

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки приборостроение  
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы  
РАЗРАБОТКА ФОТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ  
УДК 620.18:658.562

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 1БМ4А  | Алибекова Асел Айдынбеккызы |         |      |

Руководитель

| Должность                      | ФИО                    | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|---------|------|
| вед. научн. сотр.,<br>РКНЛ РКД | Осипов Сергей Павлович | К.Т.Н                  |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность        | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Зав. каф.<br>МЕН | Чистякова Наталья Олеговна | К.Э.Н                  |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность          | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф.<br>ЭБЖ | Анищенко Юлия Владимировна | К.Т.Н                  |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой          | ФИО                        | Ученая степень, звание    | Подпись | Дата |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор<br>каф. ФМПК | Суржиков Анатолий Петрович | доктор физ.–<br>мат. наук |         |      |

Томск – 2016 г.

## Планируемые результаты обучения

| Код<br>результата | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Требование ФГОС ВПО,<br>критериев и/или<br>заинтересованных сторон                                                                             |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1                | <b>Способность</b> совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;                                                                                                                                                                                                                                                                  | Требования ФГОС (ОК–1, Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>        |
| P2                | <b>Способность</b> адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области.                                                                                                                          | Требования ФГОС (ОК–7, Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>   |
| P3                | <b>Способность</b> использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.                                                                                                               | Требования ФГОС (ОК–4,50 Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>           |
| P4                | <b>Способность</b> к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно–производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности. | Требования ФГОС (ОК–2, ОК–6, ОК–3) Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> |
| P5                | <b>Умение</b> использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Требования ФГОС (ПК–1, ПК–10), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями                                                      |

| Код<br>результата | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Требование ФГОС ВПО,<br>критериев и/или<br>заинтересованных сторон                                                                                                            |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении..                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>                                                                                                                         |
| P6                | <b>Умение</b> профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.                                                           | Требования ФГОС (ПК–15,ПК–4,ПК–17),<br>Критерий 5 АИОР (п.2.1),<br>согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>                         |
| P7                | <b>Способность</b> проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.                                                                                                                                                                                                                                | Требования ФГОС (ПК–10,ПК–7),<br>Критерий 5 АИОР (п.2.6),<br>согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>                               |
| P8                | <b>Умение</b> разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно–исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности. | Требования ФГОС (ПК–16,ПК–23,ПК–25)<br>ПК–2,26,27,28),<br>Критерий 5 АИОР (п.2.3, 2.4),<br>согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> |
| P9                | <b>Умение</b> организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.                                                     | Требования ФГОС (ПК–18;<br>ПК–19)<br>Критерий 5 АИОР (п.2.2),<br>согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>                           |
| P10               | <b>Способность</b> проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и                                                                                                                                                                                                                | Требования ФГОС (ПК–10; ПК–21, ПК–22)<br>Критерий 5 АИОР (п.2.5),<br>согласованный с требованиями международных стандартов                                                    |

| Код<br>результата | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)                                                          | Требование ФГОС ВПО,<br>критериев и/или<br>заинтересованных сторон |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                   | испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений. | <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>                                       |

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

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки(специальность) приборостроение  
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      А.П. Суржиков  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме: магистерской диссертации

Студенту:

| Группа | ФИО                          |
|--------|------------------------------|
| 1БМ4А  | Алибековой Асел Айдынбеккызы |

Тема работы:

|                                                                                      |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Разработка фотографических методов оценки качества строительных материалов и изделий |                       |
| Утверждена приказом директора                                                        | № 10029/с от 28.12.15 |

|                                          |          |
|------------------------------------------|----------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.16 |
|------------------------------------------|----------|

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b>                                                | <i>Объект исследований:</i> алгоритмы обработки информации в методах оценки качества строительных материалов и изделий по их цифровым изображениям.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов:</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— исследовать возможные приложения фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов;</li> <li>— разработать алгоритм оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия;</li> <li>— разработать алгоритм оценки качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям;</li> <li>— провести цикл экспериментальных работ по исследованию работоспособности алгоритмов.</li> </ul> |
| <b>Перечень графического материала</b>                                         | Презентация, выполненная в MS PowerPoint                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Раздел</b>                                                                  | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»              | Чистякова Наталья Олеговна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                                                                                 |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| «Социальная ответственность»                                                                    | Анищенко Юлия Владимировна |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>         |                            |
| 3 Оценка точности алгоритма измерения площади по цифровым оптическим изображениям               |                            |
| 3.1 Исходные данные для моделирования цифровых оптических изображений локальных неоднородностей |                            |
| 3.2 Алгоритм моделирования изображений                                                          |                            |
| 3.2.1 Формирование цифрового полутонового изображения                                           |                            |
| 3.2.2 Формирование цветного цифрового изображения                                               |                            |
| 3.3 Оценка точности измерения площади по цифровым оптическим изображениям                       |                            |
| 3.3.1 Полутоновые изображения                                                                   |                            |
| 3.3.2 Цветные изображения                                                                       |                            |

|                                                                                                 |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность                    | ФИО                    | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------------|------------------------|------------------------|---------|------|
| вед.научн.сотр.,<br>РКНЛ РКД | Осипов Сергей Павлович | К.Т.Н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 1БМ4А  | Алибекова Асел Айдынбеккызы |         |      |

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| Группа | ФИО                          |
|--------|------------------------------|
| 1БМ4А  | Алибековой Асел Айдынбеккызы |

| Институт            | ИНК          | Кафедра                   | ФМПК            |
|---------------------|--------------|---------------------------|-----------------|
| Уровень образования | магистратура | Направление/специальность | Приборостроение |

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

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

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | Проведение предпроектного анализа<br>Анализ конкурентных технических решений<br>Выполнение SWAT– анализа проекта<br>Оценка готовности проекта к коммерциализации                           |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований                                                                        | Определение целей, ожидаемых результатов и требований проекта<br>Организационная структура проекта<br>Ограничения и допущения проекта<br>Определение заинтересованных сторон и их ожиданий |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования        | Оценка экономической эффективности исследования                                                                                                                                            |

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

## Задание выдал консультант:

| Должность                       | ФИО                        | Ученая степень, звание      | Подпись | Дата |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|------|
| Заведующий кафедрой Менеджмента | Чистякова Наталья Олеговна | кандидат экономических наук |         |      |

## Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 1БМ4А  | Алибекова Асел Айдынбеккызы |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|        |                              |
|--------|------------------------------|
| Группа | ФИО                          |
| 1БМ4А  | Алибековой Асел Айдынбеккызы |

|                     |              |                           |                 |
|---------------------|--------------|---------------------------|-----------------|
| Институт            | ИНК          | Кафедра                   | ФМПК            |
| Уровень образования | магистратура | Направление/специальность | Приборостроение |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения                                                                                                                                                                            | <i>Алгоритмы обработки информации в методах оценки качества строительных материалов и изделий по их цифровым изображениям.</i>                                                                                                                                                                                                                        |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>1. Производственная безопасность</b><br>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности<br><br>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности | <i>При проведении разработки методов возможности возникли вредные факторы:</i><br>- недостаточная освещенность;<br>- неблагоприятные условия микроклимат;<br>- повышенный уровень шума;<br>- повышенная концентрация вредных веществ в воздухе;<br>- повышенные уровни электромагнитных полей.<br><br><i>Опасных факторов</i><br>- электрический ток; |
| <b>2. Экологическая безопасность</b>                                                                                                                                                                                                                                                                      | <i>Проводимые исследования и расчеты являются экологически безопасными.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>                                                                                                                                                                                                                                                          | <i>Возможные ЧС:<br/>Техногенного характера</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>                                                                                                                                                                                                                                    | - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;<br>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.                                                                                                                                                |

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

**Задание выдал консультант:**

|                |                            |                        |         |      |
|----------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Должность      | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент кафедры | Анищенко Юлия Владимировна | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

|        |                             |         |      |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
| 1БМ4А  | Алибекова Асел Айдынбеккызы |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 146 с., 21 рис., 38 табл., 61 источников, 1 прил.

Ключевые слова: строительные материалы и изделий, полутоновые и цветные изображения, фотографический метод, алгоритм оценки качества, площадь оптической неоднородности, линейные размеры, пористость, оценка точности, декоративные строительные материалы.

Объектом исследования являются: алгоритмы обработки информации в методах оценки качества строительных материалов и изделий по их цифровым изображениям.

Цель работы – исследовать возможные приложения фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов и разработать ряд алгоритмов обработки цифровых изображений строительных материалов и изделий с целью оценки их качества.

В процессе исследования проводились:

- исследование возможных приложений фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов;
- разработка алгоритма оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия;
- разработка алгоритма оценки качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям;
- проведение цикла экспериментальных работ по исследованию работоспособности алгоритмов.

В результате исследования: результаты выполненных исследований реализованы в алгоритмах обработки цветных фотографических изображений, позволяющих оценить характеристики неоднородностей объектов контроля по цифровым цветным оптическим изображениям.

Область применения: в строительной индустрии

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                    | 14 |
| 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР И ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ.                                                           | 17 |
| 1.1 Общие сведения.....                                                                                          | 17 |
| 1.2 Измерение площадей оптических неоднородностей .....                                                          | 18 |
| 1.3 Оценка качества строительных сооружений по фотографическим<br>изображениям .....                             | 21 |
| 1.4 Оптические методы измерения пористости .....                                                                 | 26 |
| 2 СПОСОБ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ОПТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА<br>ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....                 | 30 |
| 2.1 Геометрическая схема формирования цифрового изображения .....                                                | 31 |
| 2.2 Оценка возможности измерения площади оптической неоднородности по<br>цифровому оптическому изображению ..... | 34 |
| 2.3 Алгоритмы обработки цифровых изображений .....                                                               | 37 |
| 2.4 Модифицированный алгоритм оценки площади локальных оптических<br>неоднородностей .....                       | 39 |
| 3 ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОЩАДИ ПО<br>ЦИФРОВЫМ ОПТИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ.....                        | 41 |
| 3.1 Исходные данные для моделирования цифровых оптических изображений<br>локальных неоднородностей.....          | 41 |
| 3.2 Алгоритм моделирования изображений.....                                                                      | 43 |
| 3.2.1 Формирование цифрового полутонового изображения .....                                                      | 43 |
| 3.2.2 Формирование цветного цифрового изображения.....                                                           | 49 |
| 3.3 Оценка точности измерения площади по цифровым оптическим<br>изображениям .....                               | 53 |
| 3.3.1 Полутоновые изображения .....                                                                              | 53 |
| 3.3.2 Цветные изображения .....                                                                                  | 56 |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4 АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ОДНОРОДНОСТИ МНОГОЦВЕТНЫХ<br>ДЕКОРАТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ПО<br>ЦВЕТНЫМ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯМ..... | 61 |
| 4.1 Общие сведения .....                                                                                                                  | 61 |
| 4.2 Алгоритм обработки изображений .....                                                                                                  | 61 |
| 4.2.1 Информативные параметры.....                                                                                                        | 61 |
| 4.2.2 Алгоритм оценки степени однородности изображений .....                                                                              | 63 |
| 4.3 Обработка экспериментальных данных .....                                                                                              | 65 |
| 4.3.1 Полутонные изображения .....                                                                                                        | 65 |
| 4.3.2 Цветные изображения .....                                                                                                           | 70 |
| 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....                                                                 | 74 |
| 5.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....                                                                              | 74 |
| 5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции<br>ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....                                   | 75 |
| 5.3 SWOT–анализ.....                                                                                                                      | 77 |
| 5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....                                                                                     | 79 |
| 5.5 Инициация проекта .....                                                                                                               | 80 |
| 5.5.1 Цели и результат проекта.....                                                                                                       | 80 |
| 5.5.2 Организационная структура проекта.....                                                                                              | 82 |
| 5.6 Планирование управления научно–техническим проектом.....                                                                              | 82 |
| 5.6.1 Иерархическая структура работ проекта.....                                                                                          | 82 |
| 5.6.2 Матрица ответственности .....                                                                                                       | 83 |
| Разработка и согласование технического задания.....                                                                                       | 83 |
| Изучение литературы.....                                                                                                                  | 83 |
| Изучение имеющихся технологий изготовления и исследования .....                                                                           | 84 |
| Проведение патентного .....                                                                                                               | 84 |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| поиска и оформление его результатов .....                                                                                            | 84 |
| Обзор НТД .....                                                                                                                      | 84 |
| Разработка и исследование фотографических изображений строительных материалов и изделий .....                                        | 84 |
| Исследование алгоритма оценки качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям ..... | 84 |
| Исследование цикл экспериментальных работ по исследованию работоспособности алгоритмов .....                                         | 84 |
| Исследование алгоритма оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия .....                                         | 84 |
| Написание статей и отчетов .....                                                                                                     | 84 |
| Оформление отчета .....                                                                                                              | 84 |
| 5.6.3 Контрольные события проекта .....                                                                                              | 85 |
| 5.6.4 Реестр рисков проекта .....                                                                                                    | 85 |
| 5.6.5 План проекта .....                                                                                                             | 86 |
| 5.7 Бюджет научного исследования .....                                                                                               | 91 |
| 5.7.1 Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты .....                                                      | 91 |
| 5.7.2 Расчет затрат на электроэнергию .....                                                                                          | 92 |
| 5.7.3 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....                                                              | 93 |
| 5.7.4 Расчет основной заработной платы .....                                                                                         | 94 |
| 5.7.5 Расчет дополнительной заработной платы .....                                                                                   | 96 |
| 5.7.6 Расчет отчислений на социальные нужды .....                                                                                    | 96 |
| 5.7.7 Расчет накладных расходов .....                                                                                                | 97 |
| 5.7.8 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями .....                                                       | 98 |
| 5.7.9 Оценка экономической выгоды проекта .....                                                                                      | 98 |

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....                                    | 100 |
| 6.1 Производственная безопасность .....                               | 101 |
| 6.2 Анализ вредных и опасных факторов .....                           | 101 |
| 6.2.1 Повышенный уровень шума .....                                   | 101 |
| 6.2.2 Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе .....         | 103 |
| 6.2.3 Отклонение параметров микроклимата .....                        | 103 |
| 6.2.4 Недостатки освещения на рабочем месте .....                     | 105 |
| 6.2.5 Повышенные уровни электромагнитных полей .....                  | 106 |
| 6.2.6 Электрический ток .....                                         | 107 |
| 6.2.7 Статическое электричество .....                                 | 110 |
| 6.3 Экологическая безопасность .....                                  | 111 |
| 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....                       | 112 |
| 6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..... | 114 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                      | 117 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                                | 120 |

## ВВЕДЕНИЕ

Оптические методы неразрушающих испытаний в различных их реализациях в настоящее время продолжают оставаться самыми востребованными. Визуальные и визуально–измерительные методы обладают рядом достоинств, среди которых важнейшими является простота и минимальные материальные затраты. К числу важнейших недостатков указанных реализаций оптических методов следует отнести существенное влияние субъективного фактора и взаимосвязанные с этим сложности в механизации и практическая невозможность автоматизации процессов неразрушающих испытаний, особенно в части представления и обработки результатов испытаний. Ситуация начала кардинально изменяться в последние десятилетия, что обусловлено настоящей революцией в детектировании оптических полей. Упомянутая революция привела к появлению цифровых фото – и видео–регистраторов, отличающихся высокой производительностью, высокой контрастной чувствительностью в различных диапазонах оптического излучения, высоким разрешением, возможностью хранения и передачи фото – и видеоинформации в компьютерные системы, возможностью применения современных алгоритмов обработки цифровой информации для оценки разнообразных параметров объектов неразрушающих испытаний.

Существует ряд задач, связанных с оценкой качества строительных материалов и изделий как в процессе их производства, так и на стадии их длительной эксплуатации, которые решаются или предположительно могут быть решены оптическими методами на основе анализа цифровых изображений. Исследования по применению фотографических методов в строительной индустрии и производстве строительных материалов остаются **актуальными**, что обусловлено все повышающимися потребительскими требованиями к надежности, безопасности и качеству строительных материалов, изделий и сооружений. Указанный вывод подтверждается анализом литературных источников.

***Предмет диссертационных исследований*** – строительные материалы и изделия.

***Объект исследований*** – алгоритмы обработки информации в методах оценки качества строительных материалов и изделий по их цифровым изображениям.

***Цель работы*** – исследовать возможные приложения фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов и разработать ряд алгоритмов обработки цифровых изображений строительных материалов и изделий с целью оценки их качества.

Для реализации указанной цели работы решаются следующие **основные задачи:**

- исследовать возможные приложения фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов;
- разработать алгоритм оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия;
- разработать алгоритм оценки качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям;
- провести цикл экспериментальных работ по исследованию работоспособности алгоритмов.

