

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Интерактивная обработка изображений, получаемых посредством лазерного монитора в режиме реального времени

УДК 621.385.833.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Торгаева Дарья Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Евтушенко Геннадий Сергеевич	Д.Т.Н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ ИНК	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		

По техническому разделу

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ВЭСЭ ИФВТ	Тригуб Максим Викторович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть
Профессиональные компетенции	
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе. порождать новые идеи
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанoeлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени; разрабатывать физические и математические модели элементов нанoeлектроники, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения

P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего преподавателя
Универсальные компетенции	
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности
P8	Использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении, проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
 Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой Губарев Ф.А.

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1AM41	Торгаевой Дарье Сергеевне

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2942/с от 15.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является активная оптическая система (высокоскоростной лазерный монитор). Лазерный монитор включает в себя активный элемент на парах брома меди (длина активной зоны не менее 50 см, диаметр не менее 2 см., излучение на двух длинах волн 510.6 нм и 578.2 нм) и источник накачки с мощностью до 1.5кВт и частотой следования импульсов до 100 кГц.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Литературный обзор (системы визуализации, активные оптические системы, математические методы обработки изображений, методы определения резкости изображений). • Исследование методов определения резкости изображения. Определение применимости алгоритмов для использования в разрабатываемом устройстве. Разработка системы

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<p>синхронизации для лазерного монитора с временным разрешением 10-5 с.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Разработка алгоритма программы автоматической фокусировки изображения. • Разработка исполнительного устройства для перемещения объекта вдоль оптической оси лазерного монитора. • Корректировка алгоритма нахождения микроперемещений объекта, с целью обеспечения работы программы в режиме реального времени. • Эксперимент (автоматическая фокусировка изображений, определение микроперемещений объекта в режиме реального времени). • Разработка программы системы слежения за объектом. • Заключение
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	нет
---	-----

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и реурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Технический	Тригуб Максим Викторович
Иностранный язык	Мыльникова Татьяна Степановна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Разработка аппаратной части устройства позиционирования объекта

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.09.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор каф. ПМЭ	Евтушенко Геннадий Сергеевич	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Торгаева Дарья Сергеевна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
 Уровень образования магистратура
 Кафедра промышленной и медицинской электроники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.09.15	Обзор литературы по теме исследования	5
03.10.15	Изучения языка программирования MATLAB	5
26.10.14	Исследование алгоритмов определения резкости изображения	10
20.11.15	Проведение экспериментов, для выявления области применения выбранных алгоритмов	10
25.11.15	Написание кода программы автоматической фокусировки изображения	15
11.12.15	Написание кода программы поиска микроперемещений объектов	10
22.01.15	Проведение экспериментов по определению микроперемещений объектов	10
12.03.16	Проектирование и расчет аппаратной части устройства	15
01.05.16	Тестирование программно-аппаратного комплекса, анализ результатов работы	15
05.06.16	Оформление расчетно-пояснительной записки	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Евтушенко Геннадий Сергеевич	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 127 с., 61 рис., 27 табл., 75 источников, 5 прил. Ключевые слова: системы визуализации, лазерный монитор, анализ изображений, коэффициент резкости, автоматическая фокусировка.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор литературных источников, исследование методов определения резкости изображения с целью выявления их применимости в разрабатываемом устройстве, разработка алгоритма автоматической фокусировки изображения, разработка макета исполнительного устройства для перемещения объекта вдоль оптической оси лазерного монитора, корректировка алгоритма микроперемещения объектов для осуществления работы устройства в режиме реального времени, разработка программного обеспечения, тестирование и отладка программно-аппаратного комплекса, анализ полученных данных, анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения, социальная ответственность.

В результате исследования удалось снизить искажения, вносимые оптической системой лазерного монитора и активной оптической средой, и организовать систему автоматической фокусировки изображения и систему слежения, позволяющую отслеживать перемещение объекта наблюдения с точностью до 1 пикселя.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: CuVg-лазер с внешним нагревом, диаметр активной зоны 25 мм, длина 500 мм, ЧСИ 20 – 100 кГц, суммарная средняя мощность сверхсветимости 500 мВт.

Степень внедрения: лабораторный макет

Область применения: научно-исследовательские организации и предприятия, области интересов которых, затрагивают работу с процессами, экранированными мощной фоновой засветкой. В частности таковыми могут являться: высокотемпературный мимический синтез, ионные, плазменные технологии, исследование взрывчатых и горючих смесей, электроразрядные технологии и т.д.

Экономическая эффективность/значимость работы: огромным плюсом разработки являются функции автоматизации, предполагающие минимальное участие оператора, что позволит увеличить производительность труда и сделать устройство более привлекательным для потребителя. Также прибор способен работать в условия сильных электромагнитных помех, а также с объектами скрытыми мощной фоновой засветкой, что обеспечивает его конкурентоспособность.

В будущем планируется оптимизация, как программного обеспечения, так и аппаратной части устройства с целью повышения быстродействия.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»
2. ГОСТ 12.1.006-84* «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (эми рч)»
4. СанПиН 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров»
5. ГОСТ 12.1.003-99 «Шум. Общие требования безопасности»
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое.
7. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»
8. ГОСТ 12.2.032-78. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

лазерный монитор: устройство, позволяющее наблюдать процессы в режиме реального времени с высоким временным разрешением, в том числе процессы, экранированные мощной фоновой засветкой.

пространственный метод обработки изображений – метод, основанный на прямом манипулировании значениями пикселей изображения.

частотный метод обработки изображения – метод, базирующийся на свойствах прямого и обратного преобразования Фурье.

«Обозначения и сокращения»:

УФ область спектра – ультрафиолетовая область спектра; ИК область спектра– инфракрасная область спектра; ЧСИ – частота следования импульсов; ГРТ – газоразрядная трубка; PIV –Particle Image Velocimetry

Оглавление

Введение	11
Глава 1. Обзор литературы	16
1.1 Оптические методы неразрушающего контроля	16
1.2 Области применения методов неразрушающего контроля.	17
1.3 Активные оптические системы. Лазерный проекционный микроскоп.	25
1.4 Пространственные и частотные методы обработки изображений.	28
1.5 Методы определения резкости изображения.	31
1.6 Алгоритмы нахождения микроперемещений объекта.	34
Глава 2. Разработка программного комплекса системы позиционирования объекта	35
2.1 Выбор среды для разработки программного комплекса	35
2.2 Особенности изображений, получаемых посредством лазерного монитора.	36
2.3 Реализация алгоритмов оценки резкости изображений	39
Метод структурного подобия	
2.4 Сравнение пространственного и частотного алгоритмов	44
2.5 Реализация алгоритма нахождения микроперемещений объекта	54
Глава 3. Разработка аппаратной части устройства позиционирования объекта	57
3.1 Выбор и обоснование структурной схемы	57
3.2 Выбор и обоснование принципиальной схемы	58
Глава 4. Тестирование программно-аппаратного комплекса устройства позиционирования объекта в системе лазерного монитора.	70
4.1 Корректировка алгоритма автоматической фокусировки изображения	70
4.2 Программное обеспечение для оценки качества изображений	75
4.3 Оценка погрешности измерений при определении микроперемещений объектов	76
4.4 Разработка системы слежения за объектом	78
Глава 5. Социальная ответственность	86
5.1 Производственная безопасность	86
5.1.1 Электромагнитное излучение (ЭМИ).	87
5.1.2 Освещенность рабочей зоны	89
5.1.3 Лазерное излучение	89
5.1.4 Производственный шум	90
5.1.5 Термические опасности	91
5.1.6 Электробезопасность	92
5.1.7 Умственное перенапряжение. Статические перегрузки.	93
5.2 Охрана окружающей среды	94
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	94
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	96
5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.	96
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	96
Глава 6. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	99
6.1 Предпроектный анализ	99
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	100
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	103
6.1.3 SWOT-анализ	106

6.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации.	108
6.2	Инициация проекта	108
6.2.1	Цели и результаты проекта	109
6.2.2	Организационная структура проекта	109
6.2.3	Ограничения и допущения проекта	110
6.3	Планирование управления научно-техническим проектом	110
6.3.1	План проекта	114
6.3.2	Бюджет научно-технического исследования	114
6.3.2.1	Сырье, материалы, покупные изделия	114
6.3.2.2	Специальное оборудование для научных работ	115
6.3.2.3	Специальное оборудование для научных работ	115
6.3.2.4	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	117
6.3.2.5	Отчисления на социальные нужды	117
6.3.2.6	Научные и производственные командировки	117
6.3.2.7	Накладные расходы	118
6.3.3	Реестр рисков проекта	118
6.4	Оценка сравнительной эффективности исследования	119
	Заключение	121
	Список публикаций	123
	Список использованных источников	124
	Приложение А	127
	Приложение Б	140
	Приложение В	145
	Приложение Г	152
	Приложение Д	158

Введение

Актуальность работы

Последнее столетие характеризуется бурным развитием науки и техники, при этом возрастающая сложность изготавливаемых механизмов требует не только точности при изготовлении их узлов и деталей, но и послепродажного обслуживания. Это обуславливает применение различных систем визуализации в неразрушающем контроле. В большинстве таких систем так или иначе задействовано лазерное излучение, зачастую в качестве источника подсветки (LIF-, PIV-, PTV-методы, спекл-интерферометрия и.т.д.), однако наиболее перспективным направлением является создание систем визуализации с использованием активных оптических систем с усилителями яркости. В такой системе активным элементом является лазер на парах бромида меди, особенность заключается в том, что изображения формируются в спектральном диапазоне излучения лазера (длины волн 510,6 нм и 578,2 нм). Преимуществом является то, что среда лазера является активным фильтром, что позволяет обрезать сигнал, попадающий от широкополосной засветки.

