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Метод автоматизированного определения числа нитей на 10 см в тканых полотнах, основанный на анализе их цифровых изображений.
2. Информационно-измерительная система производственного контроля характеристик структуры тканых полотен, интегрированная в основные процессы текстильного предприятия.
3. Средства метрологического обеспечения информационно-измерительной системы контроля характеристик структуры тканых полотен.

**Степень достоверности полученных результатов.** Научные положения, выводы и рекомендации диссертации основываются на результатах теоретических и экспериментальных исследований, полученных с использованием методов

распознавания образов и выбора решений в условиях многокритериальных задач, в т.ч. численных методов прикладной математики, методов корреляционно-регрессионного анализа, методов математической статистики и математического моделирования.

Теоретические исследования посвящены выявлению универсальных критериев распознавания образов в объектах с регулярной структурой, в том числе с использованием быстрого преобразования Фурье.

Основу экспериментальных исследований составили методы численного анализа цифровых изображений посредством построения временных рядов. Полученные первичные данные подвергались обработке на программном комплексе, разработанном на основе языка программирования Python.

Производственная апробация подтвердила высокую сходимость практических результатов с результатами теоретических и экспериментальных исследований, что свидетельствует о высокой степени обоснованности научных положений диссертации.

**Апробация результатов работы.** Материалы диссертации докладывались и получили положительную оценку на следующих научных конференциях: межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера» («ПОИСК»), Иваново, 2011–2016 гг.; международная научно-техническая конференция «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» («ПРОГРЕСС»), Иваново, 2012, 2013 гг.; международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы науки в развитии инновационных технологий» («ЛЕН–2016»), Кострома, 2016 г.; международная научно-практическая конференция «Взаимодействие высшей школы с предприятиями легкой промышленности: наука и практика», Кострома, 2013 г.; международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности», Витебск, 2014 г.; на расширенном заседании кафедры «Материаловедение, товароведение, стандартизация и метрология» ФГБОУ ВО «ИВГПУ».

Диссертация выполнялась в 2013-2015 гг. в рамках научно-исследовательской работы по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-2656.2013.8, договор №14.124.13.2656-МД от 04.02.2013 г.), а также по гранту в рамках программы «СТАРТ» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор № 1337ГС1/22679 от 16.06.2016 г.).

**Объектами исследования** являются суровые, отбеленные, окрашенные, набивные ткани простых (главных) переплетений с ограничением числа нитей в диапазоне от 50 до 450 на 10 см. Исследуемые полотна должны иметь гладкую поверхность без ворса. Ограничение по виду переплетений и интенсивности окраски полотен связано с тем, что для достоверного анализа поверхности полотен необходимо наличие достаточной степени обзора обеих систем (основы и утка) нитей. Волокнистый состав исследуемых полотен не имеет определяющего значения для решения научных задач за исключением материалов, обладающих

повышенным блеском, способным создать эффект засветки на проекции полотна.

Из этого условия вытекает выбор **предметов исследования**, ими являются характеристики структуры тканых полотен, к которым относятся число нитей по основе и утку на 10 см, размеры поперечников нитей и производные характеристики их толщины (линейная плотность), размеры пор между нитями.

**Внедрение результатов.** Результаты исследований применяются в производстве тканей для медицинских изделий и домашнего текстиля на ООО «Приволжская Коммуна» г. Наволоки (акт о внедрении от 28.09.2016, г. Наволоки Кинешемского района Ивановской области).

**Соответствие работы паспорту специальности.** Вопросы, рассматриваемые в настоящей работе, соответствуют пункту 9 – Методы и средства теоретического и экспериментального исследования технологических процессов и текстильных материалов и изделий паспорта специальности 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья.

Автором опубликована 21 печатная работа, из них 13 публикаций, отражающих содержание диссертации, в том числе три статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание степени кандидата наук, две статьи в материалах конференций, два патента РФ на изобретение, два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, четыре тезисов конференций различного уровня.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка используемой литературы из 70 наименований, 6 приложений. Работа изложена на 238 страницах машинописного текста, содержит 98 рисунков, 42 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, определена цель исследований, дана характеристика научной новизны и практической значимости работы.

**В первой главе** проведен анализ современного состояния проблемы оперативного контроля качества тканых полотен. С учетом тенденций развития легкой промышленности и сохранившегося потенциала ткацких производств отмечено, что решение задач повышения качества ткани целесообразно искать в совершенствовании технологии производственного контроля в направлении получения оперативной информации непосредственно на работающем оборудовании. Это позволит сократить затраты времени на проверки и материальные затраты по сравнению с текущей ситуацией. Однако главной задачей является повышение объема информации о наиболее важных структурных характеристиках товарной продукции, которая бы позволила предупреждать о потенциальных отклонениях от установленных требований, тем самым снижая риски поставок несоответствующей продукции.

Проведен обзор известных показателей структурных свойств тканых полотен, на основе которого выявлены наиболее информативные характеристики – число нитей на 10 см по основе и утку. В целях определения функциональных возможностей разрабатываемых средств контроля проведен анализ нормативных и проектных требований к указанным показателям тканых полотен, а также дана краткая характеристика объектов исследования.