***Методы исследования.*** Для решения поставленных задач использовались методы математического и имитационного моделирования, планирования научных экспериментов, статистической обработки результатов экспериментальных исследований.

***Научная новизна:***

- разработан алгоритм оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия;
- разработан алгоритм оценки качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям;
- экспериментально оценены погрешности алгоритмов.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что полученные в результате диссертационных исследований алгоритмы обработки информации и рекомендации позволяют повысить точность оценки линейных и площадных размеров, а также качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям

**Реализация результатов работы.** Результаты выполненных исследований реализованы в алгоритмах обработки цветных фотографических изображений, позволяющих оценить характеристики неоднородностей объектов контроля по цифровым цветным оптическим изображениям.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы обсуждались на XIX Всероссийской научно–практической конференции «Качество – стратегия XXI века» (Томск 2014). А также на VI–й Всероссийской научно–технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Неразрушающий контроль 2016: электронное приборостроение, технологии, безопасность», которая проходила на базе Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 3 печатных работах, из них 1 статья опубликована в журнале, входящем в перечень ВАК.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- алгоритм оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия;
- алгоритм оценки качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям;
- методика для оценки погрешности измерения площади оптической неоднородности на поверхности изделия.

# **1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР И ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ**

## **1.1 Общие сведения**

Оптические методы неразрушающих испытаний различных материалов, изделий, конструкций и сооружений продолжают широко применяться в различных отраслях науки и промышленности, строительной индустрии [1–3]. Особую значимость оптические методы приобретают в случае комплексного применения с другими методами неразрушающих испытаний [4, 5].

Оптические методы неразрушающих испытаний включают в себя совокупность различных способов, связанных с оценкой параметров объектов испытаний и их структурных фрагментов, на основе анализа возмущения, вносимого в поле излучения оптического диапазона испытуемым объектом [6, 7]. Оптические методы позволяют решить ряд задач дефектоскопии и измерения дефектов. Здесь термин дефект понимается в максимально широком смысле, как каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям [8, 9]. Такое емкое понятие в совокупности со значительным количеством закономерностей взаимодействия оптического излучения с материалами и изделиями [10–12] и определяют широкий спектр задач, которые решаются с помощью различных реализаций оптических методов неразрушающих испытаний применительно к контролю разнообразных объектов природной среды, веществ, материалов и изделий.

Выделяют несколько классов объектов, которые специфичны для оптических методов неразрушающих испытаний. Среди этих классов следует отметить: источники излучения оптического диапазона; оптические приборы; прозрачные материалы и изделия; полупрозрачные материалы и изделия; светоотражающие материалы и изделия. Для строительства и индустрии строительных материалов основными объектами контроля являются светоотражающие материалы и различные объекты из них.

Следует отметить, что результаты практически всех методов неразрушающих испытаний можно рассматривать как объект оптического контроля, так как на выходе указанных методов анализируется некоторое оптическое изображение с целью выявления, классификации и оценки размеров дефектов. Классическим примером таких объектов являются изображение поверхности, подвергнутой капиллярной дефектоскопии [13, 14], после проявления следов дефектов.

Фотография широко применяется как метод прямого документирования результатов различных методов неразрушающих испытаний. Особенно бурный рост приложений [15–18] наблюдается в последнее время в связи с поистине революционным развитием полутоновой и цифровой фотографии. Фоторегистраторы становятся все более качественными, улучшается их чувствительность, цветопередача, цветовой контраст, разрешение, удобство формирования и хранения изображений.

В строительстве с помощью цифровой фотографии обнаруживают различного рода дефекты и технологические структурные фрагменты строительных материалов, строительных сооружений и конструкций, измеряют их характеристики.

Во введении выделены две основные задачи. Первой задачей является оценка площадей оптических неоднородностей на поверхности объекта контроля по цифровому фотографическому изображению. Вторая задача – оценка качества степени однородности по полутону или цвету декоративных строительных материалов. Ниже приведем краткий обзор литературы, связанный с этими задачами.

## **1.2 Измерение площадей оптических неоднородностей**

Под оптической неоднородностью будем понимать фрагмент объекта контроля изображение, которого отличается по оптическим свойствам от изображения окружающей его области. При идеальном оптическом

регистраторе площадь проекции оптической неоднородности на площадь, параллельную поверхности фотоприемник, пропорциональна площади изображения оптической неоднородности. На рисунке 1.1 приведена геометрическая схема, иллюстрирующая введенное понятие.

В работе [19] предложен новый бесконтактный метод измерения объема круглых лесоматериалов без учета коры, базирующийся на вычислении площадей торцов хлыстов без коры по цветным оптическим снимкам. Спил без коры, в рассматриваемом случае, является классическим примером оптической неоднородности на фоне коры. В статье проанализированы различные методы подсчета площади, например, с предварительным подсчетом контуров бревна с корой и без коры. В работе отмечены различия в цветовых координатах системы RGB коры и древесины, но этот факт не в полной мере использован для разработки высокоточного алгоритма оценки площади спила без коры.

В статье [20], также посвященной измерению объема древесины, подчеркивается, что способ, основанный на анализе оптических изображений, наименее требователен к количеству и сложности оборудования.

Измерение периметра и площади листа различных видов деревьев является важным для дендрологии и экологии [21]. Способ оценки площади основан на обработке изображения листа на подстилающем фоне, причем на зеленый лист накладывается палетка для картографических измерений. Способ не отличается высокой точностью.

В работе [22] приведены результаты микроморфометрического анализа клеток листовой пластинки элодеи с измерением площади клеток верхней и нижней поверхности листовой пластинки по цифровым микрофотографиям.

Применению оптических методов в строительной индустрии посвящена работа [23]. В работе подчеркнуто, что метод фотографической фиксации дефектов позволяет представлять изображение дефектов в цифровом виде, отслеживать динамику их развития во времени и пространстве с последующей компьютерной обработкой полученных результатов. Цифровое изображение зафиксированного дефекта может быть многократно преобразовано,

подвергнуто масштабированию и выведено на печать. Используя накопленную систему в виде графиков, таблиц и цветных фотографических изображений, можно получить реальную и наглядную картину видимых изменений дефектов в конструкциях в процессе длительной эксплуатации зданий.

Оптические неоднородности не исчерпываются примерами из живой природы, промышленности и строительства. К примерам более глобального размера можно отнести измерение крупномасштабных объектов на земной поверхности по аэрокосмическим снимкам [24]. К таким объектам относятся ледники в горах, как правило, отлично контрастирующие с окружающей средой. Работа посвящена печально известному леднику Калка. Особый оттенок работе придает то обстоятельство, что изменения в леднике были зафиксированы спутником–сканером, но снимки не были своевременно обработаны, и люди не были своевременно предупреждены.

В работах [25, 26] по измерениям площади изображения, организованного специальным образом контрастного оптического маяка, предложен способ оценки расстояния между лифтом и пунктом фотонаблюдения. Способ отличается высокой точностью измерения расстояния до 7 м, что достаточно для организации экстренного торможения лифта в случае нештатной или аварийной ситуации.

Из сказанного в пункте 1.2 следует, что разработка высокоточных методов оценки площадей оптических неоднородностей остается важнейшей и актуальной задачей в различных областях науки, промышленности, транспортного и жилищного строительства. Естественно, что создание таких методов должно подкрепляться метрологическими исследованиями, математическим моделированием и натурными экспериментами.

### **1.3 Оценка качества строительных сооружений по фотографическим изображениям**

Эффективность контроля качества труднодоступных наружных стен и покрытий зданий можно применением цветотекстурного анализа фотоснимков, полученных при освидетельствовании скрытых работ и конструкций с послойной их фотографической фиксацией. В ходе данного исследования его осуществлялась фотосъемка поверхностей наружных стен и покрытий, выполненных из наиболее распространенных материалов с применением разнообразных технологий, при различном угле наклона оптической оси фотокамеры для получения плановых и перспективных снимков. Все известные методы анализа цифровых фотоснимков основаны на оценке параметров и количественного состава пикселей, из которых формируется фотографическое изображение. Для определения структуры цвета пикселей, выбрана система RGB, в цветовом координатном пространстве которой любой цвет получается как сумма (смешение) красного, зеленого и синего цветов [27]. Поскольку объем полезной информации зависит от пространственного разрешения фотоснимков, наибольшую ценность представляют изображения с разрешением менее 0,001м ее поверхности, приходящейся на 1 пиксель изображения.

В качестве примера на рисунке 1.1 приведен график относительного изменения структуры цвета фотографического изображения фрагмента стяжки из цементного раствора [28] в первые часы после его приготовления и использования, а в работе дано объяснение такой нестабильности цвета.

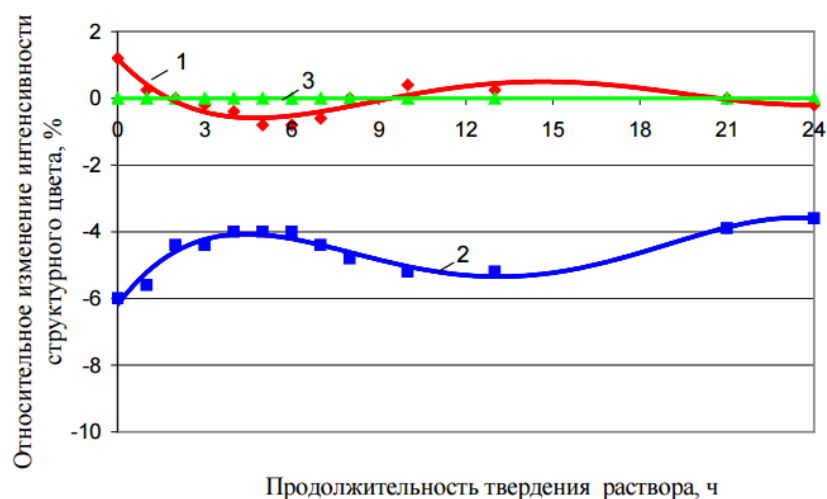


Рисунок 1.1 – Характер изменения интенсивности красного (1) и синего (2) цветов относительно зеленого (3) на фотографическом изображении поверхности стяжки в первые часы твердения цементного раствора просматриваются на изображении [29]

В результате исследования возможности применения цветотекстурного анализа фотоснимков наружных стен, а также на основе метод проверки качества этих конструкций. Текстурный анализ изображения заключается в его делении (сегментации) на составные элементы, заметно отличающиеся друг от друга по яркости, цвету или микротекстуре, границы между которыми более или менее отчетливо видно.

Минимальной единицей текстуры является тексел (от английского словосочетания «texture element»), поэтому текстура представляет собой массив таких текселов. В качестве примера, иллюстрирующего возможности сегментации и фильтрации фотографического изображения, на рисунке 1.2, а представлен снимок наружной поверхности стены из лицевого керамического кирпича нормального формата по ГОСТ 530–2007 [28] на цементном растворе, а на рисунке 1.2, б возможный результат компьютерной сегментации текстуры этого изображения (на отдельные кирпичи и растворные швы). На рисунке 1.3 приведена гистограмма этого изображения, построенная с помощью компьютерной программы Image–Pro Premier 9.0. Данная гистограмма свидетельствует о наличии бимодальной текстуры, характерной для каменной кладки. Элементами такой текстуры на снимках являются изображения

кирпичей и растворных швов между ними. Возможности автоматического распознавания тычковых и ложковых рядов в кладке по линейным профилям ее фотографического изображения, а также представлен снимок наружной поверхности стены из лицевого керамического кирпича нормального формата по ГОСТ 530–20075 на цементном растворе.

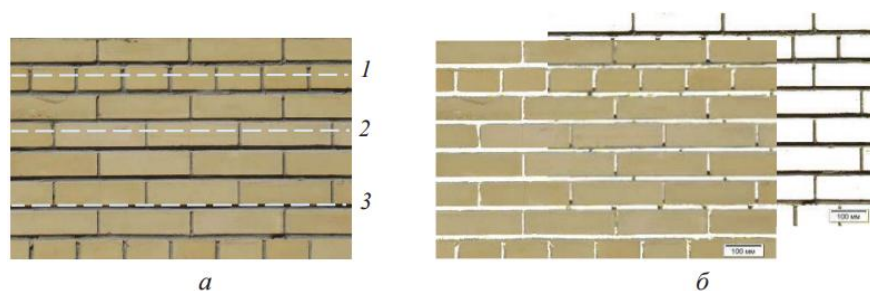
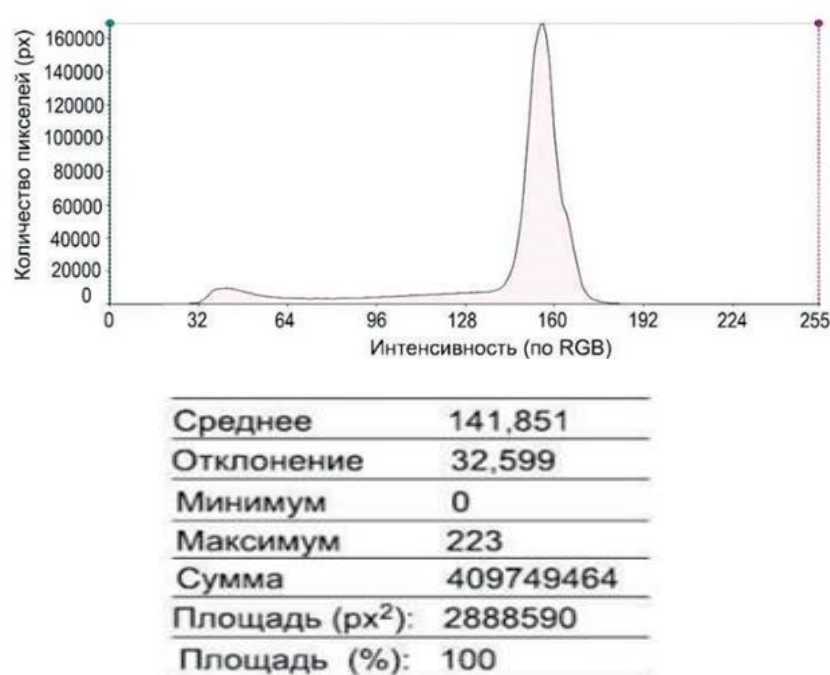


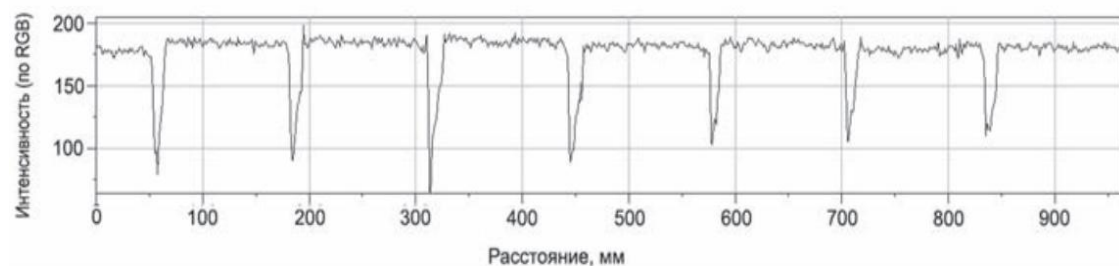
Рисунок 1.2 – Текстура фотографического изображения поверхности кирпичной стены до его сегментации (а) и после сегментации (б): 1, 2 и 3 – профильные горизонтальные линии [29]

На рисунке 1.3 приведена распределение количества пикселей по интенсивности RGB, построенная с помощью компьютерной программы Image–Pro Premier 9.0. Формой своего графа данная гистограмма свидетельствует о наличии бимодальной текстуры, характерной для каменной кладки.