Практически все системы визуализации включают в себя блок математической обработки получаемых изображений, однако для получения достоверной информации об объекте исследования, необходима точная юстировка самой системы визуализации, что является достаточно сложной задачей, вследствие высокой яркости оптического излучения и ограниченных возможностей человеческого глаза.

Таким образом создание системы визуализации на основе активных оптических систем с возможностью автоматической настройки изображения является актуальной задачей.

Цель работы

Целью настоящей работы является создание устройства позиционирования объекта в системе лазерного проекционного

микроскопа, включающего в себя блок автоматической фокусировки изображения и блок системы слежения за объектом.

Объект исследования и предмет

Объектом исследования является активная оптическая система (высокоскоростной лазерный монитор), который включает в себя активный элемент на парах бромида меди и источник накачки, а также алгоритм обработки получаемых изображений.

Защищаемые положения

1. Разработанный программно-аппаратный комплекс, включающий в себя систему слежения за объектом и систему автоматической фокусировки изображения, совместно с лазерным монитором позволяет определять микроперемещения объектов с точностью ± 1 пиксель, время проведения одного расчета 50мс
2. При проектировании устройств автоматической фокусировки для активных оптических систем с усилителями яркости на парах металлов наиболее эффективным методом определения резкости изображения является метод расчета меры эксцесса двумерного спектра Фурье.

Научная новизна

1. Впервые предложена схема и техническая реализация системы слежения за объектом с автоматической фокусировкой для лазерного монитора.

Практическая значимость

1. Разработан программный комплекс в среде MATLAB для определения микроперемещений объектов в режиме реального времени, для определения перемещений объектов, скрытых фоновой засветкой.
2. Реализован программно-аппаратный комплекс системы слежения за объектом с автоматической фокусировкой, для определения перемещений и позиционирования объекта в системе лазерного

монитора в режиме реального времени.

Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в

- в разработке и реализации алгоритма автоматической фокусировки изображения;
- создании программного обеспечения для системы слежения за объектом;
- разработке и отладке аппаратной части устройства;
- проведении экспериментальных исследований;
- обработке полученных экспериментальных данных.

Постановка задач исследований, анализ полученных данных осуществлялись совместно с научным руководителем. Результаты, составившие основу защищаемых положений, получены лично автором, либо при его определяющем участии.

Апробация результатов работы

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях:

1. XII Международная конференция "Atomic and molecular pulsed lasers" AMPL-2015, г. Томск, сентябрь 2015
2. 16-ая Международная конференция EDM-2015, г. Новосибирск, июнь 2015
3. The second International Summer School IT COSAS'2015, Anapa, 8-12 June.
4. V Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» г.Томск, 2015 г.
5. На семинарах кафедры Промышленной и медицинской электроники ТПУ.

Основные результаты, включенные в диссертацию, опубликованы в

2 статья в рецензируемых изданиях, в том числе одной из списка ВАК.
Общее число публикаций по теме – 5.

Структура и краткое содержание работ

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, состоящего из 75 ссылок.

Во введении обсуждается актуальность работы, сформулирована цель, задачи исследования, представлены защищаемые положения. Отмечаются научная новизна и практическая значимость, приводится краткое содержание работ.

В первой главе проведен литературный обзор по теме исследования. Кратко рассматриваются методы оптического неразрушающего контроля, а также рассматриваются основные особенности систем визуализации, разработанные на основе этих методов. В том числе дается краткая характеристика активной оптической системы с усилителем яркости на парах металла. Также были представлены примеры применения методов обработки изображений, а также рассмотрены методы определения резкости изображения. Для дальнейших исследований были отобраны: безэталонный метод, метод структурного подобия, а также частотный метод, основанный на расчете меры эксцесса спектра Фурье.

Во второй главе было проведено подробное исследование выбранных методов. В частности, была выявлена степень влияния различных искажений на результаты расчетов. Поскольку частотный коэффициент в меньшей степени подвержен влиянию искажений, на его основе был разработан алгоритм автоматической фокусировки изображений. Для уменьшения пульсаций коэффициента и подавления шума на изображениях, анализ проводится на изображении, полученном путем усреднения трех последовательно взятых кадров видеопоследовательности.

В третьей главе разрабатываются два варианта принципиальной схемы аппаратной части, разрабатываемого устройства: тестовой (необходимой для создания лабораторного макета устройства) и финальной, последняя может быть применена при создании устройства для непосредственной реализации. Также в главе приводятся обоснования разрабатываемых схем и подробное описание их работы.

В четвертой главе тестируется разработанный алгоритм автоматической фокусировки изображения, а также описывается алгоритм системы слежения за объектом. Проводится описание экспериментов по определению погрешности измерений микроперемещений разработанным программным обеспечением.

В пятой главе проводится анализ значимости работы, оценка коммерческого и инновационного потенциала разработки, разрабатывается план проекта и расчет бюджета научного исследования, оценивается сравнительная эффективность исследований.

В шестой главе проводится ноксологический анализ инновационных решений по теме диссертации на предмет возникновения вредных и опасных проявлений факторов производственной среды, предложены средства защиты. При анализе было обнаружено, что прибор не оказывает негативное влияние на окружающую среду. Приводятся меры по предупреждению наиболее типичной чрезвычайной ситуации.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Оптические методы неразрушающего контроля

Оптический неразрушающий контроль – контроль, основанный на анализе взаимодействия электромагнитного излучения (ЭМИ) (с длиной волны от 10^{-5} до 10^3 мкм) с поверхностью контролируемого объекта. Диапазон длин волн охватывает как видимую, так и УФ и ИК области спектра.

Данные методы используются для определения свойств и состава объектов и сред, являющихся прозрачными или полупрозрачными для оптического излучения, а также для детектирования различных включений или повреждений в объектах, или наблюдения различных процессов, происходящих в средах [1]

Для оптически непрозрачных объектов оптический контроль используется для выявления внешних дефектов (пор, раковин, трещин и т.д.), а также для определения геометрических размеров дефектов.

Благодаря огромному разнообразию способов получения информации об объекте оптические методы неразрушающего контроля нашли широкое применение как в науке, так и в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и т.д. Данные методы могут применяться как самостоятельно, так и в дополнении к другим методам неразрушающего контроля.

Благодаря развитию цифровой техники в настоящее время существует множество систем, способных поддерживать мощный математический аппарат. В связи с этим появилась возможность автоматизировать сложные инженерные задачи и вычисления. Поэтому на смену некогда распространенным органолептическим методам оптического контроля пришли оптические методы [2].

Согласно ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов» принимают следующую классификацию методов неразрушающего контроля [3].

По характеру взаимодействия электромагнитного поля с контролируемым объектом:

- прошедшего излучения основан на регистрации ЭМИ прошедшего сквозь объект;
- отраженного излучения основан на регистрации ЭМИ отраженного от поверхности или дефекта;
- рассеянного излучения основан на регистрации параметров ЭМИ рассеянного поверхностью объекта или дефектом;
- индуцированного излучения – основан на регистрации ЭМИ, генерируемого объектом при постороннем воздействии.

По первичному информативному параметру:

- Амплитудный
- Фазовый
- Временной
- Частотный
- Поляризационный
- Геометрический
- Спектральный

По способу получения первичной информации:

- Интерференционный
- Нефелометрический
- Голографический
- Рефрактометрический
- Рефлексометрический
- Визуально-оптический

1.2 Области применения методов неразрушающего контроля.

Любой метод неразрушающего контроля имеет свои области применения, связано это как с параметрами самого объекта наблюдения,

так и с различными условиями окружающей среды, или особенностями самой оптической системы.

Визуальный контроль

Визуальный контроль является одним из наиболее доступных методов контроля, так как не предполагает использование никаких средств, усиливающих человеческое зрение. Однако возможности человеческого зрения ограничены. При достаточном освещении оператор способен различать 15-20 градаций яркости, и до 200 оттенков одного цвета, минимальный размер объекта, различимого человеческим глазом составляет от 0,08мм до 0,25мм, но эти показатели напрямую зависят от его физиологических особенностей и состояния. Для расширения возможности человеческого глаза могут использоваться оптические приборы, увеличивающие угловой размер объекта, что позволяет наблюдать дефекты неразличимые невооруженным глазом. Также существуют оптические приборы, позволяющие проводить осмотр узлов и деталей, скрытых от прямого наблюдения, такой вид контроля называют визуально-оптическим [1, 48 с.]. Однако при недостаточном контрасте дефекта и фона, даже относительно крупные дефекты могут быть не обнаружены, помимо этого, при утомлении оператора, его внимательность и острота зрения притупляется. В связи с этим, а также с растущей тенденцией к автоматизации различных процессов производства, все чаще применяются другие методы оптического контроля.

Фотометрические методы

Фотометрическими методами оптического контроля являются методы, основанные на фиксировании изменения характеристик оптического излучения при взаимодействии его с объектом наблюдения с последующим преобразованием этой величины в электрический сигнал и обработкой его вторичными блоками. К таким методам условно относятся: денситометрический, фотометрический и колориметрические методы, а

также некоторые разновидности спектрального и поляризационного методов.

В зависимости от используемой оптической схемы, объекта исследования и конкретной реализации метода выбирается измеряемая физическая величина. Например, при использовании денситометрического метода измеряется коэффициент пропускания, а при колориметрическом анализируются отношения цветовых составляющих света. Приборы, используемые для реализации данных методов, работают в проходящем свете.

Фотометрический контроль применяется в дефектоскопии, в контроле геометрических размеров объектов, толщинометрии, а также в исследовании физико-химических свойств различных объектов.