В ходе критического анализа стандартных методов оперативного контроля показателей структуры тканых полотен показано, что они обладают недостаточной производительностью и определенной субъективностью оценок.

Анализ современного состояния исследований в направлении автоматизации методов контроля текстильных материалов позволил установить теоретические основы решения данных задач. Среди отечественных ученых, которые внесли значительный вклад в развитие автоматизированных методов оценки качества волокон, нитей, полотен, можно выделить Б.Н. Гусева, Н.А. Коробова, Н.А. Смирнову, Г.Г. Сокову, В.А. Ивановского, П.А. Севостьянова, Е.Л. Пашина, П.Г. Шляхтенко, А.Ю. Матрохина. Среди зарубежных ученых следует отметить Deiter Hinze, Ellen Virteil, W. Roys, Y. Scharffenberg и др.

В конечном итоге сформулированы задачи исследования и определен инструментарий научного исследования в данной области.

**Вторая глава** посвящена разработке теоретических основ, алгоритма и средств практической реализации автоматизированного метода определения показателей структуры тканых полотен. В основе предлагаемого подхода к получению измерительной информации лежит численный анализ цифровых изображений, получаемых независимо от внешних условий освещенности, наличия вибрации, без оптических искажений и с минимизацией роли человеческого фактора. Принципиальный алгоритм измерительных операций приведен на рисунке 1.

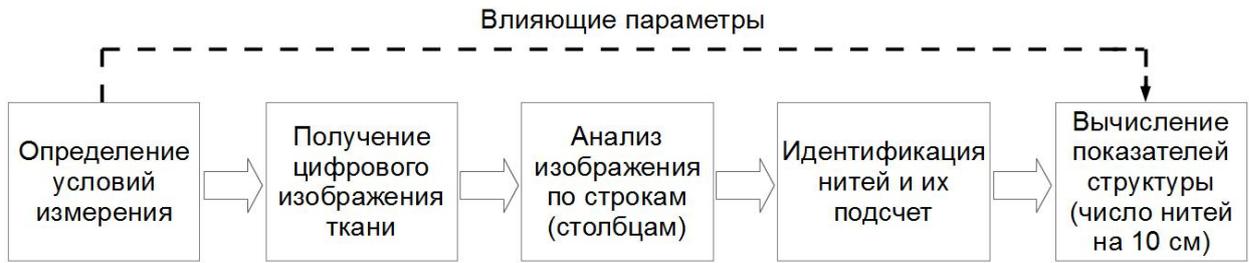


Рисунок 1 – Принципиальная схема измерительных операций

Цифровое изображение материала представляет собой прямоугольную матрицу кодированных чисел в соответствующих ячейках, которые могут анализироваться и подвергаться необходимым математическим преобразованиям. Исходной информацией для идентификации нитей в изображении тканого полотна является массив суммарных яркостей пикселей по столбцам или строкам (рисунок 2), подвергшихся нескольким операциям сглаживания.

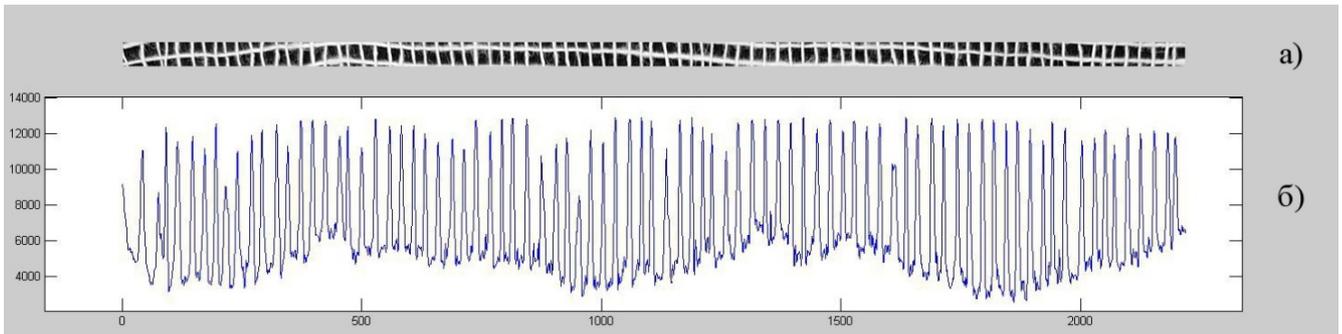


Рисунок 2 – Исходное изображение выделенного участка полотна (а) и результат суммирования яркостей пикселей по столбцам (б)

Извлечение участка изображения (см. рисунок 2, а) исключает искажение сигнала в связи с возможным перекосом расположения нитей или их изогнутостью. Следующей задачей в разработке алгоритма (см. рисунок 3) является анализ полученного сигнала с целью выявления локальных пиков, соответствующих положению нитей (результативных пиков).