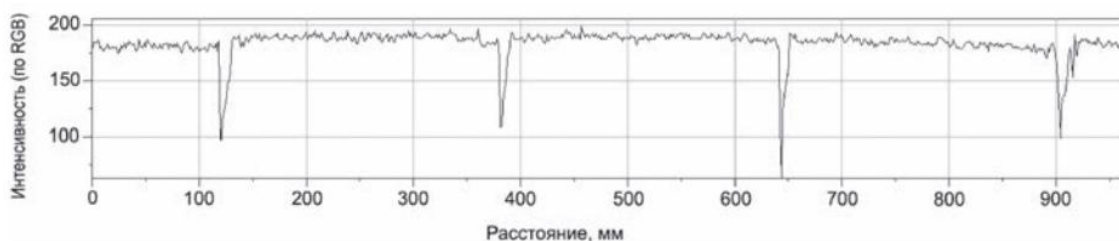


Рисунке 1.3 – Гистограмма фотографического изображения кирпичной кладки [29]

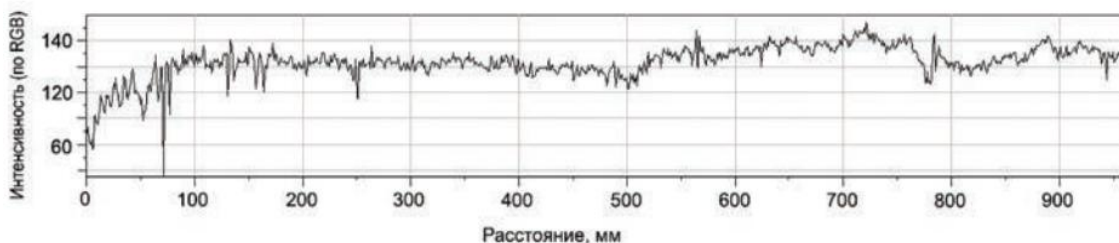
Возможности автоматического распознавания тычковых и ложковых рядов в кладке по линейным профилям ее фотографического изображения, а также определения целостности кирпичей в рядах, толщины и глубины заполнения раствором вертикальных швов проиллюстрированы на рисунке 1.4, где построенные с помощью компьютерной программы Olympus Stream Motion 1.8 профили *а*, *б* и *в* соответствуют линиям 1, 2 и 3 на рисунке 1.2, *а*. На профилях *а* и *б* ширина и высота каждого зубца соответствуют толщине и глубине заполнения растворного шва, а интервал между зубцами – размеру кирпича. Отрицательные (т.е. направленные вниз) зубцы характерны для фотографического изображения кладки на цементном растворе, а положительные (направленные вверх) – на известковом или гипсовом растворе.



*а*



*б*



*в*

Рисунок 1.4 – Характерные профили фотографического изображения поверхности кирпичной стены вдоль тычкового (*а*) ложкового (*б*) рядов кладки, а также растворного шва (*в*) [29]

Экспериментальным путем доказана возможность применения цветотекстурного анализа фотоснимков при контроле качества уплотнения насыпной теплоизоляции (по изменяющейся при уплотнении форме профиля ее фотографического изображения), а также зернового состава материала теплоизоляционных и дренирующих слоев покрытий (с помощью сегментации изображения). Определен рациональный состав и разработаны алгоритмы выполнения процедур контроля качества наружных стен на основе цветотекстурного анализа фотоснимков. Один из этих алгоритмов, объединяющих все процедуры, представлен в виде блок–схемы на рисунке 1.5.

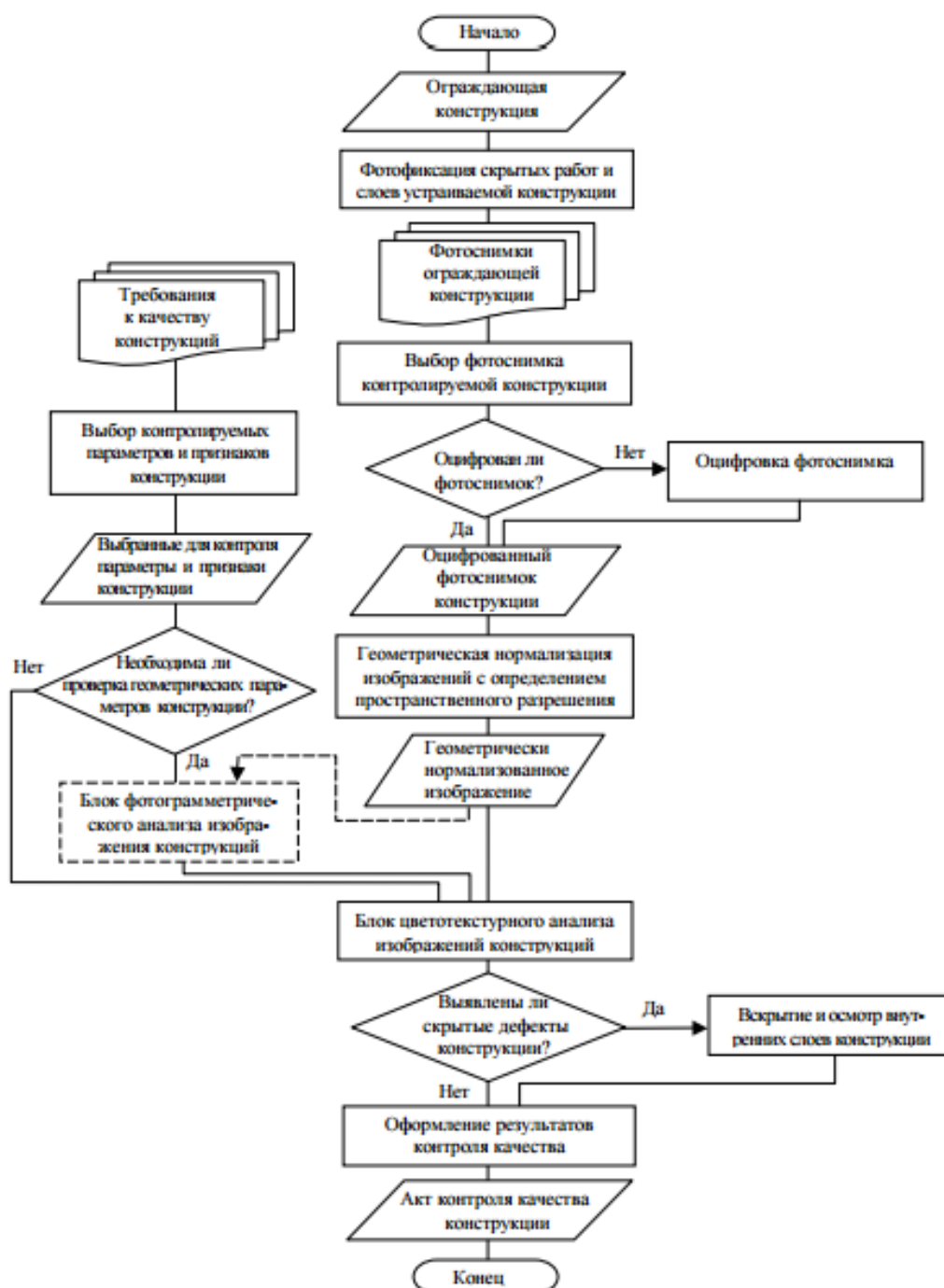


Рисунок 1.5 – Блок–схема с алгоритмом процесса контроля качества наружных стен и покрытий зданий на основе цветотекстурного анализа фотоснимков [29]

#### 1.4 Оптические методы измерение пористости

Пористая структура характеризуется несколькими основными параметрами достаточными для её исследования: пористостью и удельным суммарным объёмом пор, удельной поверхностью пористой системы, характерными размерами и распределением по размерам пор. Параметры для

исследования пористой структуры материалов составляют комплекс пространственных (геометрических) физических и математических величин, которые определяются с помощью современных средств измерений и вычислительной техники (рисунок 1.6). Характеристика пористой структуры (совокупная характеристика размеров и количества пор в теле), равная отношению свободного объёма  $V_C$  не заполненного элементарными структурными частицами к общему объёму  $V$  тела, называемая пористостью  $\Pi$  [30-32]:

$$\Pi = \frac{V_C}{V} = 1 - \frac{V_T}{V} = 1 - T \quad (1.1)$$

где  $V_T$  – объём твёрдого скелета или матрицы;

$T$  – доля объёма тела, занятая компактной или твёрдой частью.

Объём пор в общем случае складывается из объёмов открытых, тупиковых и закрытых пор и соответственно пористость складывается из открытой  $\Pi_O$ , тупиковой  $\Pi_T$  и закрытой  $\Pi_Z$  пористости. Термин пористость иногда определяется как отношение объёма открытых пор к общему объёму пористого твёрдого тела [30]. Согласно правилу обращения пористых систем, характеристики  $\Pi$  и  $T$  пористой структуры всегда положительные, безразмерные и дополняют друг друга до единицы:

$$\Pi + T = 1 \quad (1.2)$$

Относительная пористость структуры характеризуется показателем, обозначаемым  $\xi$ , определяемым как отношение пористости к доле объёма тела, занятая компактной или твёрдой частью

$$\xi = \frac{\Pi}{O} \quad (1.3)$$

Значение относительной пористости изменяется от 0 до  $\infty$  при изменении пористости от 0 до 1 [30-32]. Пористые среды, у которых  $\xi \leq 1$  и  $\Pi \leq 0,5$  считаются малопористым, а при  $\xi \geq 1$  и  $\Pi \geq 0,5$  считаются высокопористыми.



Рисунок – 1.6 Классификация параметров пористой структуры

Верхняя граница пористости  $\Pi \approx 0,7...0,9$  ограничивается пределом сохранения устойчивой связности структурных элементов по всему объёму твёрдой части, выше которой наступает её разрушение. Нижняя граница увязывается с возможностью экспериментального определения пор как дефектов структуры, с вкладом пористости в изменение свойств пористого тела.

Методами изменения яркости и контрастности меняются яркостные характеристики изображения, что отражается на гистограмме яркости по изображению. Фильтрами выравнивания яркости и цвета устраняются последствия дефектов осветительной системы или оптики микроскопа, проявляющихся в неравномерности фона изображения. Фильтры сглаживания обеспечивают очистку изображений от шумов. Фильтрами детализации осуществляются пограничные преобразования, приводящие, например, к усилению резкости, выделению границ объектов (фаз), детализации объектов.

После того, как измерения проведены, возможна статистическая обработка результатов анализа, а также, при необходимости, классификация объектов по любому из измеренных признаков или комплексу признаков.

Таким образом, пористая структура материала образуется сложной для классификации и математического описания параметров системой элементарных структурных частиц материала и разделяющих их дискретных полостей, называемых порами, отличающихся разнообразными формой, размерами, расположением, связями между собой. Систематизация пористых

структур по элементному, химическому составу и строению твёрдых структурных частиц, по происхождению пор не завершились созданием единой классификации, но выявила в качестве основы классификации отличия в механизме образования и структуре пористых сред.[33]

## **2 СПОСОБ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ОПТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Текст раздела написан по материалам работы [34]. Традиционная фотография широко применяется для фиксации событий и прямого документирования не только в быту, но и в науке и технике. Появление в конце 20-го века и бурное развитие цифровой цветной фотографии в последнее десятилетие превратило цифровой фотоаппарат (фоторегистратор) в средство для косвенных измерений. Одним из достоинств цифровых оптических изображений является возможность применения методов цифровой обработки полутоновых и цветных изображений с целью выделения и анализа фрагментов, очерчивания границ и т.д. [35–39]. Одним из таких видов измерений является измерение площади оптических неоднородностей. Под оптической неоднородностью на плоскости (поверхности) будем понимать некоторую фигуру, ограниченную замкнутой кривой, для которой характерна однородность по тону (полутоновое изображение) или цвету (цветное изображение) и различие с окружающей областью по указанным параметрам. Задачи, связанные с измерением площадей оптических неоднородностей, характерны для многих отраслей науки и техники. К таким задачам относятся: собственно измерение площадей фрагментов оптических изображений [40]; измерение параметров движения разнообразных объектов [37, 38]; измерение площадей объектов малых размеров [41]; дистанционная оценка площадей полей и других сельскохозяйственных угодий [42]; площади следов дефектов в капиллярной дефектоскопии [43]. Имеется ряд работ, в которых оцениваются погрешности измерения площади географических объектов (водохранилищ, озер, болот, котлованов и т.п.) по данным аэрофотосъемки и космической съёмки [44, 45]. В работах [39, 46, 47] подчеркнута значимость применения цифровых фотографических методов для оценки качества работ в промышленном, транспортном и гражданском строительстве и оценки

технического состояния строительных конструкций и сооружений в процессе их длительной эксплуатации. В литературе недостаточно полно рассмотрены вопросы, связанные с измерением площадей оптических неоднородностей на основе анализа полутоновых и цветных цифровых изображений в части алгоритмического и метрологического обеспечения.

## **2.1 Геометрическая схема формирования цифрового изображения**

Измерительная система должна состоять из цифровой фотокамеры, устройства фиксации геометрического положения, источника света, стандартного образца (образцов) площади и вспомогательной контрастирующей площадки. Стандартные образцы должны иметь правильную геометрическую форму – круг, треугольник, прямоугольник. Стандартные образцы площади используются в парах со вспомогательными контрастирующими площадками. При анализе полутоновых изображений стандартный образец площади окрашен, например, в белый цвет, а вспомогательная площадка в чёрный.

При анализе цветных изображений между цветами стандартного образца и вспомогательной площадки должен быть максимальный цветовой контраст. Обязательным требованием к форме вспомогательной контрастирующей является условие – минимальная ширина изображения граничной полосы, образующейся при накладывании стандартного образца площади на вспомогательную контрастирующую площадку, должна быть не менее  $l$  пикселей, где  $l$  – выбираемый параметр. Далее комплект стандартный образец площади и вспомогательная контрастирующая площадка будем называть образцом. Для получения качественного изображения объект испытаний должен подсвечиваться источником светового излучения, обеспечивающим максимальный контраст оптической неоднородности относительно окружающего фона. Для обеспечения качественной калибровки образец накладывается непосредственно на объект испытаний.

При невозможности накладывания на объект формируется отдельное

фотоизображение образца на произвольной плоской площадке (имитационный объект) с такой же ориентацией её относительно фоторегистратора, как и в случае формирования изображения объекта. Аналогичные требования выдвигаются и к расстоянию от фоторегистратора до имитационного объекта.

На рисунке 2.1. приведена геометрическая схема формирования цифрового фотографического изображения объекта испытаний с оптической неоднородностью: 1 – объект испытаний; 2 – локальная оптическая неоднородность, 3 – стандартный образец (образцы) площади; 4 – вспомогательная контрастирующая площадка; 5 – источник света; 6 – цифровой цветной фоторегистратор; 7 – матрица фотодетекторов (собственно цифровое изображение).

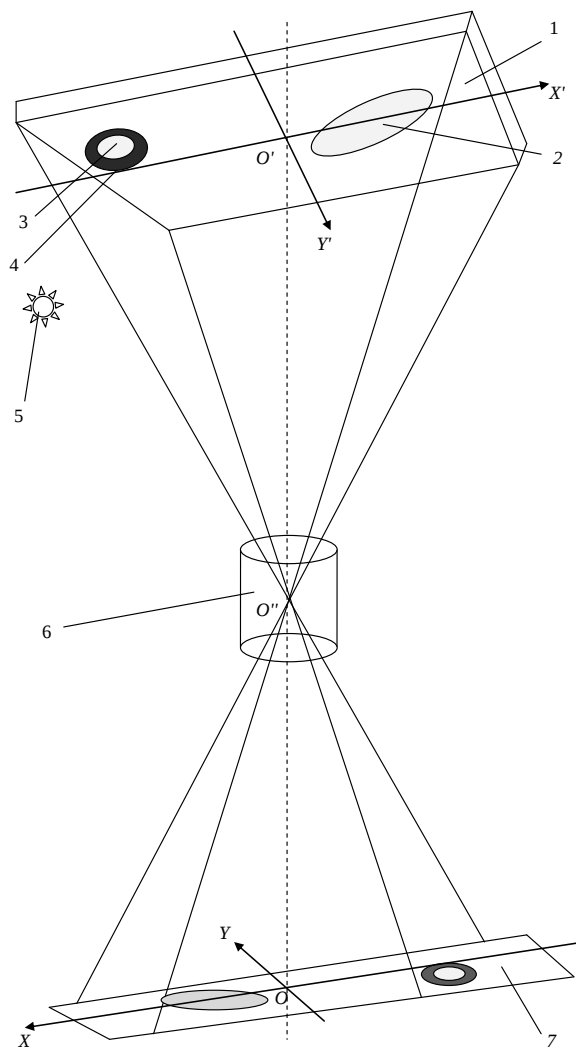


Рисунок 2.1 – Геометрическая схема формирования изображения оптической неоднородности и образца

Свяжем систему координат  $X'O'Y'$  с поверхностью объекта испытаний со стороны фоторегистратора, а систему координат  $XOY$  с плоскостью оптического изображения. Лобовая поверхность матрица фоторегистратора является плоской и ограничена прямоугольником. Оси  $x$  и  $y$  параллельны соответствующим сторонам указанного прямоугольника. Для удобства направим оси  $x'$  и  $x$  в противоположные стороны. Таким же образом поступим и с осями  $y'$  и  $y$ . Пусть отрезок  $OO'$  перпендикулярен поверхности объекта и плоскости изображения. Оптический центр  $O''$  фоторегистратора принадлежит  $OO'$ . Геометрическая схема формирования оптического изображения характеризуется рядом параметров: расстоянием от объекта испытаний до оптического центра объектива фоторегистратора –  $O'O''=F$ ; расстоянием от оптического центра объектива фоторегистратора до плоскости изображения –  $O''O=f$ ; размером поля изображения –  $A \times B$ ; размером фотоматрицы –  $a \times b$ . Следует также учесть диаметр стандартного образца площади –  $C$ , диаметр вспомогательной контрастирующей площадки –  $D$ ; размер изображения стандартного образца площади –  $c$ , размер изображения вспомогательной контрастирующей площадки –  $d$ .