Интерференционные методы

К данному виду оптического контроля относят методы, основанные на взаимодействии двух световых потоков, а именно на изменении их фазы после взаимодействия с предметом (рис.1.1). Разрешающая способность данного метода составляет половину длины волны падающего на объект излучения. Одним из преимуществ данного метода является отсутствие непосредственного контакта между прибором и объектом наблюдения. Падающее на объект излучение отражается и образует на экране сложную гранулярную структуру.

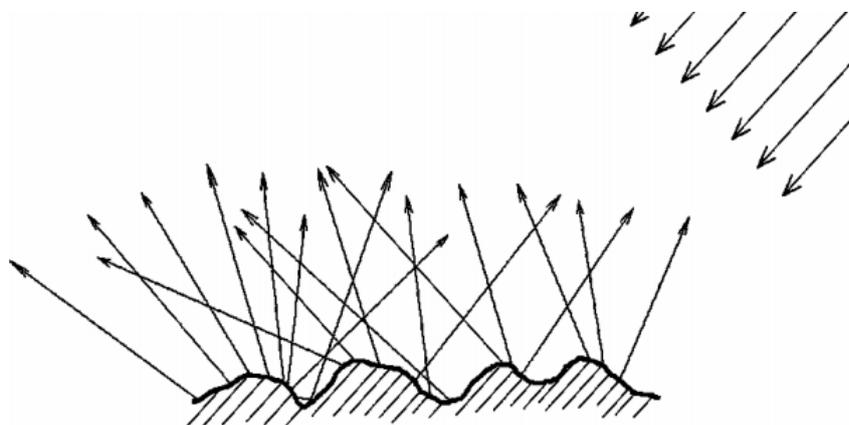


Рис. 1.1 Взаимодействие когерентного излучения с шероховатой поверхностью объекта наблюдения.

Наибольший вклад в спекл-изображения будут давать участки поверхности, имеющие большой коэффициент отражения. Если участки поверхности расположены под одним и тем же углом, то произойдет сложение лучей, отраженных от этих поверхностей, т.к. они будут иметь одинаковую фазу, и на экране в этом месте появится более светлое пятно.

Интерференционные методы редко применяются в дефектоскопии, поскольку они крайне чувствительны к изменению условий контроля, например, параметров окружающей среды. При изменении температуры или плотности воздуха погрешность измерений резко возрастает, что делает данный метод неприменимым для поставленных задач [4, 111 с.]. Вместо этого они нашли широкое применение в исследовании физико-химических свойств объектов, в исследовании различных биологических процессов, микроперемещений объектов и др.

Например, в работе [5] предлагается использование данного метода для регистрации перемещения объекта на дистанцию меньше диаметра лазерного пучка, поскольку в этом случае спекл-изображение не изменится, а все его компоненты будут перемещаться на расстояние пропорциональное смещению самого объекта. При этом само изображение формируется на ПЗС матрице, а перемещение отслеживается программно с помощью корреляционного анализа. Пример получаемого изображения представлен на рис.1.2.

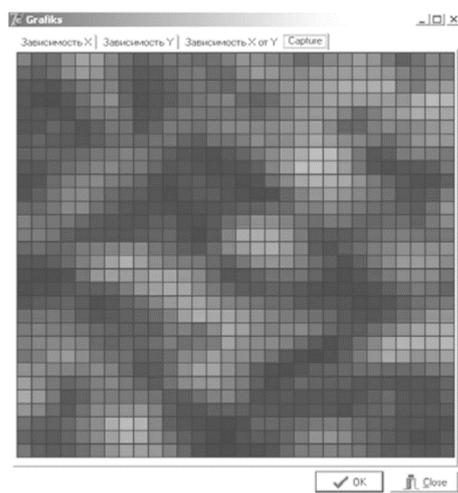


Рис.1.2 Пример спекл-изображения, получаемого при регистрации его на ПЗС матрицу

В работе [6] описано применение метода анализа пространственного контраста лазерных спеклов в исследовании динамики микроциркуляции крови. При этом проводился расчет пространственного контраста спекл-поля, полученного при однократном рассеянии лазерного излучения образцом, а не по серии изображений, как было описано в предыдущем примере.

Образец находился в статичном положении. Этот коэффициент принимался за единицу. В случае если в образце наблюдался динамический процесс, коэффициент уменьшался. Однако авторы не смогли учесть всех факторов, влияющих на величину расчетного коэффициента помимо скорости кровотока. Поэтому в данной работе для калибровки лабораторной установки применялся фантом.

Также интерферометрические методы контроля используются для бесконтактного контроля узлов и конструкций, находящихся под механическим напряжением, измерения собственных колебаний объектов, и их остаточного натяжения. Это становится возможным благодаря тому, что наблюдению доступны сразу все точки исследуемой поверхности. Однако, как это уже было сказано выше, для проведения точных измерений, необходима не только вибрационная изоляция установки, необходимо также учитывать внешнюю засветку и тепловые потоки, что

усложняет и без того трудоемкий процесс расшифровки спекл-изображения.

В работе [7] описан оптоэлектронный спекл-интерферометр, являющийся помехоустойчивым. Основными элементами данной установки являются лазер с длиной волны 532 нм, с мощностью 50 мВт и цифровая видеокамера. В основе идеи лежит наличие двух пучков излучения: предметного и опорного, имеющих схожие гистограммы яркости. Помехи на изображениях устраняются с помощью усреднения массива кадров.

Лазерные методы контроля

Большая часть оптических методов контроля использует различные свойства лазерного излучения, а именно: когерентность, монохроматичность и направленность. Еще одним примером могут служить голографические методы контроля, позволяющие производить прямые измерения объекта наблюдения, рассматривать его с различных точек, видеть объем, форму, шероховатость поверхности и т.д. Голографические методы контроля регистрируют не только амплитудную, но и фазовую информацию, которая содержится в волновом фронте. Схема записи голограммы представлена на рис. 1.3.

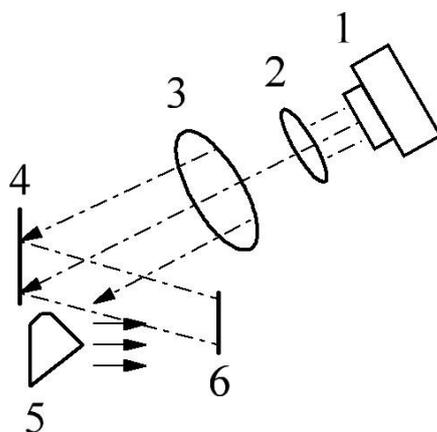


Рис. 1.3 Схема записи голографического изображения: 1 – лазер; 2 – микрообъектив; 3 – коллиматор; 4 – зеркало опорного луча; 5 – контролируемый объект; 6 – голограмма;

Запись голограммы происходит при интерференции двух монохроматических потоков излучения: опорного пучка, не проходящего через объект и излучения рассеянного объектом. В схеме, представленной на рис. 1.3 источником излучения является лазер, коллиматор необходим для уменьшения расходимости пучка. Для воспроизведения голограммы ее подсвечивают опорным лучом, в результате чего наблюдается два изображения объекта: мнимое и действительное.

Так же, как и остальные интерференционные методы контроля голографический подвержен помехам, вызванным вибрацией и тепловыми полями, поэтому установка для записи голограммы должна располагаться на виброизолированном стенде.

Свойства лазерного излучения также применяются в LIF-, PIV-, PTV-методах и других. Рассмотрим эти методы более подробно.

PIV-метод (Particle Image Velocimetry) – применяется для цифровой трассерной визуализацией потоков. При использовании данного метода в поток газа или жидкости добавляются специальные частицы (трассеры), их диаметр подбирается таким образом, чтобы частицы точно следовали за потоком, но при этом не возникало броуновского движения. Поток подсвечивается так называемым лазерным ножом, необходимым для выделения из всего объема газа только определенной плоскости (рис. 1.4). Изображение фиксируется с помощью высокоскоростной цифровой видеокамеры, соединенной с лазером системой синхронизации. Перемещения частиц отслеживаются программно с помощью корреляционных методов, исходя из полученных данных, строятся мгновенные поля скоростей. Поскольку данный метод является бесконтактным и позволяет регистрировать скорость потока вещества с большой точностью и в широком диапазоне он нашел широкое применение, как в фундаментальных исследованиях, так и в прикладном кораблестроении, аэродинамике, так же данный метод используют для тестирования различных математических алгоритмов и пр. [8, 9]

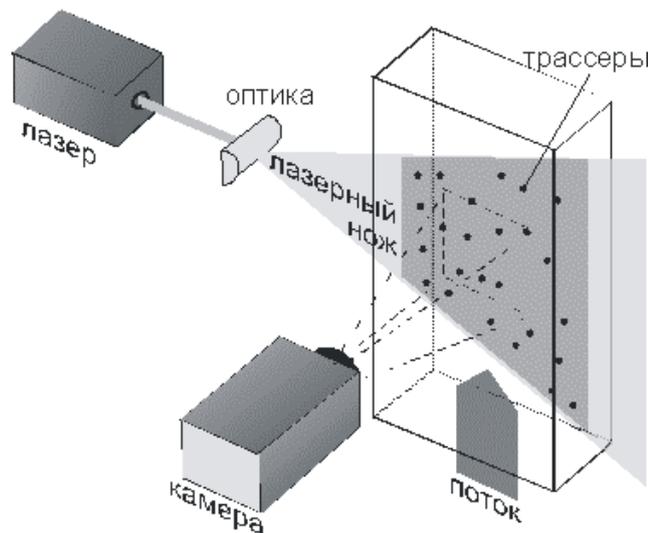


Рис. 1.4 Схема проведения PIV-измерения

PTV - Particle Tracking Velocimetry, является частным случаем вышеописанного PIV-метода, он позволяет регистрировать мгновенные двухкомпонентные поля скорости течения газа или жидкости, отличительной особенностью данного метода является сам алгоритм обработки, поля строятся исходя из отслеживания перемещения отдельных трассеров.