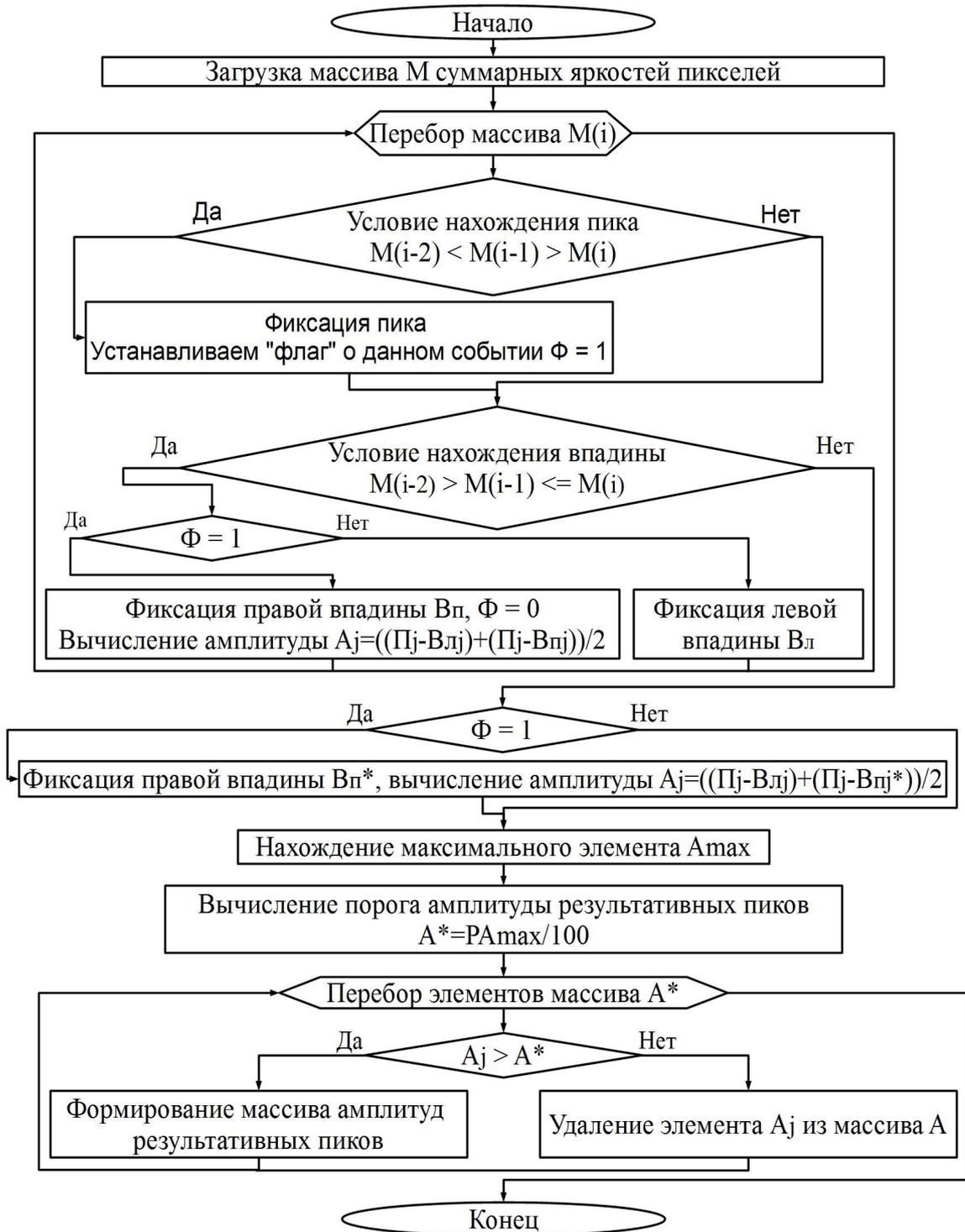


Рисунок 3 – Блок-схема оригинальной функции обнаружения пиков

Гибкость предлагаемого алгоритма обусловлена применением двух стадийного анализа. На первой стадии анализа задается фиксированное значение порога амплитуды результативного пика, установленное на уровне

$$A_1^* = 0,2 \cdot A_{max}. \quad (1)$$

Оптимизационный эксперимент показал, что при таком значении порога амплитуды пика наблюдается наименьшее количество ошибок обнаружения нитей в полотнах различного ассортимента.

На второй стадии анализа вычисляется величина плавающего порога амплитуды результативных пиков, которая устанавливается индивидуально для каждого изображения согласно эмпирической формуле

$$A_2^* = (4e^{-0,01\Pi} A_{\max}) / 10, \quad (2)$$

где  $\Pi$  - количество нитей на 10 см полотна в анализируемом участке, подсчитанное на первой стадии анализа, шт.

Для повышения надежности работы алгоритма предлагается дополнить основную ветвь анализа изображения методом, способным решать задачу анализа изображений без привязки к конкретным координатам изображения. С этой целью применен спектральный анализ массива (диаграммы) суммарных яркостей пикселей, основанный на преобразовании вида

$$f(i) = \int_0^{\infty} M(i) \sin \frac{2\Pi i}{x} di, \quad (3)$$

где  $i$  – порядковый номер элемента массива  $M$  суммарных яркостей пикселей по столбцам;

$x$  – порядковый номер гармонической функции, численно равный длине ее волны, пиксели.

Наиболее ценным преимуществом данного преобразования является то, что оно позволяет выделять регулярные составляющие в сложном колебательном сигнале, благодаря чему можно правильно интерпретировать экспериментальные наблюдения (патент на изобретение № 2593341). Результат работы предложенного альтернативного алгоритма заключается в отборе такой гармонической составляющей спектра (рисунок 4), которая «входит в резонанс» с исходной диаграммой суммарной яркости пикселей. Длина волны найденной гармоники численно равна среднему межнитевому расстоянию по конкретной системе нитей (основы или утка), а обратная ей величина соответствует числу нитей на 10 см.