Для идеальной изображающей системы геометрические параметры объекта испытаний  $A, B, C, D$  связаны с геометрическими параметрами изображения объекта  $a, b, c, d$  простейшими соотношениями

$$\frac{A}{a} = \frac{B}{b} = \frac{C}{c} = \frac{D}{d} = \frac{F}{f} \quad (2.1)$$

Назовём отношение  $f/F$  коэффициентом линейного преобразования  $k$ .

*Замечание 1.* Соотношения (2.1) справедливы для бесконечно малого размера точки изображения. В реальности каждый элемент матрицы фотодетекторов, соответствующий пикселю оптического изображения, имеет конечные линейные размеры  $r_x \times r_y$ .

## 2.2 Оценка возможности измерения площади оптической неоднородности по цифровому оптическому изображению

Для обоснования возможности оценки площади оптической неоднородности по цифровому полутоновому или цветному оптическому изображению необходимо проверить соблюдение двух базовых принципов – принципов физической и технической реализуемости.

**Физическая реализуемость.** Принцип физической реализуемости заключается в наличии одной или нескольких физических закономерностей, которые связывают измеряемую физическую величину с оцениваемым параметром объекта испытаний.

В рассматриваемой задаче измеряемой физической величиной является площадь изображения оптической локальной неоднородности  $s$ , а оцениваемым параметром объекта испытаний – площадь оптической локальной неоднородности на поверхности объекта  $S$ .

Пусть на поверхности объекта имеется оптическая неоднородность, представляющую собой некоторую односвязную область  $Q'$ , граница которой  $FrQ'$  описывается следующим образом

$$FrQ' = \{(x', y'), q(x', y') = 0\} \quad (2.2)$$

здесь  $q(x', y')$  – функция, к которой выдвигается единственное требование – непрерывность. Область  $Q'$  будем считать односвязной, если ее невозможно разделить на две и более подобласти, которые отличаются друг от друга оптическими характеристиками (полутонами, цветом).

Площадь оптической неоднородности  $Q' - S$  в общем виде находится с помощью выражения

$$S = \int_{Q'} q(x', y') dx' dy' \quad (2.3)$$

Не теряя общности можно допустить параллельность осей  $O'X'$ ,  $OX$  и  $O'Y'$ ,  $OY$ . Это допущение является естественным в том случае, если поле зрения

объектива фоторегистратора является частью поверхности испытуемого объекта испытаний.

Найдём площадь изображения оптической неоднородности  $s$ . Для этого необходимо связать точку с координатами  $(x',y')$ , принадлежащую поверхности объекта испытаний, с соответствующей точкой изображения с координатами  $(x,y)$ . С учётом замечания, связанного с направлениями осей систем координат  $X'O'Y'$  и  $XOY$ , получим

$$x = kx' \quad y = ky' \quad (2.4)$$

Из анализа равенств (2.4) и выражения (2.3) следует, что площадь изображения оптической неоднородности  $s$  находится по формуле

$$s = k^2 S \quad (2.5)$$

Формула (2.5) является искомой физической закономерностью. Задачей является определение коэффициента преобразования  $k$  и площади изображения оптической неоднородности на цифровом оптическом изображении. Коэффициент преобразования  $k$  находится на стадии калибровочных линейных измерений или измерений площади по стандартным образцам площади.

*Замечание 2.* Выражения (2.4) и (2.5) выведены для идеального оптического проецирования фрагмента объекта испытаний на плоскость оптического изображения. На практике имеются различного рода оптические искажения, но эти искажения устраняются с помощью специальной калибровки, основанной на фотографировании оптических эталонов (мир).

**Техническая реализуемость.** Принцип технической реализуемости заключается в наличии технических средств, позволяющих провести измерения с заданной точностью в заданное время. Применительно к рассматриваемой задаче проверка соблюдения принципа технической реализуемости сводится к оценке точности измерения  $s$ . В анализируемом случае к измерительным средствам относятся стандартный образец площади со вспомогательной контрастирующей площадкой, источник светового излучения и цифровой цветной или полутоновой фоторегистратор.

Для обоснования технической реализуемости фотографического метода

оценки площади необходимо подобрать размеры стандартного образца площади, вспомогательной контрастирующей площадки и фоторегистратор.

Выше подчёркнуто, что основная рекомендация по подбору размеров стандартного образца площади – размер сопоставим с максимально возможным размером оптической неоднородности. Размер вспомогательной контрастирующей площадки должен быть таким, что внешняя контрастная полоса должна быть шириной не менее  $l$  пикселей.

В матрице фоторегистратора формируется цифровое полутоновое или цветное изображение. Локальная оптическая неоднородность на изображении объекта испытаний отличается от фона полутоновым или цветным контрастом. Погрешность определения площади  $s$  обуславливается тремя главными факторами – геометрическим, шумовым и алгоритмическим.

Геометрический фактор связан с тем, что границы изображения неоднородности не совпадают с физическими границами пикселей. В результате этого яркость или цветность в граничных пикселях изображения локальной оптической неоднородности отличается от яркости или цветности внутренних пикселей изображения.

Шумовой фактор связан с флуктуациями яркости или цветности в элементах изображения оптической неоднородности. Указанный фактор имеет под собой квантовую природу. Влияние шумового фактора на точность определения площади  $s$  тем больше, чем меньше уровень яркости или цветности.

Алгоритмический фактор связан с алгоритмом обработки цифрового изображения видимой фоторегистратором части поверхности объекта испытаний. Алгоритм должен минимизировать систематическую погрешность оценки площади изображения оптической неоднородности, вызванной геометрическим и шумовым фактором.

## 2.3 Алгоритмы обработки цифровых изображений

На выходе алгоритма должна быть получена оценка площади изображения оптической неоднородности  $s$ . Изображение на выходе фоторегистратора представляет собой матрицу с размерами –  $M \times N$ ,  $M < N$ , здесь  $M$  – число строк, а  $N$  – число столбцов. Индекс  $m$  соответствует строке изображения, а индекс  $n$  – столбцу. Элемент матрицы характеризуется вектором  $\mathbf{p}$ , для полутонового изображения одномерным вектором – яркостью  $f$ , то есть  $\mathbf{p}=f$ , а для цветного изображения трёхмерным вектором, например, в системе цветовых координат RGB –  $(r,g,b)$ , то есть  $\mathbf{p}=(r,g,b)$ . Значения параметров  $f, r, g, b$  принимают значения из интервала от 0 до 255 – полутона, «0» соответствует самому тёмному тону цвета, «255» соответствует чистому цвету. Выше сказано, что оптическая неоднородность отличается по оттенку серого (оттенку цвета – полутону) от окружающего фона. Это и является критерием отнесения исследуемой точки к оптической неоднородности. Подбором источника светового излучения и способа подсветки достигается максимальный контраст (цветовой контраст).

Для иллюстрации на рисунке 2.2 приведена традиционная цветовая диаграмма, подчеркивающая аддитивное смешивание основных цветов.

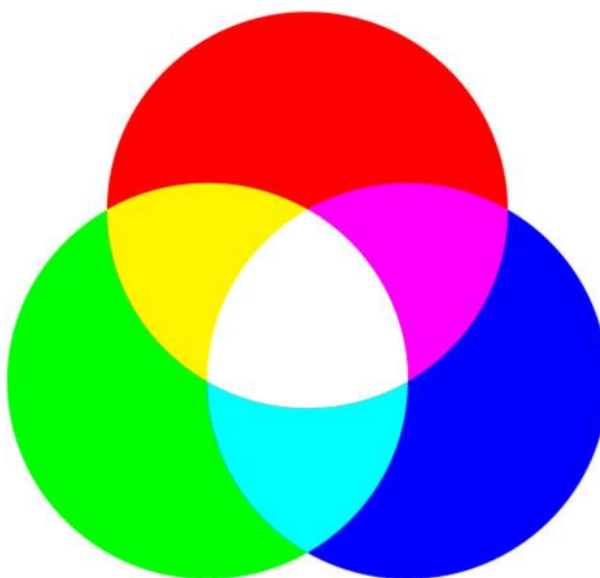


Рисунок 2.2 – Аддитивное смешивание цветов в системе RGB

Аналогично подходу, изложенному в [38, 48], в первом приближении оценка площади  $s$  находится по формуле

$$s \approx s_{\text{pix}} \sum_{(m,n) \in A} 1 \quad (2.6)$$

где  $s_{\text{pix}} = r_x \times r_y$  – площадь единичного пикселя в метрических единицах; множество точек  $A$  определяется соотношением

$$A = \{(m, n); \mathbf{K}(\mathbf{p}_{mn}, \mathbf{p}_f) > \mathbf{K}_{\text{lim}}\} \quad (2.7)$$

где  $\mathbf{p}_{mn}$  – вектор значений, соответствующий элементу матрицы с координатами  $(m, n)$ ;

$\mathbf{p}_f$  – вектор значений для фона;

$\mathbf{K}(\mathbf{p}_{mn}, \mathbf{p}_f)$  – числовой положительный вектор функция для формализации критерия отнесения исследуемой точки к оптической неоднородности;

$\mathbf{K}_{\text{lim}}$  – вектор предельных значений для критерия. понимается сравнение их координат.

Наиболее просто критерий отнесения исследуемой точки к оптической неоднородности формализуется для полутоновых изображений

$$\mathbf{K}(\mathbf{p}_{mn}, \mathbf{p}_f) > \mathbf{K}_{\text{lim}} \cong |f_{mn} - f_f| > \mathbf{K}_{\text{lim}} = \Delta f \quad (2.8)$$

здесь  $\Delta f$  – число градаций серого для отличия яркости оптической неоднородности и яркости фона  $f_f$ .

Для цветных изображений формализация критерия описывается следующим соотношением

$$\mathbf{K}(\mathbf{p}_{mn}, \mathbf{p}_f) > \mathbf{K}_{\text{lim}} \cong \begin{cases} |r_{mn} - r_f| > r_{\text{lim}} = \Delta r \\ |g_{mn} - g_f| > g_{\text{lim}} = \Delta g \\ |b_{mn} - b_f| > b_{\text{lim}} = \Delta b \end{cases} \quad (2.9)$$

Значения предельно возможных отклонений красного –  $\Delta r$ , жёлтого –  $\Delta g$  и голубого  $\Delta b$  могут существенно отличаться друг от друга. В соотношении 2.8  $r_f, g_f, b_f$  – цветовые координаты фона.

*Замечание 3.* В случае применения анализируемого способа в системах управлением сложным движением локальные оптические неоднородности –

маяки [38] создаются целенаправленно, поэтому логично выбирать чистые цвета для перевода критерия (2.9) в существенно более простой критерий (2.8) и увеличения точности оценки искомой площади.

*Замечание 4.* Для решения задачи, указанной в замечании 3, проектировщики соответствующих приборов вольны в выборе формы оптической неоднородности. Поэтому логично использовать оптические неоднородности правильной формы – круг, квадрат и т.п. Указанные объекты являются выпуклыми, что означает, если точка  $C_1 = (m_1, n_1) \in A$  и точка  $D_2 = (m_2, n_2) \in A$ , то любая точка  $X_3 = (m_3, n_3)$ , расстояние от которой до отрезка  $C_1D_2$  меньше половины физического размера пикселя также принадлежит множеству  $A$  [38].

## **2.4 Модифицированный алгоритм оценки площади локальных оптических неоднородностей**

Влияние геометрического фактора, описанного выше, на точность оценка площади по формуле (2.6) может оказаться существенным. В работе [38] для компенсации влияния геометрического фактора на точность оценки  $s$  предложено учесть яркости (яркости + цветности) всех точек изображения, которые граничат с множеством  $A$ . Их совокупность выше обозначена через  $FrA$ . Если для полутонового двухцветного изображения точка  $(m, n) \in FrA$ , то её вклад в общую сумму яркостей равен  $\Delta_{mn} = (f_{mn} - f_f) / (f_0 - f_f)$ , здесь  $f_0$  – среднее значение яркости по внутренней области оптической неоднородности. Для цветного изображения ситуация может оказаться более сложной, но тем не менее искомый вклад  $\Delta_{mn}$  может быть оценён по результатам анализа цветовых координат граничного пикселя.

Учёт вкладов граничных элементов множества  $A$  позволяет модернизировать алгоритм, основанный на формуле (2.6), с целью повышения точности оценки площади локальной оптической неоднородности. Основой модифицированного алгоритма является выражение

$$s \approx s_{\text{pix}} \left( \sum_{(i,j) \in A} 1 + \sum_{(i,j) \in \text{Fr}A} \Delta_{mn} \right) \quad (2.10)$$

Очевидно, что выражение (2.10) даёт более точное по сравнению с (2.6) приближение площади оптической неоднородности на испытуемом объекте. Для двухцветного полутонового изображения условия правильности измерений площади  $s$ , то есть близости систематической погрешности измерений к нулю, эквивалентны соблюдению ряда ограничений: первое – число полутонов велико; второе – значение  $f_0 - f_f$  велико; третье – флуктуации яркости в пикселях изображения отсутствуют. На практике остаточная систематическая погрешность оценки (4.10) обуславливается малым числом полутонов, слабым контрастом оптической неоднородности и шумами в изображении. Создать идеальные условия для серии натурных экспериментов по оценке влияния указанных выше факторов на точность оценки площади оптической неоднородности практически невозможно. В следующем разделе будет рассмотрен подход, основанный на сочетании натурных и вычислительных экспериментов.

**Заключение к разделу** В разделе 2 обоснована возможность измерения площади оптической неоднородности на поверхности объекта неразрушающих испытаний на основе анализа цифровых изображений с высокой точностью. Предложен алгоритм обработки цифровых полутоновых и цветных изображений. Способ измерения площади оптических неоднородностей может быть применён в различных отраслях науки, в строительстве, в коммунальном хозяйстве, в промышленности, в транспорте, в системах управления сложным движением перемещаемыми объектами.

### 3 ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОЩАДИ ПО ЦИФРОВЫМ ОПТИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

#### 3.1 Исходные данные для моделирования цифровых оптических изображений локальных неоднородностей

Точность оценки площади оптической неоднородности зависит от многих факторов, поэтому провести необходимый комплекс экспериментальных исследований не представляется возможным. Единственной альтернативой является построение математической модели анализируемого измерительного процесса и проведение на ее основе вычислительных экспериментов.

Очевидно, что использование абсолютной и относительной погрешности оценки площади оптической неоднородности по цифровым изображениям не является эффективным критерием правильности измерений. Напомним, что под правильностью процесса измерений понимается близость к нулю систематической погрешности измерений. Эффективный критерий не должен зависеть от формы и размеров локальной неоднородности. Так как повышение точности предлагаемого алгоритма оценки площади основано на учете яркости для полутоновых цифровых оптических изображений или яркости в цветовых координатах RGB для цветных цифровых оптических изображений для граничных пикселей изображений локальных неоднородностей, то логично учесть это при формировании критерия правильности анализируемого вида измерений.

**Эффективный критерий правильности.** Пусть  $FrA$  – граница изображения локальной неоднородности, сопоставляемой с множеством  $A$ . Здесь под границей понимается совокупность пикселей, для одного или нескольких соседних пикселей которых выполняются ограничения (2.8) или (2.9). В качестве критерия будем использовать  $\delta_k$  отношение абсолютной погрешности измерения площади  $S_A - S_{\text{теор}}$ , включая пиксели на границе  $FrA$ , к

теоретической площади локальной неоднородности  $S_A$

$$\delta_k = \frac{S_A - S_{\text{теор}}}{S_{\text{теор}}} \quad (3.1)$$

В качестве типовых форм локальных оптических неоднородностей для оценки точности алгоритма измерения площади по цифровым оптическим изображениям могут быть использованы треугольники, прямоугольники, круги и т.п. На первом этапе рассмотрим оптические неоднородности в форме кругов.

Пусть круг имеет радиус  $R=1$ [линейных единиц]. На плоскости введем систему координат  $XOY$ . Пусть пиксель имеет размеры  $d \times d$ , размер  $d$  измеряется в тех же единицах, что и радиус круга. Варьируемыми параметрами помимо  $d$  являются координаты центра круга –  $x_0, y_0$ . Из симметричности геометрии очевидным образом следует, что интервалы изменения  $x_0$  и  $y_0$  описываются ограничениями

$$0 \leq x_0 \leq \frac{d}{2}, \quad 0 \leq y_0 \leq \frac{d}{2} \quad (3.2)$$

Пусть фоновая область имеет форму квадрата размерами  $D \times D$ . Размер фоновой области  $D$  должна превышать по размерам локальную оптическую неоднородность, то есть должно соблюдаться неравенство

$$D > 2R + ld \quad (3.3)$$

здесь  $l$  – количество пикселей. Параметр  $l$  не является критичным.