Также существует еще одно расширение PIV-метода - Stereo Particle Image Velocimetry. Этот метод позволяет фиксировать трехкомпонентные поля скорости во всем объеме области, подсвеченной лазерным ножом. Изображения фиксируется на две цифровые камеры, расположенные под различными углами. Реконструкция изображения позволяет определить перемещения частиц в объеме лазерного ножа. [10]

PI - Interferometric Particle Imaging, метод, метод суть которого заключается в определении скорости, положения и диаметра капель в плоскости лазерного ножа по интерференционной картине, получаемой на расфокусированном изображении. Схема измерения данным методом представлена на рис. 1.5. Данный метод применяется для регистрации параметров газо-жидкостного потока, в том числе возникающего в процессе горения различных структур, основным его преимуществом

является регистрация параметров капель во всем выбранном сечении потока, а также сравнительная простота конструкции [11, 12].

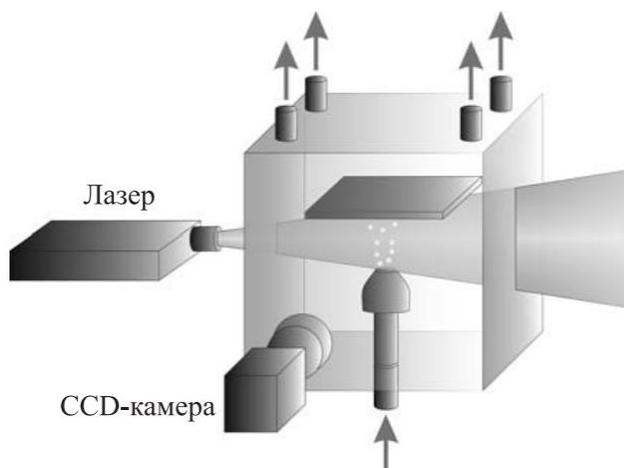


Рис. 1.5 Схема проведения IPI –измерения

LIF - Laser Induced Fluorescence, бесконтактный метод позволяющий визуализировать мгновенное распределение толщины пленки жидкости на плоскости. Особенность метода заключается в переизлучении флуорофором возбуждающего излучение в излучение с другим спектральным составом. Результаты фиксируются с помощью цифровой камеры с светофильтром, отсеивающим возбуждающее излучение. Чем больше толщина пленки, тем интенсивнее переизлучение, следовательно, тем ярче область на изображении (рис. 1.6). В работе [13] авторы предлагают с помощью данного метода фиксировать нефтяные загрязнения на земной поверхности.

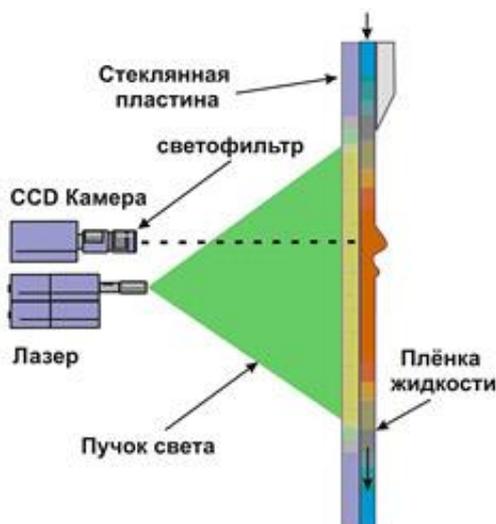


Рис. 1.6 Схема проведения LIF –измерения

Каждый рассмотренный метод оптического контроля имеет свои возможности и ограничения. Однако, при использовании любого метода для получения достоверного результата используется математическая обработка полученных данных, учитывающая как помехи при проведении измерений, так и искажения, вносимые самой оптической схемой.

1.3 Активные оптические системы. Лазерный проекционный микроскоп.

Активными оптическими системами называют устройства, способные усиливать яркость световых пучков, распространяющихся в них и несущих информацию. Усилительные характеристики таких устройств является нелинейными. Данные устройства являются малочувствительными как к интенсивности входного сигнала, так и к характеристикам оптических элементов, расположенных на входе системы, поскольку работают в режиме насыщения.

Требования для активных оптических систем, применяемых в усилителях яркости [14,15]:

- оптическая среда должна обладать оптической однородностью, чтобы не вносить искажения в получаемое изображение;
- угловая апертура и геометрические размеры активной среды должны обеспечивать прохождение несущих информацию пучков излучения, а также обеспечивать требуемое пространственное разрешение;
- коэффициент усиления среды при работе системы в однопроходном режиме должен быть максимально возможным, поскольку от этого зависит яркостное усиление и разрешающая способность системы;

- для проекции изображения на большие площади активная среда должна обладать такой выходной мощностью, чтобы осветить экран больших размеров;
- для наблюдения изображения среда должна обеспечивать усиление в видимой области спектра;
- лазер должен работать в непрерывном или импульсно-периодическом режиме с частотой, превышающей 25-30 кГц, чтобы обеспечить непрерывность наблюдаемого изображения;

Данным требованиям наиболее полно соответствуют газоразрядные лазеры, поскольку их среда обладает малой оптической плотностью, высокой однородностью и не вносит заметных искажений в изображение [16]. Высокий коэффициент усиления позволяет лазеру работать без резонатора (т.е. в однопроходовом режиме), данное свойство было использовано для создания лазерного проекционного микроскопа.

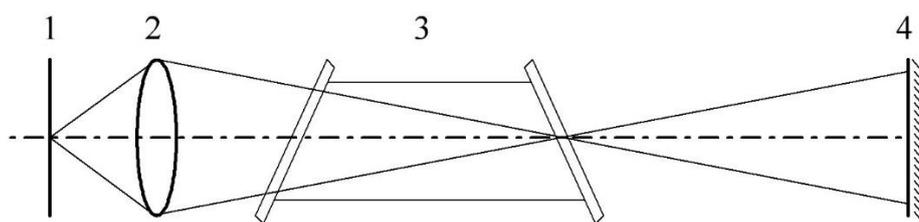


Рис.1.7 Схема активной оптической системы

На рис. 1.7 представлена типичная схема активной оптической системы, позволяющей получать на экране увеличенные изображения микрообъектов. В данной схеме активная среда 3 не только усиливает пучки света, несущие информацию об изображении, но и обеспечивает освещение объекта. Проекционное зеркало используется для получения увеличенного изображения на экране.

Активные оптические системы, в которых в качестве усилителя яркости использован лазер на самоограниченных переходах, позволяют наблюдать объекты, скрытые мощной фоновой засветкой (лазерное излучение, электронный пучок и т.д.), с высоким временным разрешением

[17]. На основе схемы, приведенной на рис. 1.8 было создано устройство, названное «лазерным монитором» [18]. Первые наблюдения объектов с помощью лазерного монитора описываются в работах [19-21]. В них исследовались области замыкания тока слаботочной угольной дуги атмосферного давления.

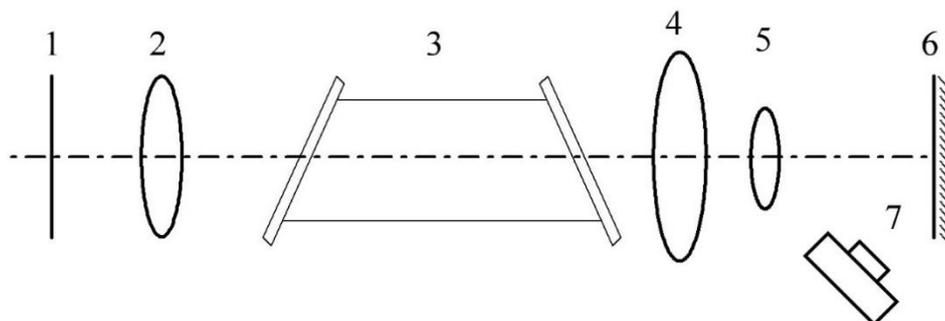


Рис. 1.8 Схема лазерного монитора.

1 – наблюдаемый электрод, 2 – линза, 3 – усилитель яркости, 4,5 – линзы, формирующие изображение, 6 – экран, 7 – скоростной регистратор

Благодаря лазерному монитору возможно не только наблюдать процессы плавления веществ, но и исследовать некоторые параметры наблюдаемых процессов. Например, в работе [22] визуализировался процесс получения сварного соединения светодиодов. Данный эксперимент позволил выявить оптимальные параметры дугового разряда, необходимые для получения качественного соединения. Так же одним из перспективных применений лазерного монитора является восстановление профиля поверхности по изображениям. В работах [23, 24] в качестве объекта наблюдения был использован графит. Для точного восстановления рельефа необходимо знать некоторые параметры лазерного излучения и исследуемой поверхности. В работе [25] описан метод реконструкции рельефа поверхности методом оптической томографии. Суть метода заключается в наличии оптической системы с малой глубиной резкости. В результате съемки объекта получают набор частично расфокусированных изображений, после чего на этих изображениях градиентным методом выделяются области с максимальным коэффициентом резкости, после чего данные области присваиваются положению на вертикальной оси,

соответствующей кадру. Полученная функция подвергается интерполяции.

Однако при математической обработке изображений, получаемых с помощью лазерного монитора необходимо учитывать искажения, вносимые как активной оптической средой усилителя яркости, так и оптическими элементами схемы. Эти недостатки ограничивают области применения стандартных методов обработки изображений. Следовательно, возникает необходимость в применении дополнительной фильтрации и пр. [26].

1.4 Пространственные и частотные методы обработки изображений.

Пространственные и частотные методы обработки изображения необходимы, прежде всего, для улучшения качества изображения. Целью применения многих методов является изменение характеристик изображения таким образом, чтобы они были «более удобны» для восприятия человеческим глазом.