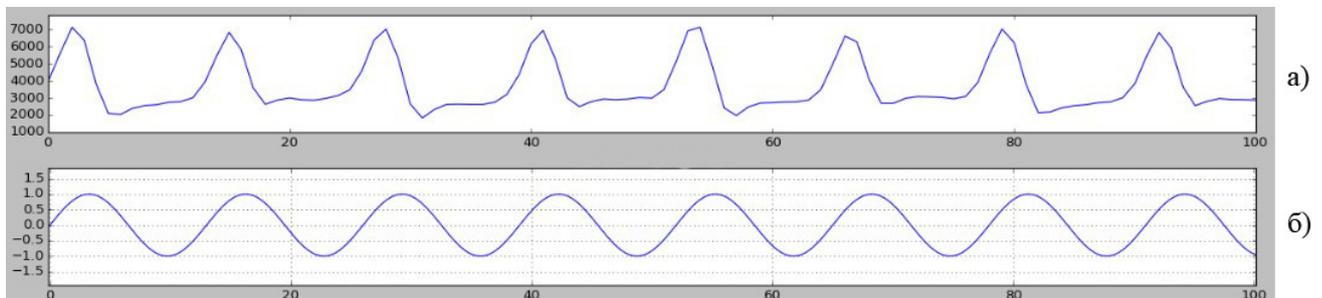


Рисунок 4 – Исходная диаграмма суммарной яркости пикселей (а) и соответствующая ей гармоническая функция (б)

В конечном итоге алгоритм сопоставляет две конкурирующие гипотезы относительно числа нитей на 10 см. В том случае, если результаты оказываются идентичными, формируется среднее арифметическое значение, которое выдается в протокол. Если расхождение между конкурирующими гипотезами составляет более 10%, то основная ветвь алгоритма направляется на повторный анализ с скорректированным значением порога амплитуды результативного пика, соответствующим числу нитей на 10 см, определенным с помощью преобразования (3).

Дополнительным шагом в бесконтактном определении структуры ткани стала количественная оценка поперечника нити основы и утка (патент на изобретение № 2575777). В свою очередь, это позволяет определять поверхностную плотность ткани косвенным путем при известном числе нитей на 10 см. Определение размера поперечника осуществляется по каждой нити (рисунок 5).