Демонстрация и визуальный анализ изображений, как правило, осуществляется на экране монитора, поэтому единственное требование к значению параметра  $l$  – заметность окаймляющей изображение неоднородности полосы. Значение  $l=20$  представляется вполне достаточным.

Для иллюстрации возможностей предлагаемого метода на рисунке 3.2 приведено изображение круга небольшого радиуса с указанием граничных пикселей, для подчеркивания эффекта подобраны специальным образом цвета фона и локальной оптической неоднородности.

### 3.2 Алгоритм моделирования изображений

Уравнение окружности описывается уравнением

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (3.4)$$

Пусть 1 линейная единица содержит  $M$  пикселей (pix). Переведем все исходные линейные размеры в количество пикселей

$$D_p = D \times M, \quad R_p = R \times M, \quad x_{0p} = x_0 \times M, \quad y_{0p} = y_0 \times M \quad (3.5)$$

Отметим, что значение  $D_p$  является целым числом. Значения  $x_{0p}$  и  $y_{0p}$  изменяются от 0 до 0,5 pix. Цифровое изображение объекта является матрицей  $A$ , у которой число строк совпадает с числом столбцов, равным  $D_p$ .

Алгоритм формирования цифрового оптического изображения зависит от вида изображения (полутоновое или цветное).

#### 3.2.1 Формирование цифрового полутонового изображения

Полутоновое изображение имеет 256 градаций серого – от 0 (уровень черного) до 255 (уровень белого). Дополнительными параметрами изображения оптической неоднородности являются уровни серого для фона  $gr_f$  и изображения локальной неоднородности  $gr_L$  и соответствующие уровни шумов  $\sigma_f$  и  $\sigma_L$ . Алгоритм формирования цифрового полутонового изображения круга без учета яркости граничных пикселей сводится к выражению

$$gr_{i,j} = \begin{cases} gr_L + [\sigma_L - 2\sigma_L \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 \geq 0 \\ gr_f + [\sigma_f - 2\sigma_f \xi], & R_p^2 + (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 < 0, \end{cases} \quad (3.6)$$

здесь  $[x]$  – целая часть числа  $x$ ;  $\xi$  – случайное число, распределенное в интервале (0,1). Сложная функция, описываемая выражением (3.6), зависит от 7 параметров.

На рисунке 3.1–3.4 приведены изображения круга радиусом 100 pix на площадке размером  $300 \times 300 \text{ pix}^2$  при яркости фона  $gr_f = 50$  и яркости изображения оптической неоднородности  $gr_L = 100; 90; 80; 70$ . Данное соотношение выбирали из необходимости решить анализируемую задачу при достаточно низком уровне контраста. Уровни шумов  $\sigma_f$  и  $\sigma_L$  варьировали в интервале от 0 до 50. Моделирование осуществляли в среде MathCad. Система

для математических вычислений MathCad позволяет вводить, формировать, обрабатывать и выводить как цифровые полутоновые изображения, так и цветные цифровые изображения в формате \*.bmp.

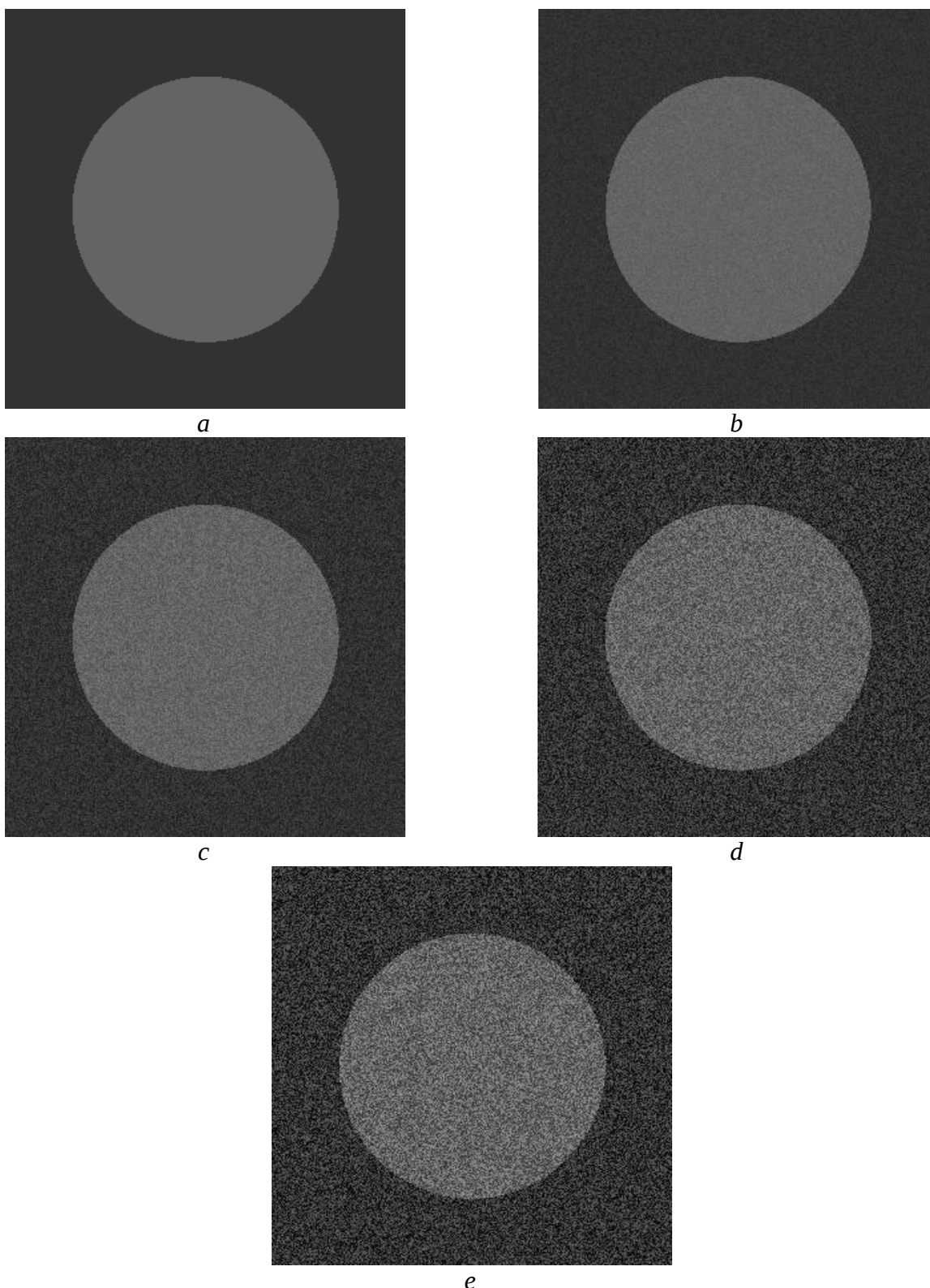
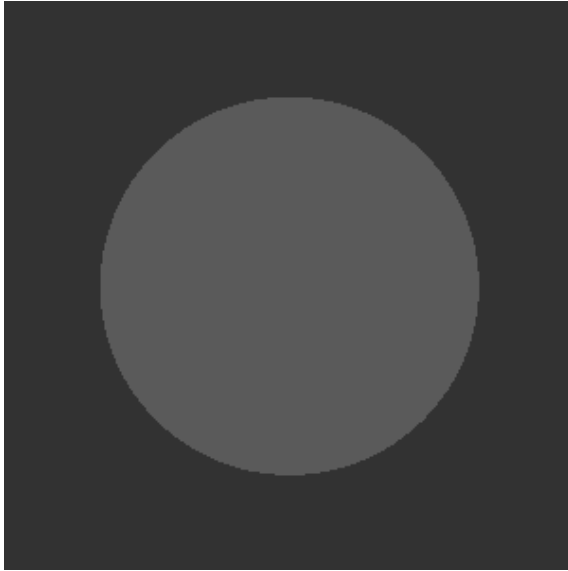
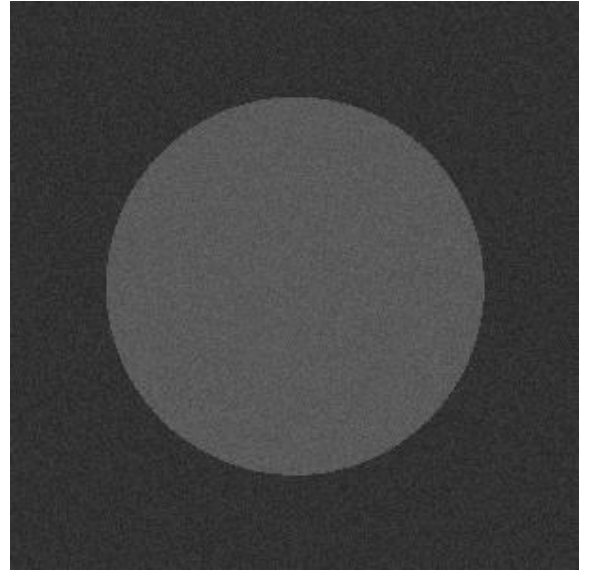


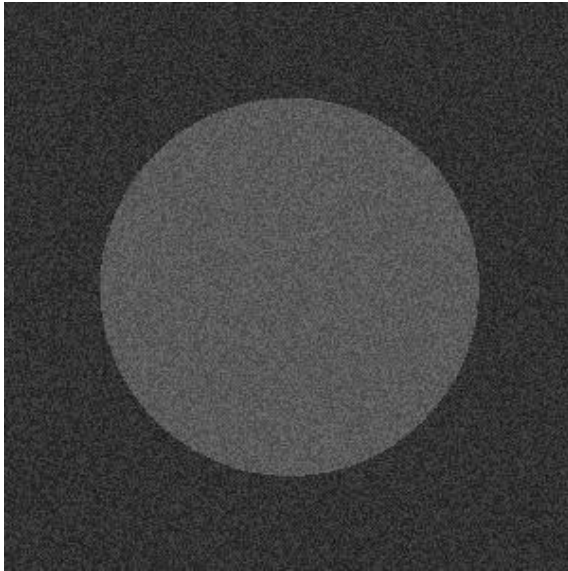
Рисунок 3.1 – Изображения круга, яркости фона и круга  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 100$ :  
 $a - \sigma_f = \sigma_L = 0$ ;  $b - \sigma_f = \sigma_L = 10$ ;  $c - \sigma_f = \sigma_L = 20$ ;  $d - \sigma_f = \sigma_L = 30$ ;  $e - \sigma_f = \sigma_L = 50$



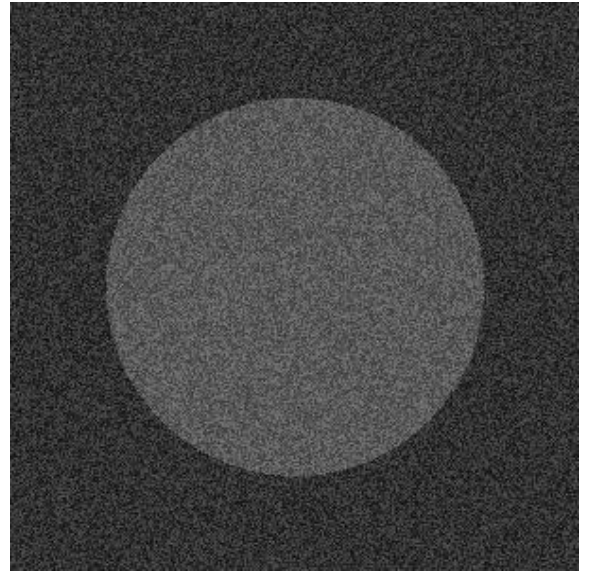
*a*



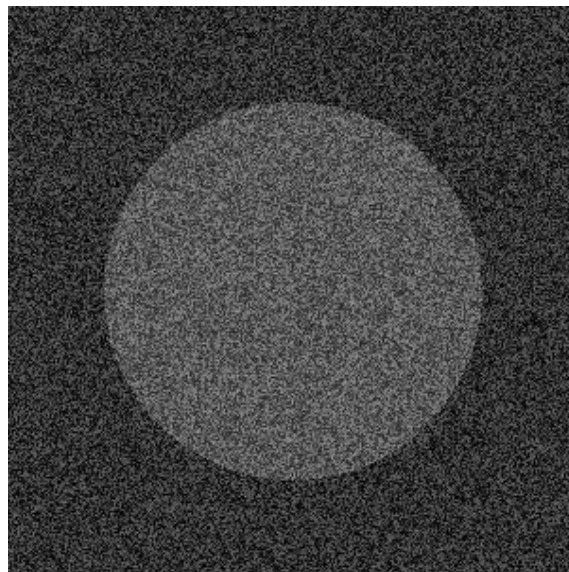
*b*



*c*

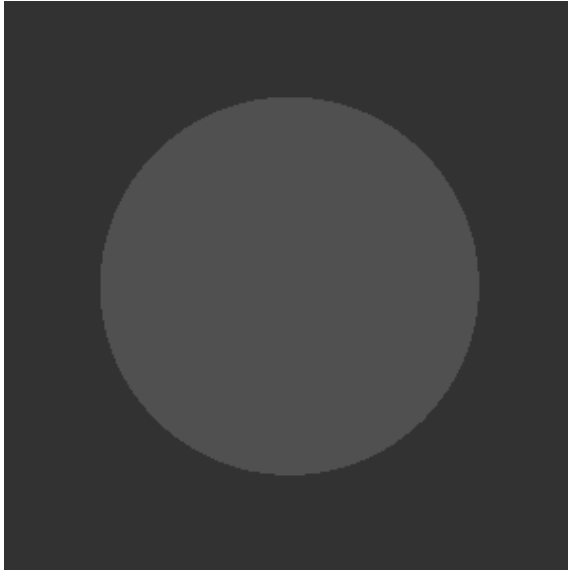


*d*

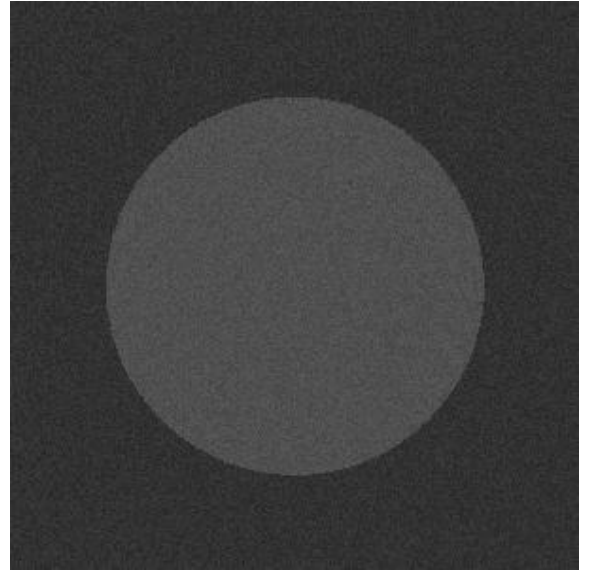


*e*

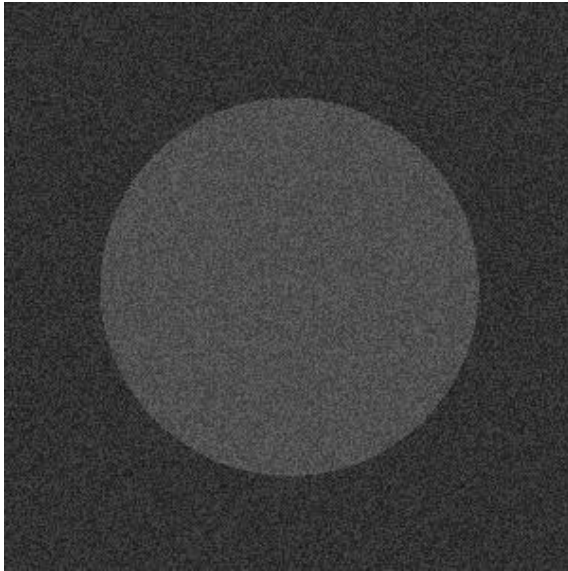
Рисунок 3.1 – Изображения круга, яркости фона и круга  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 90$ :  
*a* –  $\sigma_f = \sigma_L = 0$ ; *b* –  $\sigma_f = \sigma_L = 10$ ; *c* –  $\sigma_f = \sigma_L = 20$ ; *d* –  $\sigma_f = \sigma_L = 30$ ; *e* –  $\sigma_f = \sigma_L = 50$