Пространственными методами обработки изображений называют методы, основанные на прямом манипулировании значениями яркости пикселей изображения. Примером может стать один из самых простых пространственных способов – преобразование в негатив в яркостном диапазоне от 0 до $L-1$, где L – максимально значение яркости пикселей изображения. Преобразование осуществляется по формуле:

$S=L-1-r$, где r – яркость пикселя изображения. Этот способ чаще всего используется для удобства восприятия рентгеновских снимков, поскольку белые и серые детали трудно различимы на темном фоне [27, 135]. Примеры исходного и преобразованного изображения представлены на рис. 1.10 [28].

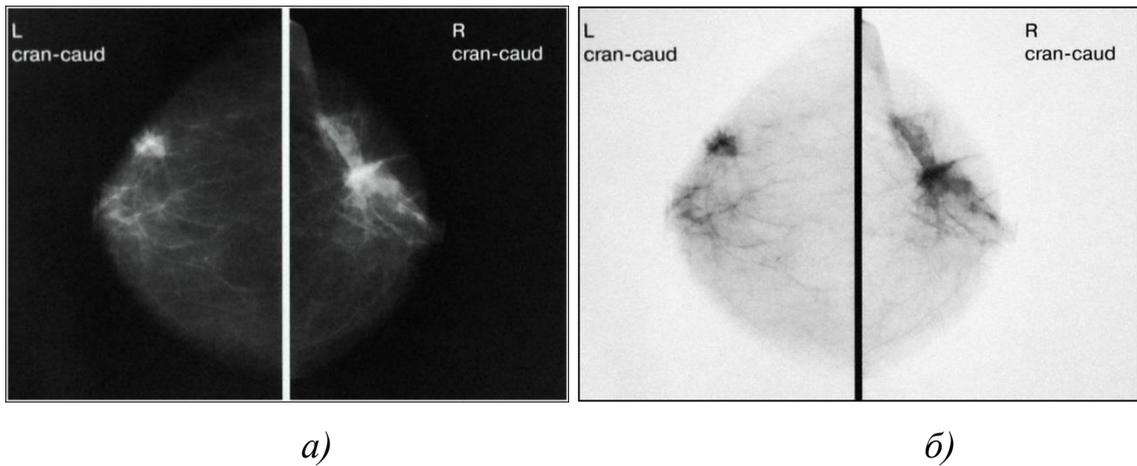


Рис. 1.10 Рентгенограмма молочной железы, а) исходное изображение, б) негатив.

Еще одним простейшим примером может являться логарифмическое преобразование, позволяющее расширить спектральный диапазон темных пикселей, что позволяет видеть детали изображения. Логарифмическое преобразование осуществляется по формуле: $s=c*\log(1+r)$, где r – яркость пикселя изображения, c – константа. Растяжение яркостного диапазона представлено на рис. 1.11, как видно, на изображении б отчетливо видны не только кости, но и мышечная ткань [29, 82].

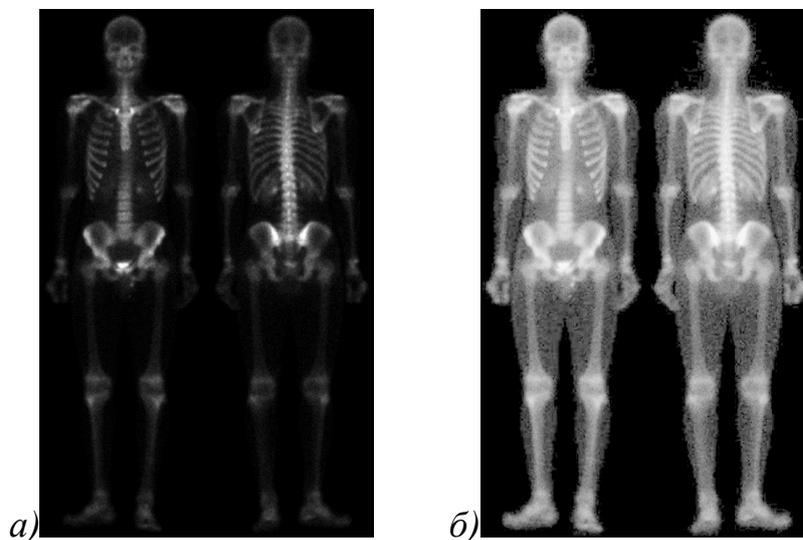


Рис. 1.11 Рентгенограмма человеческого скелета, а) исходное изображение, б) изображение с расширенным диапазоном яркости.

В данном пункте будут рассматриваться только методы, раскрывающие общий смысл выбранной группы методов, подробнее же будут рассматриваться способы обработки изображений, относящиеся к теме диплома.

Частотные методы обработки изображения базируются на свойствах прямого и обратного преобразования Фурье. Суть заключается в том, что изображение с помощью дискретного преобразования Фурье переводится в частотную область, в которой и происходит процесс обработки, а затем с помощью обратного преобразования оно приводится в первоначальный вид без потери информации [30]. Рассмотрим наиболее характерные примеры. Назначением рассматриваемых методов является фильтрация, которая достигается путем свертки изображения в частотной области с маской фильтра. Стоит отметить, что, в отличие от электрического сигнала, в Фурье-преобразовании изображения основной (нулевой) гармоникой является фон, а высшими гармониками шум и резкие переходы цвета – границы изображения. Рассмотрим функцию низкочастотного фильтра Гаусса. Данный фильтр необходим для устранения высокочастотного шума на изображении. Передаточная функция фильтра определяется выражением:

$H(u, v) = e^{-D^2(u,v)/2\sigma^2}$, где $D(u, v)$ – расстояние от начала координат заданного Фурье –образца, σ - частота среза [29, 142]. Результаты фильтрации изображения представлены на рис. 1.12.

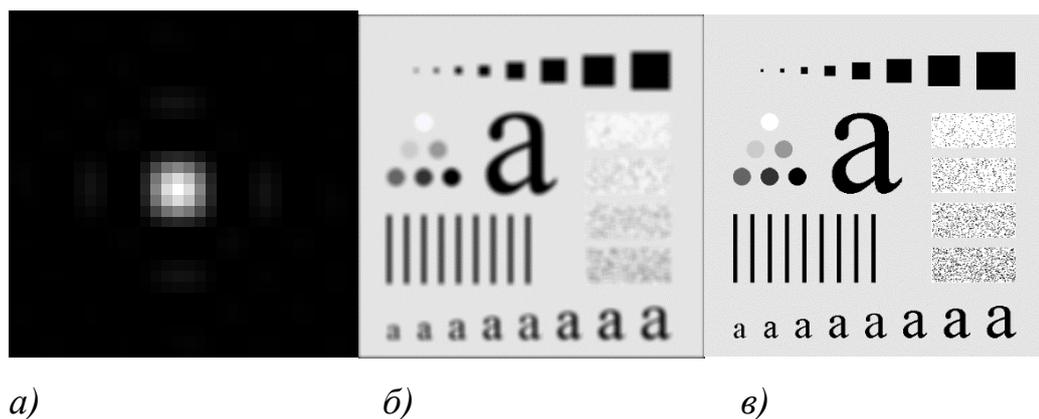


Рис. 1.12 Полутонное изображение функции фильтра (а), а также исходное изображение (б) и изображение, подвергшееся фильтрации (в).

На изображении 12б заметно снижение уровня высокочастотного шума, однако вместе с высокочастотными составляющими спектра, вызванными наличием шума, были устранены высшие гармоники

полезного сигнала, а именно резкие переходы цвета – границы изображения, что негативно сказалось на резкости изображения. Однако, шум был устранен не полностью. Для борьбы с высокочастотными шумами «соль и перец» обычно применяют пространственный медианный фильтр.

1.5 Методы определения резкости изображения.

В современном мире многие оптико-электронные устройства имеют функцию автофокусировки. Настройка оптической системы лазерного монитора представляет собой сложную задачу, поскольку тонкий процесс фокусировки достаточно затруднителен для человеческого глаза, а при высокой яркости излучения еще и вреден.

Существует множество способов реализации системы фокусировки изображения. Одним из вариантов является активная система фокусировки, в которой определяется расстояние до объекта с последующим вычислением фокусного расстояния линзы. Однако область применения данного метода ограничивается оптическими свойствами среды.

Наряду с аппаратными средствами активно разрабатываются программные (пассивные) методы определения резкости изображения. В работе [31] рассматривался метод минимизации границ, суть которого заключается в вычислении фокусировочной константы с помощью фильтрации цифрового изображения фильтром Собела. Авторы также подробно описали технику проведения эксперимента, однако не указали способ вычисления фокусировочного коэффициента.

Также существуют методы определения резкости изображения на основе нормированных гистограмм яркости и резкости изображения. В данной работе упоминается, что идеальная гистограмма яркости является гистограммой нормального распределения, и описывается формулой:

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$$

Соответствие гистограммы данной формуле говорит о том, что большинство пикселей соответствуют среднему значению, на изображении присутствуют плавные тональные переходы, оно имеет сбалансированный контраст. Так же у высококонтрастного изображения диапазон ненулевых значений яркости будет достаточно широким. Нормированная гистограмма контраста строится, исходя из вычисления локального контраста каждого пикселя. Исходя из того, что кривая нормированной гистограммы контраста стремиться к виду:

$$\frac{n_k}{n} = \frac{1}{x^{e^c}},$$

где, С – степень контрастности цифрового изображения [32]. Данный метод позволяет численно оценить контраст изображения, однако он достаточно сложен для вычисления, следовательно, негативно скажется на быстродействии системы.