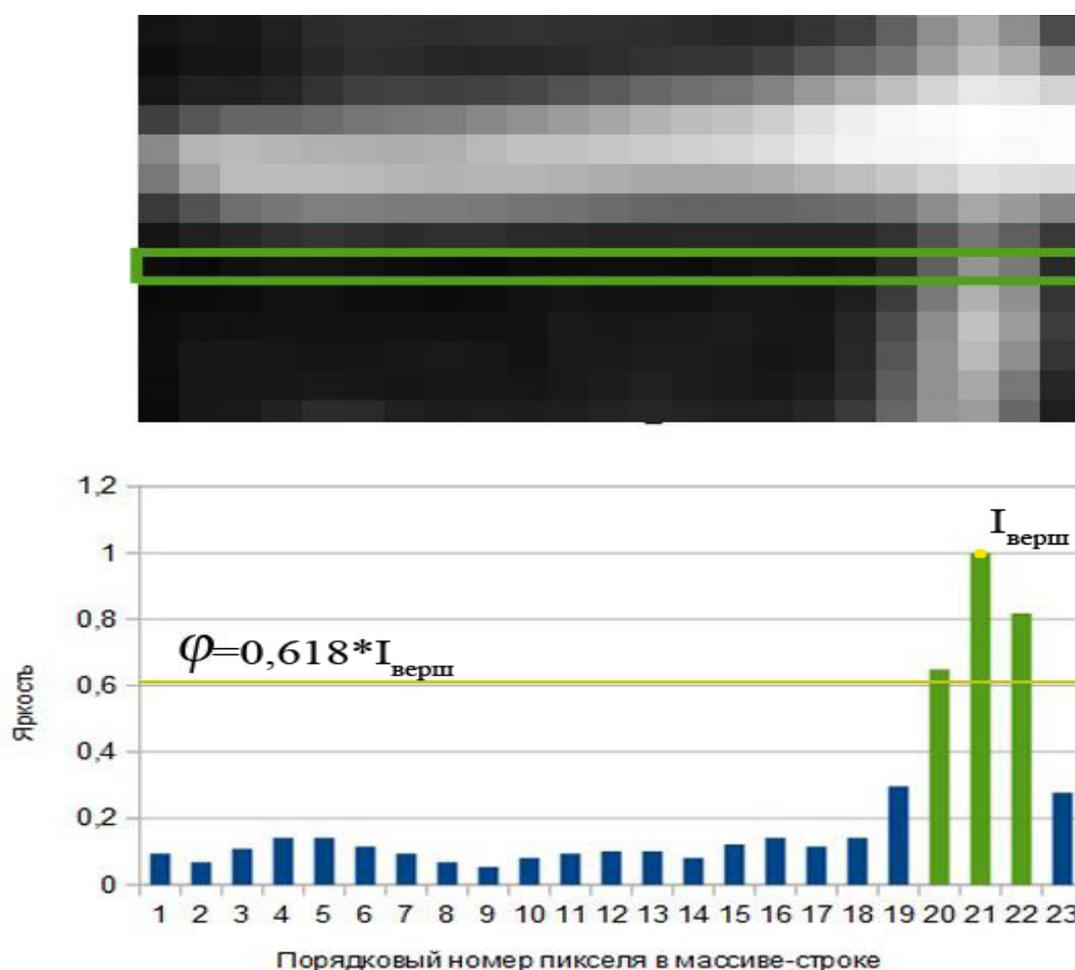


Рисунок 5 – Обнаружение пикселей, принадлежащих поперечнику нити

Исследование разработанного алгоритма определения размера поперечника нити опытным путем подтвердило его работоспособность и дало возможность проводить более глубокий анализ исследуемого полотна на основе полученных данных.

**Третья глава** посвящена разработке методики, регламентирующей все этапы сбора и обработки измерительной информации в процессе технологического контроля структурных характеристик тканых полотен, с целью уменьшения негативного влияния человеческого фактора.

Возможности проекционного устройства определяют различные варианты его использования в процессе производства тканых полотен. Приоритетный сценарий предполагает обеспечение производственного контроля в ткацком производстве, где главным этапом является формирование ткани на ткацких станках. В этом случае выбор контрольной точки непосредственно на работающем ткацком станке позволит: избежать остановки производства, экономить материальные ресурсы, успеть среагировать на отклонения, сделать наглядным состояние каждого станка. Под контрольной точкой понимается место, позволяющее с помощью проекционного устройства получать информацию об исследуемом процессе. Контрольные точки также могут находиться на последующих этапах производства: в отделочном производстве – в доступных для обслуживания местах в отделочной линии, на складе – на рабочем месте контролера-разбраковщика. Исследование операции получения изображений для анализа позволило установить, что наилучшим вариантом сбора данных является систематический обход оператором подлежащих контролю станков с получением трех изображений с каждого станка.

Проведен эксперимент для определения оптимальных настроек (чувствительность ISO, выдержка, раскрытие диафрагмы) фотокамеры проекционного устройства по критерию минимизации ошибок распознавания нитей.

Сравнительное тестирование компьютерного метода в условиях лаборатории и ткацкого производства позволило определить выражения (4), (5), с помощью которых в пределах допустимой погрешности можно спрогнозировать результаты измерений числа нитей образца в условиях, предусмотренных стандартом, на основе непосредственного контроля технологического процесса на работающих ткацких станках:

$$P_o^* = P_o \frac{Ш_{м.с.}}{Ш_{г.т.}}, \quad (4)$$

где  $P_o^*$  – пересчитанное число нитей по основе, нити/10 см;

$P_o$  – количество нитей по основе, полученное в месте съемки, нити/10 см;

$Ш_{м.с.}$  – ширина ткани в месте съемки, см;

$Ш_{г.т.}$  – ширина готовой ткани, см;

$$P_y^* = P_y \left( \frac{100 + Y \cdot K}{100} \right), \quad (5)$$

где  $P_y^*$  – скорректированное число нитей по утку;

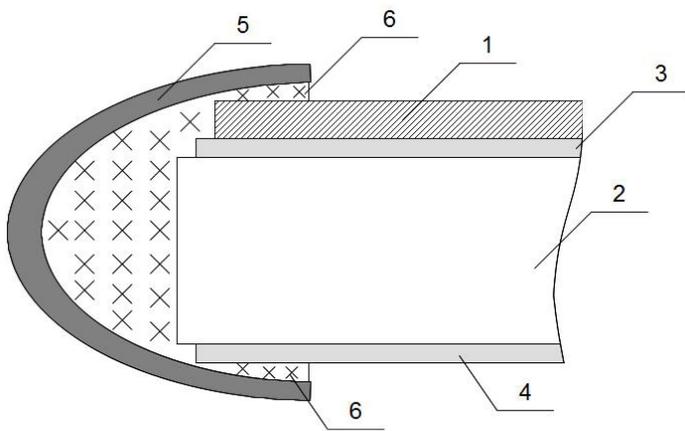
$K$  – эмпирический поправочный коэффициент, получаемый выборочными замерами плотности нитей в тканых полотнах на станках и в лаборатории;

$P_y$  – количество нитей по утку, полученное в месте съемки, нити/10 см;

$Y$  – уработка в соответствии с техническим расчетом, %.

**Четвертая глава** посвящена разработке средств метрологического обеспечения предлагаемого метода определения структурных характеристик тканых полотен.

Для предупреждения критических отклонений результатов измерений от действительных значений спроектированы (рисунок 6, а) и реализованы калибровочные стандарты по плотности нитей в тканых полотнах в виде магазина мер в количестве семи штук с номинальным числом нитей от 52 до 435 (рисунок 6, б). Они необходимы для проведения с установленной периодичностью калибровки измерительной системы, включающей проекционное устройство, программное обеспечение и работу оператора.