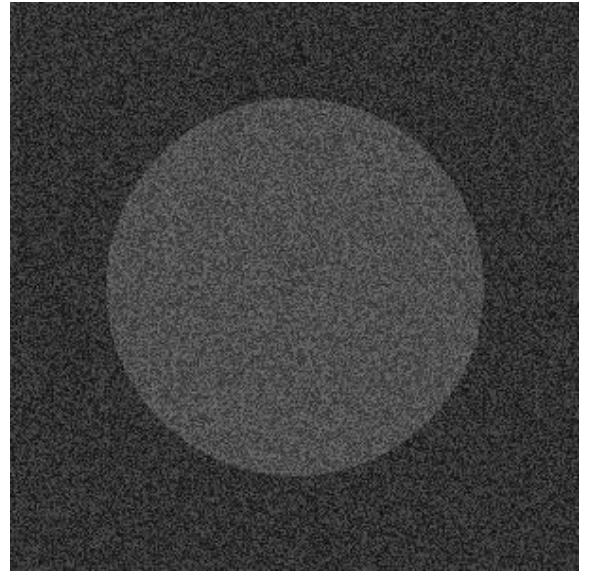
*a*



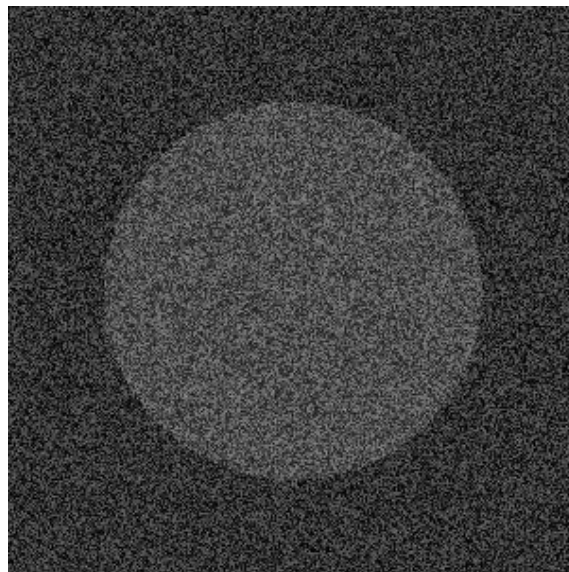
*b*



*c*

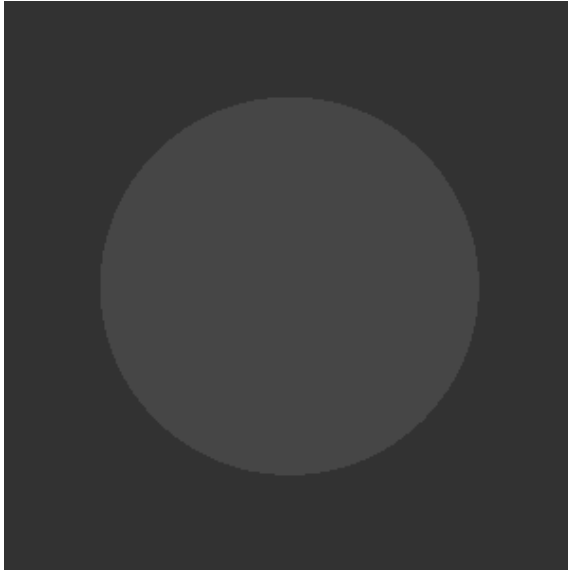


*d*

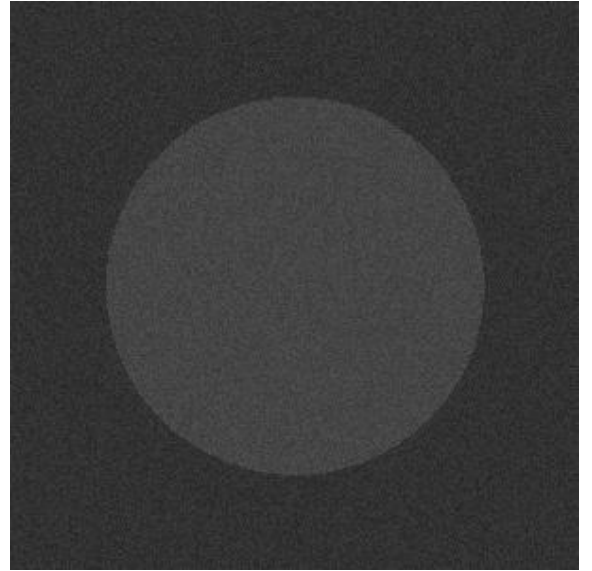


*e*

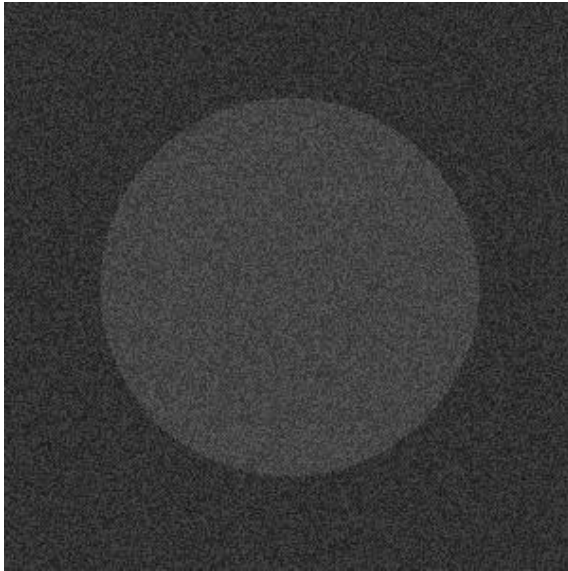
Рисунок 3.1 – Изображения круга, яркости фона и круга  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 80$ :  
*a* –  $\sigma_f = \sigma_L = 0$ ; *b* –  $\sigma_f = \sigma_L = 10$ ; *c* –  $\sigma_f = \sigma_L = 20$ ; *d* –  $\sigma_f = \sigma_L = 30$ ; *e* –  $\sigma_f = \sigma_L = 50$



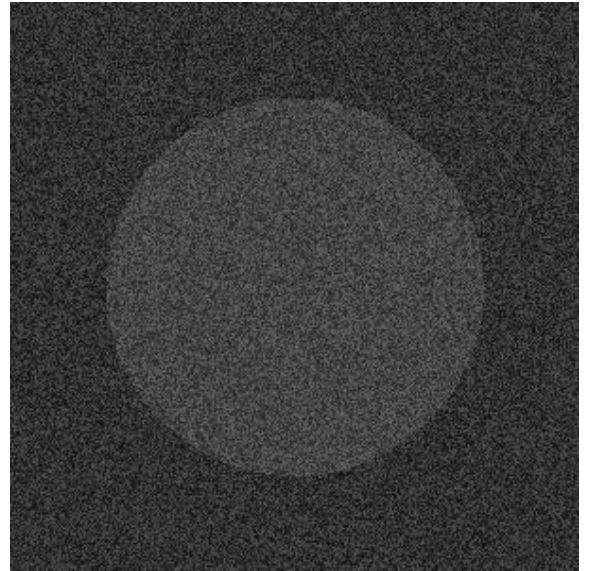
*a*



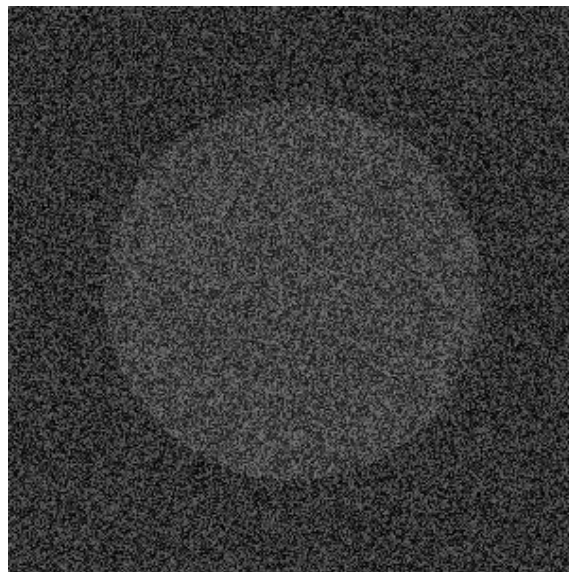
*b*



*c*



*d*



*e*

Рисунок 3.4 – Изображения круга, яркости фона и круга  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 70$ :  
*a* –  $\sigma_f = \sigma_L = 0$ ; *b* –  $\sigma_f = \sigma_L = 10$ ; *c* –  $\sigma_f = \sigma_L = 20$ ; *d* –  $\sigma_f = \sigma_L = 30$ ; *e* –  $\sigma_f = \sigma_L = 50$

Анализ изображений, приведенных на рисунке 3.1 позволяет сделать ряд достаточно ожидаемых качественных выводов.

1. С увеличением уровней шумов фона и изображения локальной неоднородности точная оценка площади неоднородности по формуле (2.6) с учетом ограничения (2.8) становится проблематичной.

2. Качество измерений ухудшается с уменьшением контраста фона и изображения оптической неоднородности.

Была проверена качественная зависимость ожидаемой точности измерения площади круга от его размеров для наиболее жестких условий моделирования: яркости фона и круга  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 70$ ; уровней шумов для фона и изображения круга  $\sigma_f = \sigma_L = 50$ . Радиус круга уменьшали от 100 до 10 pix. На рисунке 3.5 приведены полутоновые изображения кругов различного диаметра для малых контрастов и высоких уровней шумов.

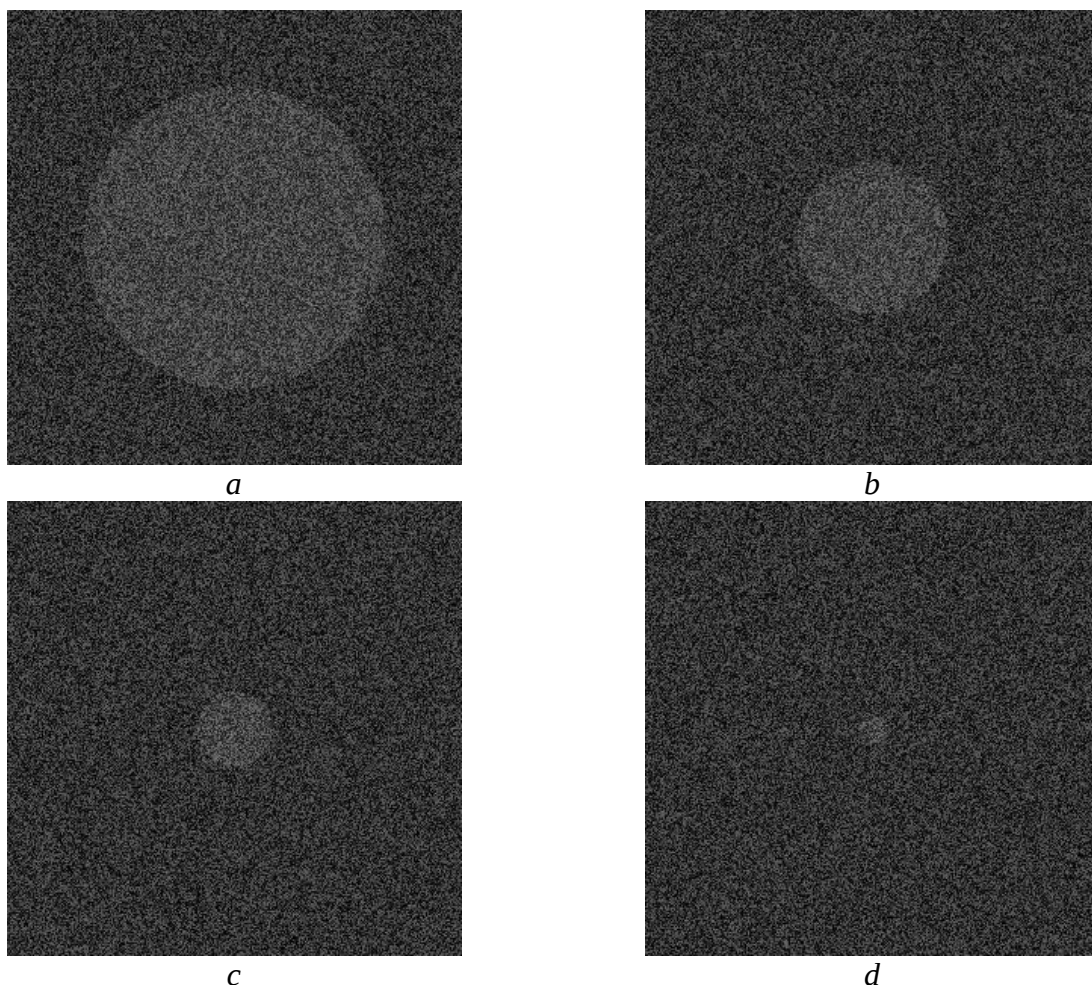


Рисунок 3.5 – Изображения круга, яркости фона и круга  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 70$ ,  $\sigma_f = \sigma_L = 50$ :  
 $a - R_p = 100$  pix ;  $b - R_p = 50$  pix;  $c - R_p = 25$  pix;  $d R_p = 10$  pix

Из анализа полученных изображений можно сделать вывод об ухудшении точности измерения площади оптической неоднородности с уменьшением ее размеров в условиях слабого контраста и высокого уровня шумов яркости контрастной части и фона. Проблемой является не только ухудшение точности, но и существенное снижение вероятности обнаружения самой оптической неоднородности по её цифровым изображениям.

### 3.2.2 Формирование цветного цифрового изображения

Цветное изображение имеет 256 градаций яркости каждого основного цвета – от 0 (минимальный уровень яркости цвета) до 255 (максимальный уровень яркости цвета). В палитре RGB используются следующие цветовые координаты (основные цвета) – красный, зеленый, голубой (рисунок 2.2). Для цветных изображений оптической неоднородности существенно возрастает число значимых параметров. К упомянутым параметрам следует отнести уровни яркостей каждого из основных цветов для фона  $r_f, g_f, b_f$  и изображения локальной неоднородности  $r_L, g_L, b_L$  и соответствующие уровни шумов для каждого основного цвета  $\sigma r_f, \sigma g_f, \sigma b_f$  и  $\sigma r_L, \sigma g_L, \sigma b_L$ . Здесь  $r$  – красный цвет,  $g$  – зеленый и  $b$  – голубой.

Цветное цифровое изображение формируется отдельно по каждой цветовой координате. Выражения являются аналогичными формуле (3.6)

$$\begin{aligned} r_{i,j} &= \begin{cases} r_L + [\sigma r_L - 2\sigma r_L \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 \geq 0 \\ r_f + [\sigma r_f - 2\sigma r_f \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 < 0 \end{cases} \\ g_{i,j} &= \begin{cases} g_L + [\sigma g_L - 2\sigma g_L \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 \geq 0 \\ g_f + [\sigma g_f - 2\sigma g_f \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 < 0 \end{cases} \\ b_{i,j} &= \begin{cases} b_L + [\sigma b_L - 2\sigma b_L \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 \geq 0 \\ b_f + [\sigma b_f - 2\sigma b_f \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 < 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (3.7)$$

В выражениях (3.7) как и в (3.6) подразумевается равномерное распределение шумов от  $-\sigma$  до  $+\sigma$ . Более точно характер распределения устанавливается экспериментально для конкретных испытуемых объектов.

Система (3.7) определяется 21 параметром. Системы с таким количеством параметров могут быть исследованы только методом математического моделирования.

Цветовой контраст существенным образом зависит от сочетания цветов фона и оптической неоднородности. Для демонстрации возможности практического применения результатов исследований были выбраны цвета, характерные для капиллярной дефектоскопии. Для фона использован цвет лесной волк (219,215,210), а для оптической неоднородности – цвет джазовый джем (202,55,103). На рис. 3.6 приведены цветные изображения круга радиусом 100 пикс на площадке размером  $300 \times 300$  пикс<sup>2</sup> для указанных выше цветов. Уровни цветных шумов по всем основным цветам изменяли от 0 до 40. Моделирование проводили в среде MathCad.