В работе [33] предлагается вычисление коэффициента резкости изображения по яркости соседних пикселей.

$$RQ = \frac{2}{R_{\max}} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \frac{((f_{i,j} - f_{i-1,j}) + (f_{i,j} - f_{i,j-1}))^2}{(M-1)(N-1)},$$

в этой формуле и в последующих М и N – являются высотой и шириной изображения, соответственно, - значение яркости пикселя в точке с координатами, R_{\max} - максимальное значение яркости изображения. Существенным недостатком данной формулы является то, что отличие коэффициентов сфокусированного и расфокусированного изображений составляет порядка 0.01, это может привести к ошибке вычислений.

Резкость изображения также можно оценить по углу наклона профиля яркости изображения, чем больше угол, тем четче изображение. Угол наклона профиля яркости вычисляется с помощью вектора направления градиента. Вектор направления градиента в каждой точке

направлен к пикселю с максимальной яркостью, а его величина зависит от скорости изменения яркости. Таким образом максимальные величины данных векторов будут у пикселей, принадлежащих границам изображения. Вычислив расстояние между точками с максимальной и минимальной яркостью вдоль направления этого вектора, можно найти локальную меру резкости по формуле:

$$S_i = \frac{I(r_{\max}) - I(r_{\min})}{w},$$

где w – искомое расстояние между пикселями. Максимальное значение коэффициента S_i для всех пикселей, принадлежащих границам изображения и будет являться мерой резкости изображения [34]. Однако, данный алгоритм достаточно сложно реализовать, он требует достаточно большого объема вычислений, что негативно скажется на быстродействии системы фокусировки.

В этой же работе описывается метод определения структурного подобия изображения. Этот метод предполагает наличие эталонного изображения, с которым в последующем будут сравниваться все остальные.

$$S = \frac{\sigma_{AB}}{\sigma_A \sigma_B} * \frac{2\overline{AB}}{A^2 + B^2} * \frac{2\sigma_A \sigma_B}{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}$$

В данной формуле первый множитель является коэффициентом корреляции между изображениями А и В. Вторым множителем характеризует сходство между средними значениями яркостей изображений А и В. Третий множитель характеризует сходство локальных контрастов между изображениями А и В.

Помимо пространственных методов определения резкости изображений существует также и частотные, в работах [36, 37] описан алгоритм определения степени размытости изображения с помощью меры эксцесса двумерного спектра Фурье. Данный коэффициент отражает

степень сглаженности плотности вероятности в окрестности главного максимума, и определяется по формуле:

$$E_k = \mu_4 / \sigma_4 - 3$$

где μ_4 - четвертый центральный момент, σ_4 - стандартное отклонение.

Коэффициент применяется для нахождения отклонения плотности вероятности от нормального закона, для которого это значение равно 3. Поскольку резкое изображение имеет больше высоких пространственных частот, коэффициент эксцесса будет больше, и наоборот, размытому изображению будет соответствовать меньшая величина коэффициента.

Однако наиболее простым способом оценки резкости изображения является безэталонный метод, описанный в работе [38]. Данный метод предполагает нахождение степени размытости, исходя из разности яркости изображений, полученных из исходного путем свертки их с усредняющими масками разных размеров.

Некоторые методы, а также их реализация будут подробно рассмотрены в следующей главе.

1.6 Алгоритмы нахождения микроперемещений объекта.

Некоторые примеры систем слежения за объектом уже были описаны в пункте 1.2, однако в качестве такой системы может применяться и лазерный монитор. Подробный обзор алгоритмов нахождения микроперемещений объекта в системе лазерного монитора подробно описывается в работе [39], в данной же работе ставится задача по оптимизации уже известного. Для нахождения объекта наблюдения на изображениях применяется метод взаимной нормированной кросс-корреляции, поскольку он обеспечивает наилучшую производительность со всеми категориями изображений.

Вывод по Главе 1.

Лазерный микроскоп (ЛМ) является перспективной разработкой и может быть применен в системах визуализации, однако искажения, вносимые лазерной средой и оптической системой, не позволяют применять стандартные методы обработки изображений, следовательно, необходимо разработать алгоритмы, учитывающие искажения, вносимые активной средой усилителя яркости.

Форма задания для раздела магистерской диссертации
 «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM41	Торгаевой Дарье Сергеевне

Институт	Кафедра	Уровень образования	Направление/специальность
	магистратура		11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>анализ потенциальных потребителей результатов исследования, конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения; SWOT-анализ; анализ готовности проекта к коммерциализации</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>определение целей и результатов проекта; определение ограничений и допущений проекта; определение организационной структуры проекта</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>план проекта; расчет бюджета научно-технического исследования; оценка рисков проекта</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>оценка сравнительной эффективности исследования;</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Сегментирование рынка*
2. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
3. *Матрица SWOT*
4. *График проведения и бюджет НТИ*
5. *Потенциальные риски*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. каф.	Чистякова Наталья Олеговна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Торгаева Дарья Сергеевна		

Глава 6. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В результате анализа потенциальных потребителей результатов исследования рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование. Определены основные критерии сегментирования.

Поскольку система позиционирования объекта в системе лазерного проекционного микроскопа не является самостоятельным устройством, следует рассматривать целевой рынок для устройства, включающего разрабатываемый программно-аппаратный комплекс.

Лазерный проекционный микроскоп (лазерный монитор) система, позволяющая наблюдать объекты микро и нано размеров, скрытые мощной фоновой засветкой, возникающей при протекании высокотемпературного химического синтеза, при горении различных смесей, в процессах сварки и т.д. На данном этапе разработки основными потребителями данного устройства могут являться научные группы и институты, а также государственные и частные научно-внедренческие, научно-исследовательские организации и предприятия. В перспективе, при успешном завершении доработки технических недостатков, проект может быть востребован так же и в промышленности.

Исходя из данных, представленных на карте сегментирования рынка производства и использования лазерных мониторов, можно сделать вывод, что основные потребители данного устройства заняты в Государственной научно-исследовательской сфере. Остальные сегменты рынка освоены слабо либо не освоены совсем.

Несмотря на это для реализации и внедрения устройства имеется большой потенциал, поскольку устройство имеет широкую сферу применения.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка

	Вид предприятия			
	Научно-производственное	Научно-исследовательское	Научно-внедренческое	Производственное
Государственные				
Негосударственные				

	Сегмент освоен
	Сегмент слабо освоен
	Сегмент не освоен или информация не найдена

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Данный анализ необходим для объективной оценки сильных и слабых сторон своего проекта, а также его конкурентоспособности. Итогом анализа должны стать объективные преимущества разработки в сравнении с конкурентными, благодаря которым она может занять определенную нишу на рынке.

С помощью оценочной карты (таблица 6.2) удобно произвести анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Это необходимо для оценки сравнительной эффективности научной разработки и определения направления ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 6.2 и таблице 6.3, подбирались исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Целесообразно разделить критерии на две основные группы – технические и экономические.

Полных аналогов рассматриваемого устройства не существует,

поскольку лазерный монитор обладает рядом свойств, присущих только лазерным проекционным системам. Наиболее вероятными конкурентами на рынке могут являться: микроскоп, снабженный камерой (κ_1), а также рив-система (κ_2).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

Где K – конкурентоспособность разработки; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения выбранных решений по техническим критериям оценки ресурсоэффективности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_ϕ	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$	K_ϕ	$K_{\kappa 1}$	$K_{\kappa 2}$
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
2. Удобство в эксплуатации	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
3. Помехоустойчивость	0,08	3	5	4	0,24	0,4	0,32
4. Энергоэкономичность	0,09	3	5	4	0,27	0,45	0,36
5. Надежность	0,09	3	4	2	0,27	0,36	0,18
6. Уровень шума	0,03	2	5	4	0,06	0,15	0,12
7. Безопасность	0,08	2	5	4	0,16	0,4	0,32
8. Возможность работы в условиях мощной фоновой засветки	0,1	5	1	2	0,5	0,1	0,2
9. Качество интерфейса	0,03	3	4	5	0,09	0,12	0,15
10. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	5	4	5	0,3	0,24	0,3
11. Автоматическая фокусировка изображения	0,04	4	1	0	0,16	0,04	0
12. Автоматическое позиционирование объекта	0,04	4	0	0	0,16	0	0
13. Массогабаритные параметры устройства	0,07	2	5	2	0,14	0,35	0,14
14. Автоматическое слежение за объектом	0,03	4	0	5	0,12	0	0,15
15. Автоматизированная обработка получаемых данных	0,09	4	2	5	0,36	0,18	0,45
16. Степень специализации устройства	0,04	5	3	1	0,2	0,12	0,04
Итого	1	58	53	51	3,62	3,49	3,25

Таблица 6.3 – Оценочная карта для сравнения выбранных решений по экономическим критериям оценки ресурсоэффективности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1. Конкурентоспособность продукта	0,13	3	5	4	0,39	0,65	0,52
2. Уровень проникновения на рынок	0,2	1	5	3	0,2	1	0,6
3. Цена	0,2	3	4	3	0,6	0,8	0,6
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	3	5	3	0,45	0,75	0,45
5. Послепродажное обслуживание	0,2	2	5	4	0,4	1	0,8
6. Срок выхода на рынок	0,12	2	5	4	0,24	0,6	0,48
Итого	1	14	29	21	2,1	4,8	3,45

Исходя из результатов проведенного анализа, можно сделать вывод, что лазерный монитор с системой позиционирования на данном этапе разработки не вполне конкурентоспособен, поскольку существуют значительные недоработки в технической части. Огромным плюсом разработки являются функции автоматизации, предполагающие минимальное участие оператора, что позволит увеличить производительность труда и сделать устройство более привлекательным для потребителя. Использование цифрового микроскопа и рив-системы невозможно в условиях мощной фоновой засветки. Однако по экономическим критериям лазерный проекционный микроскоп сильно отстает от конкурентов.