а)



б)

*1 – тканая металлическая сетка (основной материал); 2 – металлическая пластина; 3 – самоклеящаяся матовая пленка (контрастная по отношению к сетке); 4 – декоративная пленка; 5 – защитные боковые крепления (профиль); 6 – клеевой слой*

Рисунок 6 – Эскиз конструкции калибровочных стандартов по числу нитей в ткани (а) и набор калибровочных стандартов по плотности нитей в тканых полотнах (б)

К разработанным калибровочным стандартам предложена оригинальная методика оценки пределов допустимой погрешности числа нитей на 10 см с целью установления критериев работоспособности измерительного алгоритма в ходе его калибровки. На завершающем этапе разработки средств метрологического обеспечения системы контроля плотности нитей в тканых полотнах создана автоматизированная методика калибровки предлагаемой измерительной системы.

Дополнительно разработаны средства проактивной защиты компьютерного метода определения числа нитей в тканых полотнах, такие, как модуль авторизации, необходимый для ограничения доступа персонала к программному комплексу; защита проекционного устройства, срабатывающая на несоответствия типа и настроек фотокамеры проекционного устройства требуемым параметрам; модуль обнаружения скрытых несоответствий.

На основе анализа выборочных данных проведено оценивание итоговой погрешности результатов измерений, в ходе которого установлено значение приписанной относительной погрешности, равное 1% от измеренной величины. Расчеты показали, что в диапазоне допускаемых отклонений числа нитей конкретных артикулов ткани (таблица 1) выявленная величина итоговой погрешности укладывается не менее трех раз.

Таблица 1 - Сопоставление итоговой погрешности и погрешности согласно требованиям к качеству ткани

| Артикул ткани                       | Соотношение между допускаемым отклонением и итоговой погрешностью |      |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------|
|                                     | Основа                                                            | Уток |
| Марля 6501/3                        | 3,3                                                               | 5    |
| Бязь 203/242/5                      | 3,8                                                               | 3,8  |
| Техническая капроновая ткань 56002П | 3,8                                                               | 5,9  |

Данный запас точности можно считать достаточным для рекомендации системы к использованию для производственного контроля тканей с соответствующими характеристиками структуры.

**Пятая глава** посвящена разработке интегрированной информационно-измерительной системы производственного контроля процесса формирования тканых полотен («АСК-Ткачество»).

Принципиальная схема «АСК-Ткачество» представлена на рисунке 7.

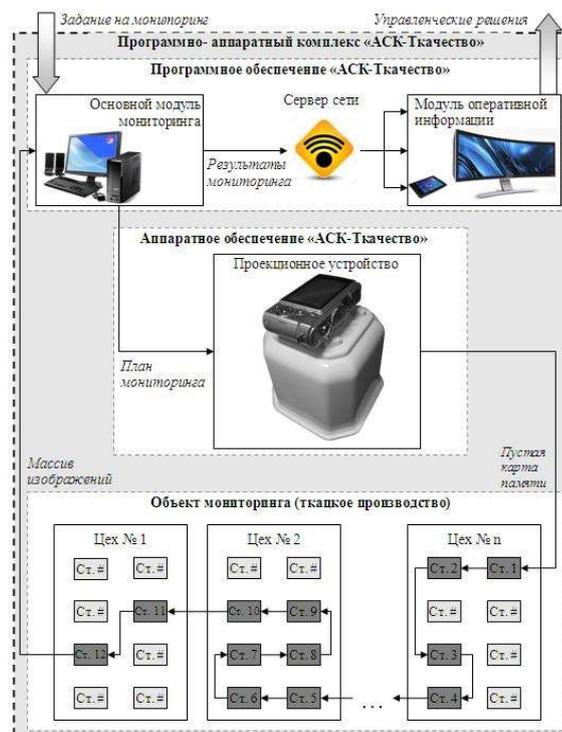


Рисунок 7 – Принципиальная схема «АСК-Ткачество»

Ключевые функции разработанной системы состоят: в отображении виртуальных карт цехов; управлении базой данных артикулов тканей; ситуативном и систематическом планировании мониторинга; синхронизированном определении числа нитей в соответствии с планами мониторинга; сравнении полученных значений с нормами и отображении статусов станков; формировании отчетов в электронных таблицах; передаче данных в модуль оперативной информации (для лиц, принимающих решения); периодической калибровке системы.

На начальном этапе использования автоматизированной системы мониторинга в условиях производства выявился ряд проблем, связанных с заменой парка станков, изменением их количества и типов, изменением конфигурации цехов. В целях совершенствования процесса обслуживания системы разработан и реализован конструктор-конфигуратор объектов контроля (рисунок 8), а именно их виртуальных отображений на экране главного терминала.