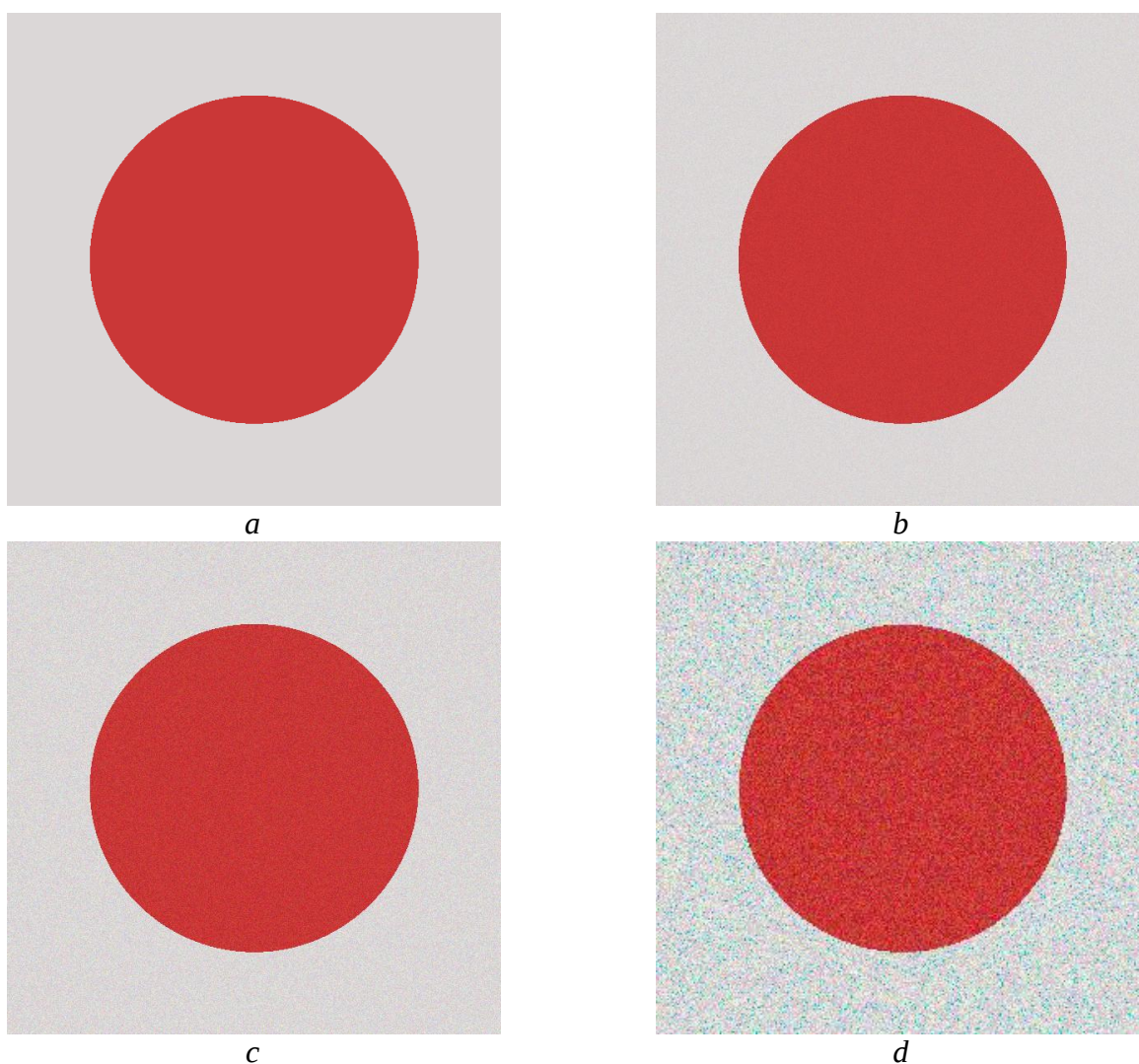


Рисунок 3.6 – Изображения круга, цвета фона и круга (219,215,210), (202,55,103), уровни цветных шумов:  $a - 0$ ;  $b - 10$ ;  $c - 20$ ;  $d - 40$

Из анализа полученных изображений можно, с высокой долей вероятности, сделать вывод о том, что при заданном диапазоне шумов основных цветов изображение локального включения, имеющее ярко выраженный цветовой контраст относительно фона, позволяет оценить интересующую площадь с высокой точностью.

Цвета на рисунке 3.6 отличаются достаточно высокой яркостью. Что произойдет, если фон и изображение локальной неоднородности будут достаточно контрастны по цвету, но темных оттенков? Для примера выбрано следующее сочетание цветов, фон – сиена (160,82,45), локальная неоднородность – капри синий (27,85,131). Результаты моделирования приведены на рисунке 3.7.

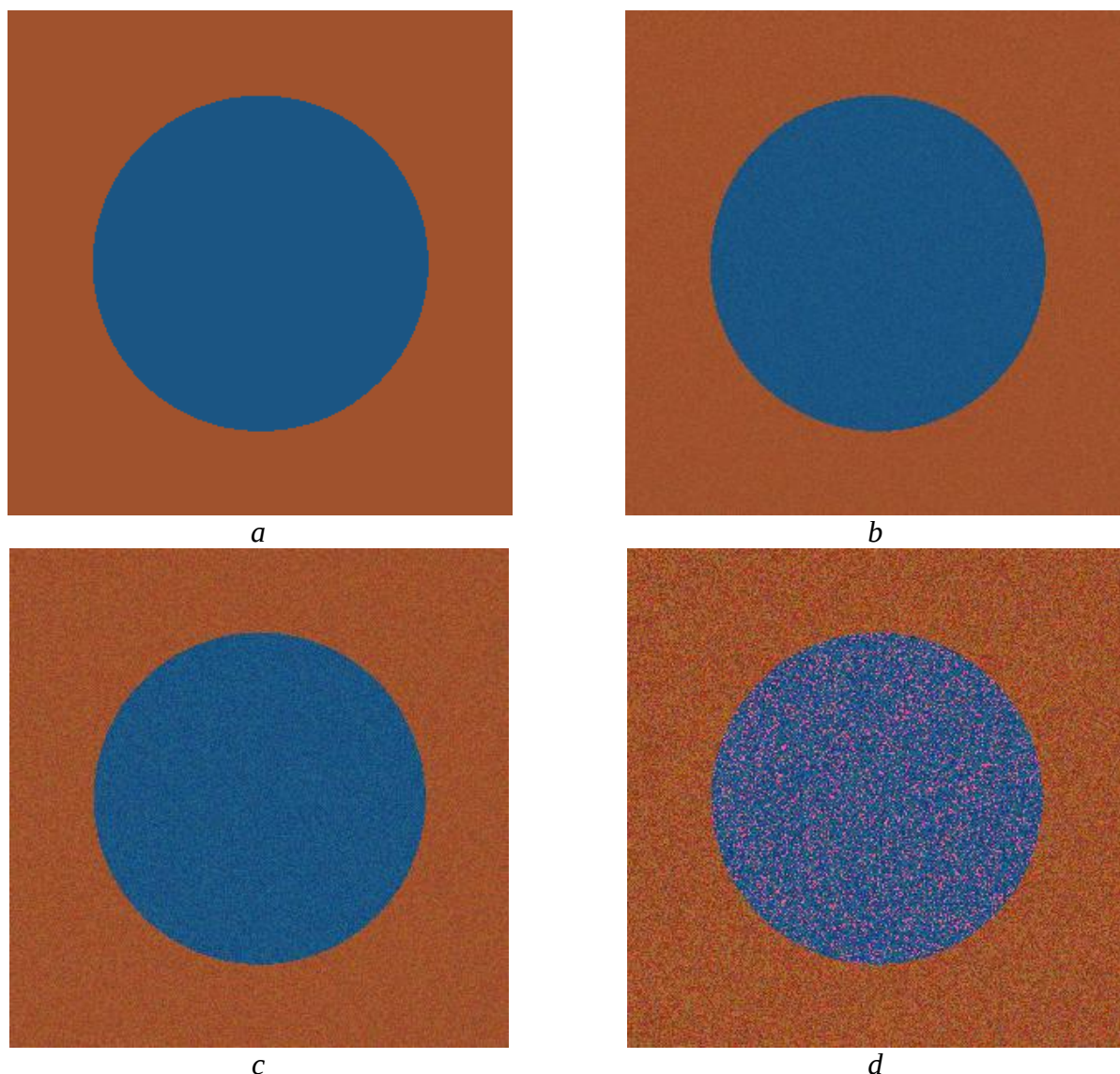


Рисунок 3.7 – Изображения круга, цвета фона и круга (160,82,45), (27,85,131), уровни цветовых шумов:  $a - 0$ ;  $b - 10$ ;  $c - 20$ ;  $d - 40$

В результате анализа изображений на рисунке 3.7 можно сделать вывод о сложности повышения точности анализируемых измерений в условиях значительных цветовых шумов и относительно темных изображений.

Были смоделированы цветные изображения локальных неоднородностей с уменьшающимся размером при умеренном уровне шумов –  $\sigma=30$ . На рисунке 3.8 приведены изображения для различных радиусов кругов.

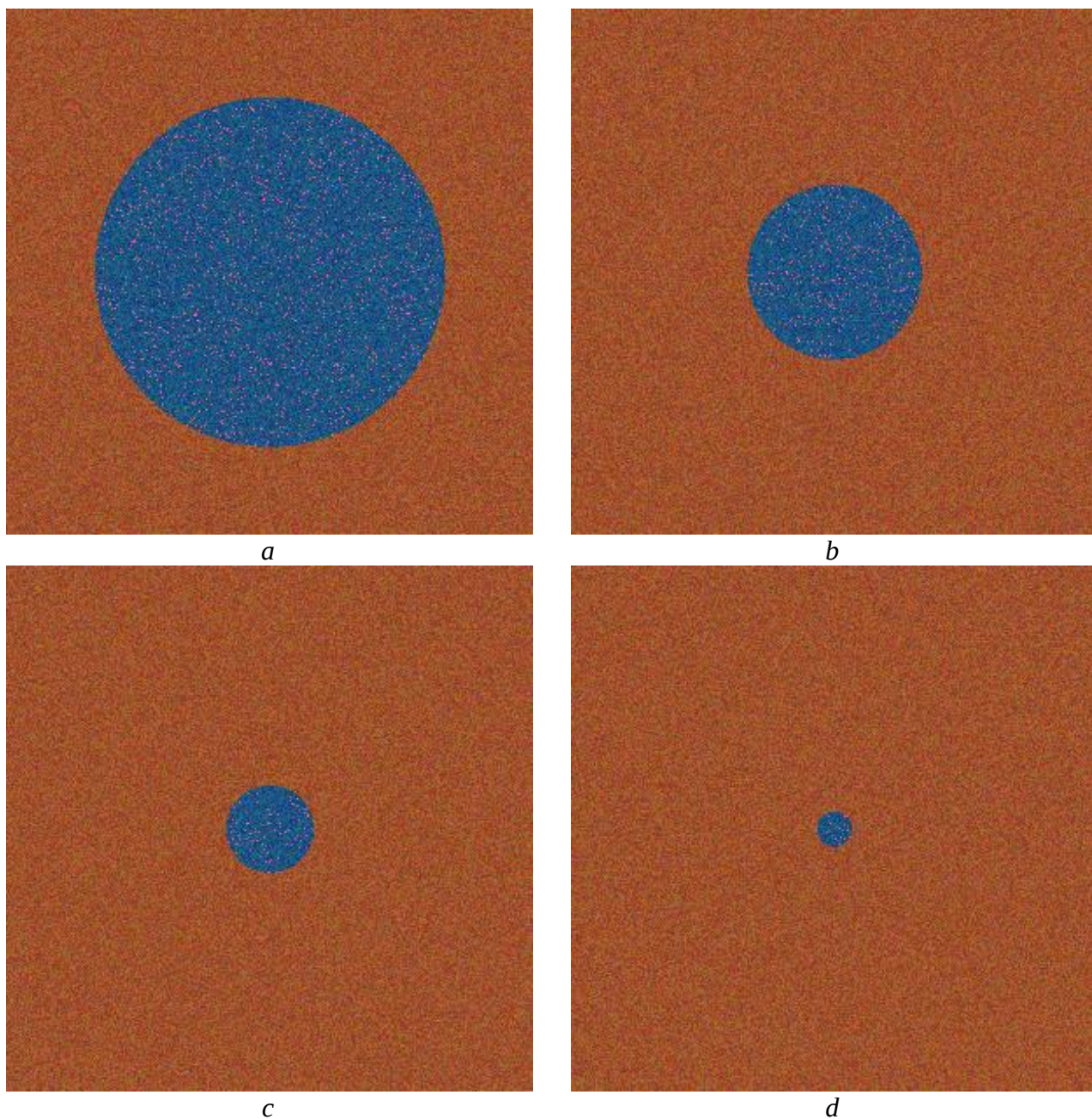


Рисунок 3.8 – Изображения круга для условий рис. 3.7:  $a - R_p=100 \text{ pix}$ ;  $b - R_p=50 \text{ pix}$ ;  $c - R_p=25 \text{ pix}$ ;  $d - R_p=10 \text{ pix}$

Для предложенного сочетания цветов уменьшение радиуса оптической неоднородности в форме круга не приводит к уменьшению вероятности выявления неоднородности и, вероятнее всего, уменьшение точности оценки площади неоднородности будет не таким значительным, как для полутоновых изображений, приведенных на рисунке 3.5.

В целом можно сделать вывод о том, что при примерно одинаковых уровнях интегральной яркости, точность оценки площади оптической неоднородности при анализе цифровых цветных изображений качественно выше, чем при анализе цифровых полутоновых изображений.

### **3.3 Оценка точности измерения площади по цифровым оптическим изображениям**

#### **3.3.1 Полутоновые изображения**

Для оценки точности измерения площади анализируемым способом можно использовать подход, основанный на предварительном формировании большеразмерных полутоновых цифровых оптических изображений круга. На следующем этапе изображение огрубляется, то есть увеличивается размер пикселя и, соответственно, уменьшается размер круга в пикселях. Конечное изображение и подвергается анализу с целью оценки точности измерения круга исследуемым способом.

Пусть имеем исходное изображение, представляющее собой матрицу с элементами  $gr_{ij}$ ,  $i=0...M$ ,  $0...M$ . Обозначим коэффициент огрубления  $k_0$ . Заметим, что  $M$  должно быть кратно  $k_0$ . Элементы результирующей матрицы  $gr_{ij}^*$  вычисляются с помощью выражения

$$gr_{ij}^* = \sum_{m=i \times k_0}^{(i+1) \times k_0} \sum_{n=j \times k_0}^{(j+1) \times k_0} gr_{m,n} \quad (3.8)$$

Оценка площади осуществляется по формуле (2.10) с учетом критерия отнесения точки к оптической неоднородности (2.8).

В таблице 3.1–3.5 сведены результаты вычисления погрешностей измерения площади с помощью выражений (3.1), (2.8), (2.10). Усовершенствованный алгоритм сравнивался со способом, основанным на формуле (2.6). Данные приведены столбцом. Исследовались изображения круга одного радиуса. Уровни шумов  $\sigma_f$  и  $\sigma_L$  изменяли в интервале от 0 до 10 с шагом 10 одновременно. Яркости фона  $gr_f = 50$  и яркости изображения круга  $gr_L = 160; 140; 120; 100$ . Коэффициент огрубления изменяли от 5 до 20 единиц.

В таблицах 3.1–3.3 красным шрифтом отмечены данные, полученные в условиях перекрытия шумов по полутонам для фона и изображения неоднородности. Разумеется, в этом случае не приходится говорить об эффективности предлагаемого способа.

Таблица 3.1 – Результаты вычисления погрешности измерения площади, для коэффициента огрубления  $k_0=5$

| $\sigma_f = \sigma_L$ | $gr_L$                           |                    |                    |                     |
|-----------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|                       | 100                              | 120                | 140                | 160                 |
| 0                     | –0,00007<br>–0,016               | –0,00007<br>–0,016 | –0,00007<br>–0,016 | –0,00007<br>–0,016  |
| 10                    | –0,00007<br>–0,008               | –0,00001<br>–0,01  | 0,00003<br>–0,011  | 0,00004<br>–0,012   |
| 20                    | 0,00034<br>0,003                 | –0,00002<br>–0,006 | –0,00005<br>–0,007 | –0,00008<br>–0,009  |
| 30                    | <b>0,00274</b><br><b>0,00274</b> | 0,00028<br>–0,0017 | 0,00024<br>–0,0044 | –0,00014<br>–0,0063 |

Таблица 3.2 – Результаты вычисления погрешности измерения площади, для коэффициента огрубления  $k_0=10$

| $\sigma_f = \sigma_L$ | $gr_L$                           |                                 |                    |                    |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|
|                       | 100                              | 120                             | 140                | 160                |
| 0                     | –0,00015<br>–0,032               | –0,00015<br>–0,032              | –0,00015<br>–0,032 | –0,00015<br>–0,032 |
| 10                    | 0,00041<br>–0,012                | –0,00047<br>–0,019              | –0,00016<br>–0,022 | –0,0003<br>–0,025  |
| 20                    | 0,00042<br>–0,0037               | 0,00107<br>–0,0081              | 0,00059<br>–0,012  | 0,0003<br>–0,014   |
| 30                    | <b>0,00447</b><br><b>0,00447</b> | <b>0,0010</b><br><b>–0,0011</b> | 0,00054<br>–0,0068 | 0,001<br>–0,0089   |

Таблица 3.3 – Результаты вычисления погрешности измерения площади, для коэффициента округления  $k_0=20$

| $\sigma_f = \sigma_L$ | $gr_L$                       |                                 |                    |                    |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|
|                       | 100                          | 120                             | 140                | 160                |
| 0                     | –0,00027<br>–0,067           | –0,00027<br>–0,067              | –0,00027<br>–0,067 | –0,00027<br>–0,067 |
| 10                    | 0,00041<br>–0,012            | –0,000013<br>–0,032             | 0,000002<br>–0,032 | –0,0001<br>–0,043  |
| 20                    | –0,00033<br>–0,00069         | 0,00068<br>–0,021               | 0,00071<br>–0,026  | 0,00044<br>–0,028  |
| 30                    | <b>0,013</b><br><b>0,013</b> | <b>0,0053</b><br><b>–0,0021</b> | 0,0027<br>–0,015   | 0,00022<br>–0,024  |

Из анализа данных можно сделать вывод об эффективности применения предлагаемого алгоритма измерения площади по цифровым полутоновым изображениям для всего диапазона шумов, вплоть до перекрытия шумов по полутонам для фона и изображения неоднородности. Причем для умеренного уровня шумов эффективность относительно сравниваемого метода составляет от единиц раз до десятков раз. Эффективность метода подтверждена для широкого диапазона изменения коэффициента округления.