Таким образом разрабатываемый проект является перспективным, поскольку обладает набором уникальных свойств, обуславливающих его применение на предприятиях, области интересов которых, затрагивают работу с объектами микро и нано размеров, скрытых мощной фоновой засветкой. В частности, таковыми могут являться высокотемпературный химический синтез, ионные, плазменные технологии, исследование взрывчатых и горючих смесей, электроразрядные технологии.

6.1.3 SWOT-анализ

Экономический анализ, необходимый для выявления сильных и слабых сторон проекта, а также возможностей и угроз способных появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С.1: Возможность работы с фоновой засветкой</p> <p>С.2: Автоматизированная обработка полученных данных</p> <p>С.3: Автоматизированная фокусировка изображения</p> <p>С.4: Доступность комплектующих деталей и узлов</p> <p>С.5: Возможность работы с объектами, имеющими различные геометрические характеристики.</p> <p>С.6: Наличие возможности подключения к ПК, работа со специальным программным обеспечением</p> <p>С.7: Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С.8: Широкая сфера применения разработки</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл.1: Сложность создания лазерной трубки</p> <p>Сл.2: Высокая стоимость системы накачки лазера</p> <p>Сл.3: Относительно небольшой срок службы</p> <p>Сл.4: Использование высокого напряжения</p> <p>Сл.5: Высокий уровень излучаемых ЭМ-помех и шума.</p> <p>Сл.6: Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл.7: Низкое быстродействие системы позиционирования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В.1: На рынке появляется больше предприятий, работающих в сфере высоких технологий, где разработка может быть востребована.</p> <p>В.2: Государство выделяет финансирование на инновационный сектор, где разработка может быть востребована.</p> <p>В.3: Практически отсутствуют конкуренты.</p> <p>В.4: Возрастающий интерес со стороны крупных предприятий к системам неразрушающего контроля.</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У.1: Применение газового лазера ведет к наличию определенных сложностей в работе и обслуживании</p> <p>У.2: Жесткие требования к сертификации продукта</p> <p>У.3: в связи с кризисом уменьшается государственное финансирование программ и грантов.</p>

Для выявления степени необходимости проведения стратегических изменений необходимо выявить соответствие сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Интерактивные матрицы проекта приведены в таблице 6.5-6.8.

Таблица 6.5 –Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Возможност и проекта		С.1	С.2	С.3	С.4	С.5	С.6	С.7	С.8
	В.1	+	+	+	+	+	+	0	+
	В.2	+	+	+	+	+	+	0	+
	В.3	+	+	+	+	+	+	0	+
	В.4	+	+	+	+	+	+	0	+

Таблица 6.6 –Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта								
Возможност и проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4	Сл.5	Сл.6	Сл.7
	В.1	+	+	+	+	+	+	+
	В.2	+	+	+	+	+	+	+
	В.3	-	-	-	-	-	-	-
	В.4	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 6.7 –Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Угрозы проекта		С.1	С.2	С.3	С.4	С.5	С.6	С.7	С.8
	У.1	+	-	-	-	-	-	+	-
	У.2		-	-	-	-	-	-	-
	У.3	+	-	-	-	-	-	+	-

Таблица 6.8 –Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта								
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4	Сл.5	Сл.6	Сл.7
	У.1	+	-	+	-	-	-	+
	У.2	-	-	+	-	+	-	-
	У.3	+	+	+	+	+	-	+

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 6.9).

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 6.9 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С.1: Возможность работы с фоновой засветкой</p> <p>С.2: Автоматизированная обработка полученных данных</p> <p>С.3: Автоматизированная фокусировка изображения</p> <p>С.4: Доступность комплектующих деталей и узлов</p> <p>С.5: Возможность работы с объектами, имеющими различные геометрические характеристики.</p> <p>С6: Наличие возможности подключения к ПК, работа со специальным программным обеспечением</p> <p>С.7: Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С.8: Широкая сфера применения разработки</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл.1: Сложность создания лазерной трубки</p> <p>Сл.2: Высокая стоимость системы накачки лазера</p> <p>Сл.3: Относительно небольшой срок службы</p> <p>Сл.4: Использование высокого напряжения</p> <p>Сл.5: Высокий уровень излучаемых ЭМ- помех и шума.</p> <p>Сл.6: Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл.7: Низкое быстродействие системы позиционирования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В.1: На рынке появляется больше предприятий, работающих в сфере высоких технологий, где разработка может быть востребована.</p> <p>В.2: Государство выделяет финансирование на инновационный сектор, где разработка может быть востребована.</p> <p>В.3: Практически отсутствуют конкуренты.</p> <p>В.4: Возрастающий интерес со стороны крупных предприятий к системам неразрушающего контроля.</p>	<p>С1С2С3С5С6С8В1В2В3В4 - Благодаря уникальным техническим характеристикам и отсутствию прямых конкурентов проект может быть востребован как в научно-исследовательских группах, так и на производственных предприятиях.</p> <p>С6В1В2В4 - При создании прибора использовалась общедоступная элементная база, что значительно упрощает ремонт и обслуживание.</p>	<p>В1В2В4С1 Для автоматизации процесса производства трубки необходимо изменить ее конструкцию.</p> <p>В1В2В4Сл2Сл3Сл4Сл5Сл7 Для улучшения технических параметров, увеличения срока службы и снижения себестоимости устройства необходимо произвести доработку его аппаратной части</p> <p>В1В2В4Сл6 Необходимо разработать простой и удобный программный интерфейс для неквалифицированного персонала</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У.1: Применение газового лазера ведет к наличию определенных сложностей в работе и обслуживании</p> <p>У.2: Жесткие требования к сертификации продукта</p> <p>У.3: в связи с кризисом уменьшается государственное финансирование программ и грантов.</p>	<p>У1У3С1С7 Имеющиеся средства необходимо направить на исследование физики газового разряда, свойств активной среды, а также в разработку новых материалов, керамики, изоляторов, коммутаторов, вакуумных технологий.</p>	<p>У1Сл2Сл3Сл7+ У2Сл3Сл5+ + У3Сл1Сл2Сл3Сл4 Сл5Сл7 Необходимо провести комплекс работ и исследований по улучшению технических параметров устройства, унификации узлов, а также снижению негативного влияния вредных факторов устройства на человека. Перечисленные мероприятия повысят инвестиционную привлекательность разработки.</p>

Несмотря на то, что газовые лазеры изучаются уже порядка 60-ти лет, многие вопросы, касательно техники и физики их работы остаются открытыми и требуют более детальной проработки. В то же время, практическое отсутствие частных инвестиций, и снижение количества бюджетного финансирования усложняет ход исследований. Тем не менее, именно в развитии фундаментальных основ лежит движущая сила технического прогресса. В будущем диагностические лазерные комплексы с высоким быстродействием и разрешением, вероятно, будут востребованы. Возможность получения изображения при сильной фоновой засветке является уникальной особенностью разрабатываемой системы.

6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.

Одним из этапов разработки оборудования является оценка готовности проекта к коммерциализации, поскольку она позволяет выявить все недостатки проекта и оценить возможность самостоятельного ее завершения. В таблице 6.10 представлен перечень вопросов по которым необходимо провести оценку.

Таблица 6.10 –Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научно-го проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	1	2
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	3

6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
	ИТОГО БАЛЛОВ	24	31

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;
 B_i – балл по i -му показателю.

Исходя из данных, представленных в Таблица 6.9, можно сделать вывод о том, что проект не готов к коммерциализации, поскольку прибор имеет серьезные технические недоработки, внимание научной группы сосредоточено на их устранении. При завершении доработки, необходимо будет привлечь специалистов разработки необходимой документации.

6.2 Инициация проекта

6.2.1 Цели и результаты проекта

В таблице 6.11 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта, которые могут быть затронуты в ходе исполнения или в результате завершения проекта.

Таблица 6.11 Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнитель по проекту	Повышения уровня квалификации благодаря работе в научной сфере.
Организация заказчик	Использование результатов интеллектуальной деятельности для повышения конкурентоспособности организации
Спонсор проекта	Развитие российских научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 6.12 представлена информация о целях проекта и их иерархия.

Таблица 6.12 Цели и результат проекта

Цели проекта:	Создание макета программно-аппаратного комплекса для позиционирования объекта в системе лазерного монитора
Ожидаемые результаты проекта:	Программно-аппаратный комплекс включающий в себя: программу для автоматической фокусировки изображения, программу следящей системы, систему управления шаговым двигателем
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособный макет устройства, количественные результаты измерений которого совпадают с субъективными.
Требования к результату проекта:	Требование: Автоматизированное получение максимально резкого изображения Измерение микроперемещений объектов с точностью не ниже конкурентной разработки Получение работоспособной системы позиционирования объекта с максимально возможным быстродействием Реализация простого и удобного пользовательского интерфейса

6.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 6.13 показана рабочая группа проекта, определена роль каждого участника в этом проекте, а также прописаны функции, выполняемые участниками и их трудозатраты в проекте.

Таблица 6.13 – Рабочая группа проекта

№ п/п	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, день.
1	Руководитель проекта	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, проведение экспериментов с лазерным монитором, участие в обсуждениях по результатам работы	32
2	Исполнитель по проекту	Обзор методик фокусировки изображения, написание алгоритмов и листингов программ оценки резкости и микроперемещений объектов, проведение экспериментов с лазерным монитором, обработка изображений, полученных в лазерном мониторе, разработка и сборка аппаратной части устройства, проведение экспериментов с лазерным монитором, разработка программных методов уменьшения влияния искажений, вносимых лазерным микроскопом в результаты экспериментов, тестирование и отладка программ и оборудования, подготовка документов для государственной регистрации программ, участие в обсуждениях по результатам работы	186
ИТОГО:			218

6.2.3 Ограничения и допущения проекта

В таблице 6.14 представлена информация об ограничениях и допущениях проекта.