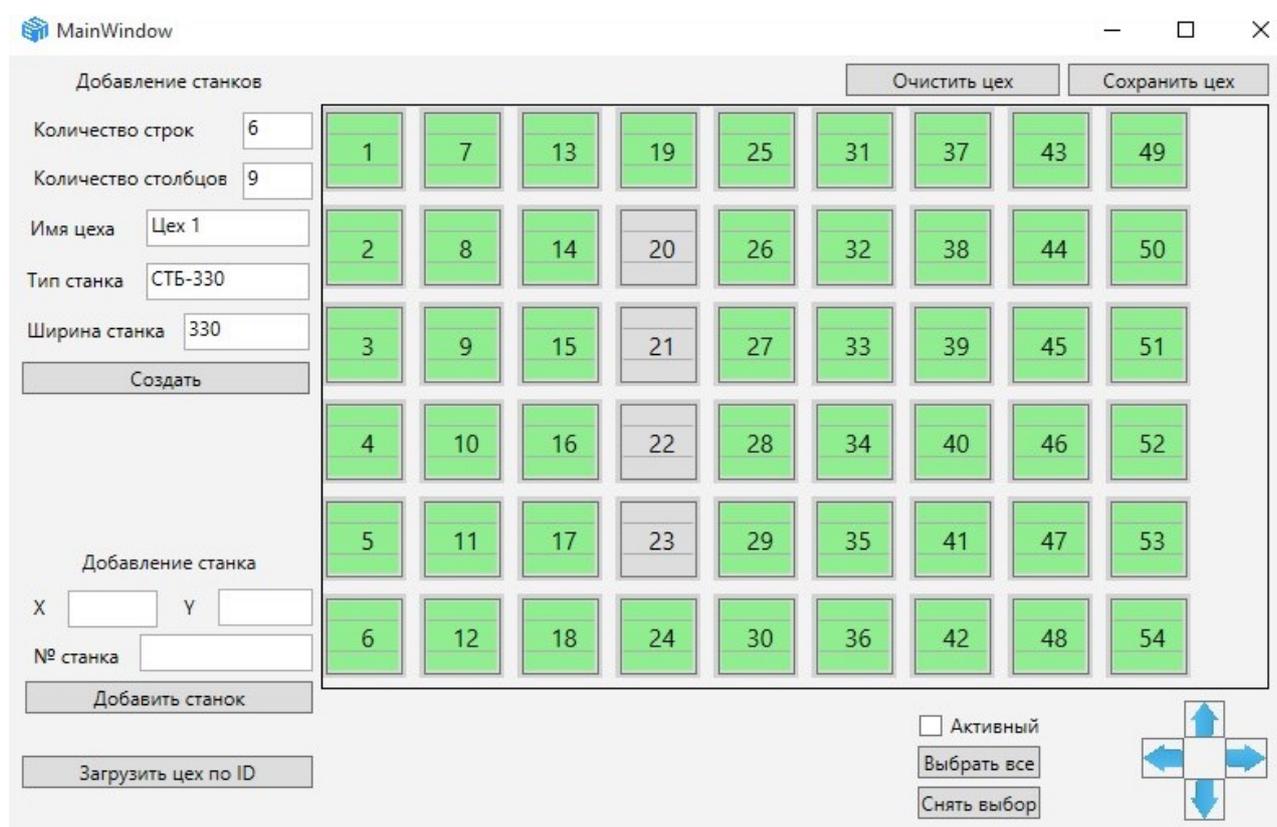


Рисунок 8 – Окно конструктора-конфигуратора при создании виртуального цеха

Предложено расширение возможностей контроля с использованием информационно-измерительной системы, а именно, обнаружение скрытых дефектов в работе ткацкого станка («неровный бой»), определение величины усадки/притяжки полотна в отделочном производстве и связанное с этим определение фактического метража полотна, статистический контроль за производственными единицами (станками) с использованием контрольных карт.

## **Итоги выполненного исследования**

1. Разработаны теоретические основы идентификации элементов структуры тканых полотен, в том числе определены информативные признаки цифровых сигналов, позволяющие надежно идентифицировать нити на цифровых изображениях тканых полотен.

2. Предложен способ подготовки цифровых изображений тканых полотен к анализу, предусматривающий установление оптимальных режимов получения изображений и алгоритмы их преобразования, что позволило обеспечить равномерное освещение объекта измерений и четкость границ элементов изображения независимо от внешних условий.

3. Реализован надежный алгоритм распознавания образов нитей в тканых полотнах с использованием принципов гибридной обработки цифровых сигналов, позволивший обеспечить оперативное (не более 1,5 секунд) и безошибочное нахождение нитей на измеряемой длине.

4. Разработана интегрированная программная среда, реализующая функции планирования, управления базами данных объектов контроля, проактивной защиты от ошибок, удаленного контроля и визуализации результатов, обеспечивающая эффективное применение предлагаемой методики автоматизированного контроля характеристик структуры тканых полотен в условиях промышленных предприятий.

5. Разработаны технические средства и реализован программный модуль автоматизированного контроля точности предлагаемой измерительной системы в процессе эксплуатации.

6. Показано, что предлагаемый метод измерения плотности нитей в тканых полотнах обладает приписанной относительной погрешностью, равной 1% от измеренной величины. Доказано, что точность измерительной системы приемлема с учетом требований к исследуемым артикулам тканей.

7. На основе промышленного применения доказаны повышение производительности контроля до 200 тестов в час и экономическая эффективность предлагаемой системы. Экономический эффект достигнут за счет устранения необходимости в отборе и подготовке точечных проб и снижения доли дефектной продукции, обнаруженной на последующих этапах, с 7% до 4% от объемов выпуска продукции.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс кафедры «Материаловедение, товароведение, стандартизация и метрология» ИВГПУ (акт о внедрении от 18.01.2017) и в производство тканей для медицинских изделий и домашнего текстиля на ООО «Приволжская Коммуна» г. Наволоки Кинешемского района Ивановской области (акт о внедрении от 28.09.2016).

## **Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы**

Материалы, изложенные в рамках проведенного исследования, могут служить основой для замены традиционных трудоемких методов субъективного контроля, регламентируемых стандартами, на высокопроизводительные технологии информационного обслуживания процессов ткацкого, отделочного и швейного

производства. Результаты работы могут быть использованы при выполнении научно-исследовательских работ по проектированию и оценке качества новых материалов.

Дальнейшая разработка технологии автоматизированного контроля на базе предлагаемых алгоритмов позволит создать комплексную систему диспетчирования и управления процессами жизненного цикла текстильной продукции, которую могут массово применять отечественные предприятия независимо от используемого промышленного оборудования и ассортимента выпускаемой продукции.

## **Основные научные публикации по теме диссертационного исследования**

### **Статьи в рецензируемых научных изданиях**

1. Шаломин, О.А. Построение автоматизированной системы контроля технологического процесса формирования ткани / О.А. Шаломин, А.Ю. Матрохин, С.М. Баженов, Н.О. Кавин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2013. - №1. - С. 167-169.

2. Шаломин, О.А. Особенности калибровки средств измерений оптических компьютерных методов определения показателей качества материалов и изделий легкой промышленности / О.А. Шаломин, С.М. Баженов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2014. - №2. - С. 145-148.

3. Баженов, С.М. Информационно-управляющая система для автоматизированного мониторинга технологических процессов производства тканей / С.М. Баженов, С.А. Вахонина, А.Ю. Матрохин, Н.В. Тарасов // Автоматизация в промышленности. - 2015. - №12. - С. 32-36.

### **Патенты и свидетельства**

4. Патент на изобретение № 2575777 Российская Федерация, МПК G01N 33/36. Способ определения показателей (характеристик) толщины, засоренности и ворсистости текстильных нитей и устройство для его осуществления / Шубин А.С., Матрохин А.Ю., Шаломин О.А., Гусев Б.Н., Баженов С.М. - Оpubл. 20.02.2016, Бюл. №5.

5. Патент на изобретение № 2593341 Российская Федерация, МПК G01N 33/36. Способ автоматизированного определения показателей повреждаемости геотекстильных полотен в процессе эксплуатационных испытаний / Гойс Т.О., Матрохин А.Ю., Грузинцева Н.А., Баженов С.М., Вахонина С.А., Чистякова Н.Э. - Оpubл. 10.08.2016, Бюл. №22.

6. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013611790. Автоматизированный анализ цифрового изображения пробы тканого полотна с целью подсчета числа нитей по основе и утку / Баженов С.М., Шаломин О.А., Матрохин А. Ю. - Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, г. Москва, 05 февраля 2013 г.

7. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2017610650. Информационно-измерительная система производственного

контроля процесса формирования тканых полотен / Баженов С.М., Матрохин А. Ю. - Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, г. Москва, 16 января 2017 г.

### **Статьи в журналах и сборниках научных трудов**

8. Вахонина, С.А. Разработка алгоритма неразрушающего определения размеров поперечника нитей основы (утка) в тканых полотнах / С.А. Вахонина, А.Ю. Матрохин, С.М. Баженов, О.А. Шаломин // Взаимодействие высшей школы с предприятиями легкой промышленности: наука и практика: материалы международной научно-практической конференции. - Кострома: КГТУ, 2013. - С. 263-264.

9. Баженов, С.М. О влиянии неконтролируемых факторов на результаты косвенной оценки материалоемкости тканых полотен / С.М. Баженов, Н.В. Тарасов, А.Ю. Матрохин // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы докладов международной научно-технической конференции. - Витебск: ВГТУ, 2014. - С. 421-422.

### **Материалы научно-технических конференций и выставок**

10. Баженов, С.М. Использование библиотеки компьютерного зрения OpenCV / С.М. Баженов, Е.С. Константинов, Е.Н. Калинин // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности («ПОИСК-2012»): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. Часть 2. - Иваново: ИГТА, 2012. - С. 209.

11. Баженов, С.М. Построение графиков в языке Python с использованием библиотеки Matplotlib / С.М. Баженов, Е.С. Константинов // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности («ПОИСК-2013»): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. Часть 2. - Иваново: ИГТА, 2013. - С. 203-204.

12. Матрохин, А.Ю. Разработка алгоритма косвенного определения поверхностной плотности тканых полотен по их цифровым изображениям / А.Ю. Матрохин, О.А. Шаломин, С.М. Баженов, Е.Э. Самсонов // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности («ПРОГРЕСС-2013»): сб. материалов международной науч.-техн. конф. Часть 1. - Иваново: ИВГПУ, 2013. - С. 264-266.

13. Баженов, С.М. Формирование новых информативных признаков для оценки повреждения структуры геотекстильных полотен / С.М. Баженов, Т.О. Гойс // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности («ПОИСК-2015»): сб. материалов международной науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. Часть 2. - Иваново, ИВГПУ, 2015. - С. 85-86.

Подписано в печать 13.02.2017.  
Формат 1/16 60x84. Плоская печать.  
Усл. печ. л. 1,16. Уч.- изд. л. 1,11. Тираж 100 экз. Заказ № .

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»  
Издательский центр ДИВТ  
153000 г. Иваново, Шереметевский проспект, 21