Таблица 14 Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	750000 р.
1.1. Источник финансирования	Грант РФФИ № 14-19-00175 (НИР ТПУ №5.1390.С.2014) "Скоростные
2. Сроки проекта:	01.09.2015-1.09.2016

2.1. Дата утверждения плана управления проектом	1.06.2015
2.2. Дата завершения проекта	17.06.2016
3. Прочие ограничения и допущения	Ограничение времени работы с лазерным монитором, связанное с вредным влиянием шума, лазерного

6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

6.3.1 План проекта

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ. В таблице 6.15 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Иллюстрация календарного плана проекта осуществляется с помощью диаграммы Ганта, представленной на рис. 6.2.

График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени проведения работ. Длительность этапов переводится в календарные дни, и рассчитывается по формуле:

$$T_{ki} = \frac{T_{pi} * T_{кг}}{T_{рд}}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность одной работы в рабочих днях;

$T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{рд}$ – количество рабочих дней в году;

Таблица 6.15 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, рабочие дни	Длительность, календарные дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания на НИР	2	3	01.09.2015	04.09.2015	руководитель
2	Анализ технического задания	4	6	05.09.2015	11.09.2015	исполнитель
3	Обзор литературы по теме исследования	1	1	12.09.2015	13.09.2015	исполнитель
4	Изучения языка программирования MATLAB	13	19	14.09.2015	03.10.2015	исполнитель
5	Исследование различных алгоритмов фокусировки изображений	15	22	04.10.2015	26.10.2015	исполнитель
6	Проведение экспериментов, для выявления области применения выбранных алгоритмов	16	24	27.10.2015	20.11.2015	исполнитель, руководитель
7	Написание кода программы автоматической фокусировки изображения	3	4	21.11.2015	25.11.2015	исполнитель
8	Написание кода программы поиска микроперемещений объектов	10	15	26.11.2015	11.12.2015	исполнитель,
9	Проведение экспериментов по отслеживанию микроперемещений объектов	7	10	12.12.2015	22.12.2015	исполнитель, руководитель
10	Отладка программного комплекса	17	25	23.12.2015	17.01.2016	исполнитель
11	Проектирование и расчет аппаратной части устройства	19	28	18.01.2016	15.02.2016	исполнитель
12	Тестирование программно-аппаратного комплекса, анализ результатов работы	17	25	16.02.2016	12.03.2016	исполнитель, руководитель
13	Отладка программно-аппаратного комплекса	24	35	13.03.2016	17.04.2016	исполнитель,
14	Выявление	20	30	18.04.2016	18.05.2016	исполнитель,

	дополнительных возможностей разработанной системы					руководитель
15	Подготовка отчета о работе	15	22	19.05.2016	10.06.2016	исполнитель
16	Сдача разработки и отчета о работе	3	4	11.06.2016	15.06.2016	исполнитель руководитель
Итого:		186	273			



Рис 6.1 Диаграмма Ганта

6.3.2 Бюджет научно-технического исследования

Планирование бюджета научного исследования производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых расходов.

6.3.2.1 Сырье, материалы, покупные изделия

Стоимость всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из приобретения и платы за транспортировку. Транспортно-заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить. Стоимость сырья, материалов, комплектующих изделий приведена в таблице 6.16

Таблица 6.16 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Источник питания 12В	1	600	600
Аппаратная платформа Arduino Mega 2560	1	1200	1200
Макетная плата	1	300	300
Драйвер шагового двигателя	4	50	200
Шаговый двигатель	1	1500	1500
Web-камера	1	1400	1400
Электронные компоненты	1	200	200
Канцелярские товары	1	1000	1000
USB flash накопитель	1	700	700
Оптическая система	1	60000	60000
Осциллограф	1	98000	98000
Компьютер	1	30000	30000
Всего за материалы			195100
Транспортно-заготовительные расходы (3%)			5853
Итого по статье С _М			200953

6.3.2.2 Специальное оборудование для научных работ

К статье затрат на приобретение различного оборудования учитываются затраты на покупку и эксплуатацию специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов и устройств).

Поскольку при выполнении данного проекта использовалось оборудование, уже имеющееся в лаборатории, его стоимость будет учитываться в виде амортизационных отчислений.

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$C_A = \frac{\Phi_{\text{пер}} N_A}{100\%}$$

Где $\Phi_{\text{пер}}$ - первоначальная стоимость оборудования, N_A - норма амортизации.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$N_A = \frac{100\%}{T_{\text{сл}}}$$

Где $T_{\text{сл}}$ - срок службы оборудования, мес.

Таблица 6.17 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	$\Phi_{\text{пер}}$, тыс.руб.	$T_{\text{сл}}$, мес.	N_A , % в мес.	C_A в месяц, руб	период реализации, мес	C_A за весь период, тыс.руб.
1.	CuBr-лазер	1	200	72	1,39	2780	10	27,8
2	Высокоскоростная камера	1	100	4	25	25000	10	250
3	Генератор	1	275	54	1,85	5087,5	10	50,875
Итого:								328,675

6.3.2.3 Специальное оборудование для научных работ

В данную статью включается заработная плата всех лиц, участвующих в выполнении проекта, а также премии доплаты и дополнительная заработная плата.

Заработная плата определяется по формуле:

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

В свою очередь основная заработная плата рассчитывается как:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником,

раб. дн, $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d},$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя.

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 6.18).

Таблица 6.18– Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	250

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot k_p$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 6.19.

Таблица 6.19 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$,
Руководитель	23264,86	1,3	30244,318	1258,16	32	40261,23
Исполнитель	8500	1,3	11050	459.68	186	85500,48

6.3.2.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Данная статья включает выплаты, предусмотренные законодательством о труде, эти выплаты составляют 10-15% от суммы основной заработной платы персонала, занятого реализацией проекта:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}}$$

Где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 6.20 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.20 – Заработная плата исполнителей НИИ

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зар. плата	40261,23	85500,48
Дополнительная зар. плата	6039,19	12825,07
Зар. плата исполнителя	46300,42	98325,552
Итого по статье С _{ЗП}	144625,972	

6.3.2.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды [75].

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды. Итого 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 * 144625,972 = 43387,7916 \text{ руб}$$

6.3.2.6 Научные и производственные командировки

Данная статья расходов включает оплату командировок, связанных с выполнением проекта, в среднем эта сумма рассчитывается как 10% от основной и дополнительной заработных плат:

$$C_{\text{ком}} = k_{\text{ком}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

Где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент затрат на командировочные расходы.

$$C_{\text{ком}} = 0,1 * 144625,972 = 14462,6 \text{ руб}$$

6.3.2.7 Накладные расходы

Данная статья расходов включает затраты на хозяйственное обслуживание и управление, содержание, эксплуатацию и ремонт оборудования, а также инвентаря. Данные расходы рассчитываются как:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

Где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 * 144625,972 = 115700,78 \text{ руб}$$

По отдельным статьям затрат вычисляется плановая себестоимость НИР (таблица 6.21)

Таблица 6.21 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы, покупные изделия	200953
Специальное оборудование для научных работ	328,675
Заработная плата	144625,972
Отчисления на социальные нужды	43387,7916
Научно-производственные командировки	14462,6
Накладные расходы	115700,78
Итого себестоимость НИР	732104,4

6.3.3 Реестр рисков проекта

Реестр рисков проекта включает в себя события несущие негативные последствия для проекта. Информация о рисках представлена в таблице 6.22

Таблица 6.22 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения	Условия наступления
1.	Прекращение бюджетного финансирования	Необходимость снижения затрат на доработку проекта	3	5	в	Поиск частных инвесторов	Ухудшение экономической обстановки в стране
2.	Невостребованность разработки со стороны потребителей	Длительная отсрочка реализации устройства	1	5	с	Изменение технических характеристик устройства	Ошибка в планировании проекта

3.	Устройство не прошло государственную сертификацию.	Длительная отсрочка реализации устройства	3	5	в	Доработка аппаратной части устройства	Недостаточная проработка аппаратной части устройства
----	--	---	---	---	---	---------------------------------------	--

6.4 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где I_{Φ} – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения, Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

Где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра, b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы 6.23.

Таблица 6.23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	PIV-система	микроскоп
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	5
4. Энергосбережение	0,10	3	4	5
5. Надежность	0,2	3	2	4
6. Материалоемкость	0,15	5	3	3
ИТОГО	1	26	21	26

$I_{\text{П}} = 4.4$

Аналог 1=3.45

Аналог 2=4.25

Из таблицы 6.23 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов, но стоит отметить, что область применения является работа в условиях мощной фоновой засветки.

Таким образом, устройство для позиционирования объекта в системе лазерного монитора является более ресурсоэффективной, ресурсосберегающей по отношению к аналогам.

Список публикаций:

1. Chertikhina D. S. , Trigub M. V. , Evtushenko T. G. Sharpness assessment of images obtained with a laser monitor // 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices: Proceedings, Novosibirsk, 29 June-3 July 2015. - Novosibirsk: NSTU, 2015 - p. 340-342
2. Chertikhina D. S. , Trigub M. V. Object positioning accuracy assessment in a laser monitor construction // Atomic and Molecular Pulsed Lasers: Abstracts of 12th International Conference , Tomsk, September 14-18, 2015. - Tomsk: Publishing House of IOA SB RAS, 2015 - p. 25
3. Тригуб М.В., Чертихина Д.С., Евтушенко Г.С. Обработка изображений, полученных с использованием системы с усилителем яркости на парах бромида меди // Известия вузов. Физика. - 2015. - №Том 58, №12. - С. 52-58.
4. Торгаева Д.С., Тригуб М.В. Следящая система для лазерного монитора // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур. Материалы одиннадцатой международной конференции.. - 2016. - С. 38.