Для проверки зависимости эффективности метода от смещения оси цилиндра был проведен цикл расчетов для умеренных уровней шумов яркости фона и изображения локальной неоднородности. В таблице 3.4 приведены результаты расчетов для условий из предыдущих таблиц.

Таблица 3.4 – Зависимость погрешностей измерения площади от смещения  $x_0=y_0$ , для коэффициента округления  $k_0=20$

| $\delta S$ | $x_0=y_0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | 1,4       | 1,2    | 1,0    | 0,8    | 0,6    | 0,5    | 0,4    | 0,2    | 0,0    |
| (2.8)      | 0,0004    | 0,0018 | 0,0010 | 0,0018 | 0,0022 | 0,0024 | 0,0024 | 0,0032 | 0,032  |
| (2.6)      | –0,071    | –0,067 | –0,067 | –0,064 | –0,064 | –0,064 | –0,064 | –0,058 | –0,058 |

Из анализа данных, представленных в таблице 3.4, можно сделать вывод об эффективности метода измерения площади, основанного на формуле (2.8), по сравнению с методом, базирующимся на выражении (2.6).

*Замечание 1.* Коэффициент огрубления является вспомогательной величиной. Получение модельных оптических изображений с высоким значением коэффициента огрубления  $k_0$  эквивалентно процессу формирования реальных изображений с «большой» апертурой. Размер апертуры соотносится с минимальным размером интересующего потребителя изображения локальной оптической неоднородности.

*Замечание 2.* На рисунке 3.1–3.3 приведены изображения более светлых неоднородностей на темном фоне. Если же рассматривается более темная неоднородность на светлом фоне, то необходимо вносить изменения в алгоритм обработки оптической информации. Впрочем, этих изменений можно изменить, если анализировать негатив такого изображения. Трансформация позитивного изображения с элементами  $gr_{ij}^*$  в негативное изображение  $ngr_{ij}^*$  описывается простой формулой

$$ngr_{ij}^* = 255 - gr_{ij}^* \quad (3.9)$$

### 3.3.2 Цветные изображения

Отличие в алгоритме оценки площади между цветными и полутоновыми изображениями сводится к проверке ограничений (2.9) и (2.8). В разделе 2 сказано, что критерий (2.9) нуждается в существенной корректировке, зависящей от цветовых координат изображений локальной неоднородности и фона. Ниже обсудим ряд моментов, связанных с этим.

Ряд сочетаний цветов характеризуется существенным различием всего лишь по одной цветовой координате. В качестве примера можно привести цвета материалов, используемых в капиллярной дефектоскопии. Так, например, ряд пенетрантов близки к ярко-розовому цвету, цветовые координаты которого в системе RGB (252,15,192). Цветовые координаты наиболее

распространенного проявителя в системе RGB (242,232,201) – сливочный цвет. Совместный анализ указанных двух цветов по цветовым координатам позволяет сделать следующие выводы: 1. уровни красного и синего для сливочного и ярко-розового цветов близки друг к другу; 2. уровни синего для этих цветов радикально отличаются. Из этих выводов следует, что включать в процедуру обработки изображения уровни красного и синего нет необходимости, так как возможно увеличение влияния цветовых шумов. Дополнительный вывод – при вычислении площади необходимо осуществлять предварительное преобразование изображения, описанное в замечании 2, то есть преобразование из позитива в негатив.

Для иллюстрации на рисунке 3.9 приведены позитивное и негативное изображения объекта контроля для указанных выше цветов локального включения и фона. Радиус оптической неоднородности 100 пикселей. Уровень шумов всех основных цветов 15.

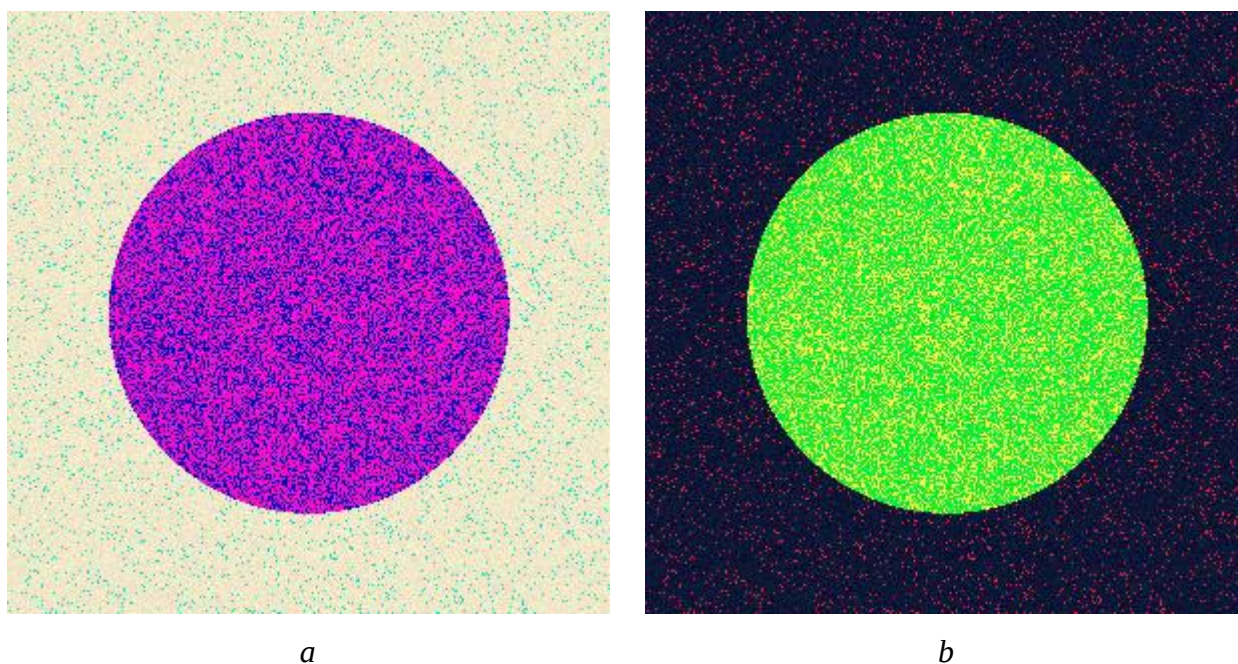


Рисунок 3.9 – Изображение имитатора кругового следа в капиллярной дефектоскопии:

*a* – позитив; *b* – негатив

Для условий примера варьировали коэффициент огрубления  $k_0$  в пределах от 4 до 20. Результаты оценки эффективности алгоритмов,

основанных на выражениях (2.8) и (2.6) приведены в таблице 3.5. Для удобства сравнения в таблице 3.5 приведен коэффициент эффективности  $k_{eff}$ , который равен модулю отношения погрешности оценки площади по формуле (26) к оценке по формуле (2.8).

Таблица 3.5 – Зависимость эффективности алгоритмов измерения площади от коэффициента округления  $k_0=20$

| $\delta S$ | $k_0$   |         |         |         |         |         |         |         |         |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | 4       | 6       | 8       | 10      | 12      | 14      | 16      | 18      | 20      |
| (2.8)      | 0,00075 | 0,00105 | 0,00116 | 0,00019 | 0,00137 | 0,00132 | 0,00008 | 0,00109 | 0,00445 |
| (2.6)      | -0,041  | -0,061  | -0,081  | -0,109  | -0,115  | -0,133  | -0,169  | -0,165  | -0,121  |
| $k_{eff}$  | 54,7    | 58,1    | 69,8    | 573,7   | 83,9    | 100,8   | 2112,5  | 151,4   | 27,2    |

Коэффициент эффективности имеет значение не менее 27, что свидетельствует о высоком качестве исследуемого алгоритма.

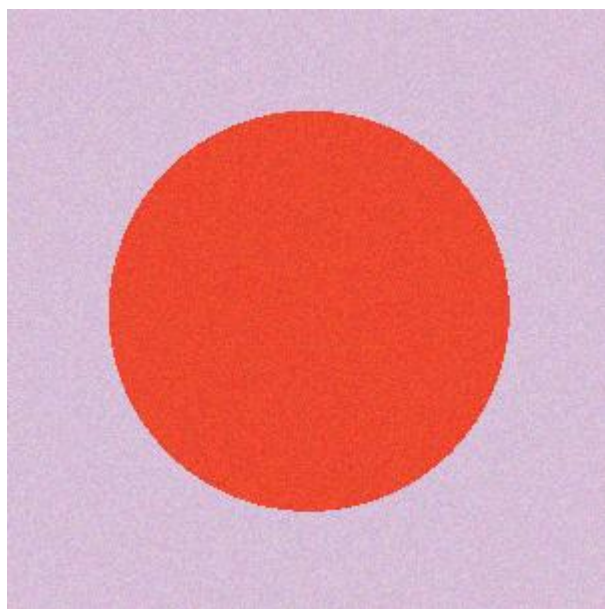
Рассмотрим второй важный случай, в котором две цветовые координаты для фона и изображения локальной неоднородности различаются значительно. Пусть фон имеет цвет чертополоха, цветовые координаты – (216,191,216). Оптическая неоднородность цвета шапки Санта Клауса, цветовые координаты – (237,72,48). Данное сочетание напоминает ржавые разводы на керамической плитке, так и назовем этот объект испытаний. На рисунке 3.10 приведены позитивное и негативное изображения «керамической плитки с ржавыми разводами». Уровень шумов 15 по каждой цветовой компоненте.

Цвета сильно отличаются как по зеленой компоненте (разница 119), так и по голубой компоненте (разница 168). Очевидно, что при таком уровне различий по цвету можно оценивать изображения и по зеленой компоненте, и по голубой компоненте.

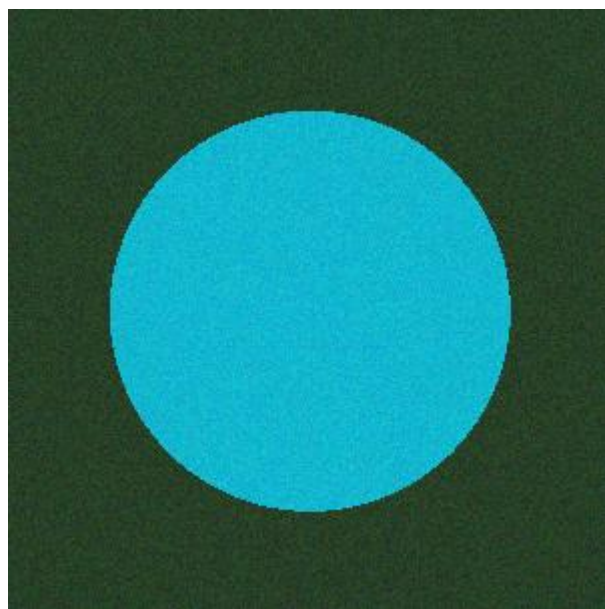
Для третьего случая характерен набор цветов, значительно отличающихся по всем трем цветовым координатам. Для примера было выбрано сочетание вердепомового цвета для изображения круга (52,201,36) и

блестящего пурпурного цвета (221,128,204) для фона. Назовем такой объект «зеленой лужайкой».

На рисунке 3.11 приведены позитивное и негативное изображения «зеленой лужайки».



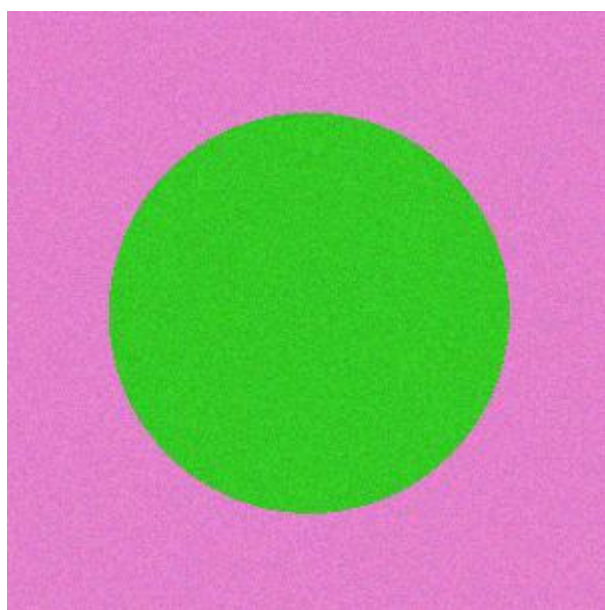
*a*



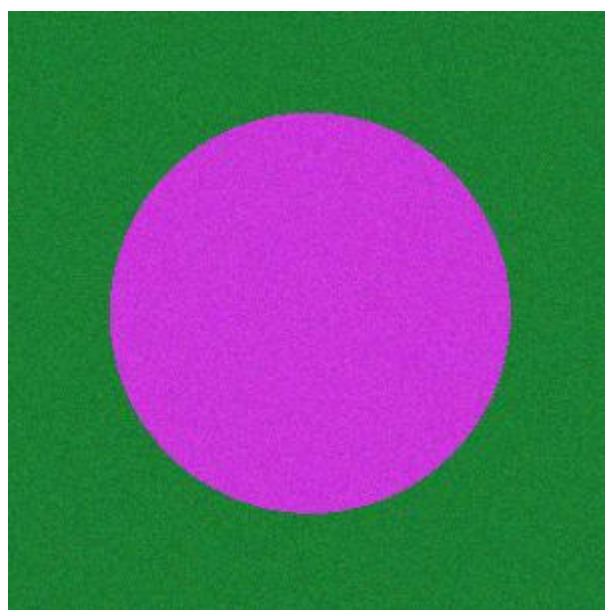
*b*

Рисунок 3.10 – Изображение «керамической плитки с ржавыми разводами»:

*a* – позитив; *b* – негатив



*a*



*b*

Рисунок 3.10 – Изображение «зеленой лужайки»: *a* – позитив; *b* – негатив

Результаты оценок эффективности метода для оценки площади для второго и третьего случая показали, что необходимо ориентироваться на ту цветовую координату, для которой различие фона и изображения локальной неоднородности максимальное. Следует учитывать замечание 2 при выборе варианта обработки (позитив или негатив).

***Заключение к разделу.*** В разделе 3 приведена методика моделирования зашумленного изображения оптической неоднородности в форме круга на зашумленном фоне. Предложен метод оценки эффективности предлагаемого алгоритма для измерения площади оптической неоднородности. Приведены результаты моделирования полутоновых и цветных цифровых изображений. Предложен подход для высокоточного моделирования изображений оптических неоднородностей. На основе указанного подхода разработан способ огрубления изображений, который позволяет оценить эффективность предлагаемого алгоритма для локальных неоднородностей, изображение которых занимает незначительное количество пикселей. Результаты имитационного моделирования продемонстрировали эффективность анализируемого метода оценки площади неоднородности для цифровых полутоновых изображений и цифровых цветных изображений. Эффективность алгоритма тем выше, чем меньше уровни шумов и больше различие яркостей в тоне (анализируемом цвете) между фоном и изображением оптической неоднородности.

## **4 АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ОДНОРОДНОСТИ МНОГОЦВЕТНЫХ ДЕКОРАТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ПО ЦВЕТНЫМ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯМ**

### **4.1 Общие сведения**

В современном строительстве широко используются декоративные строительные материалы. В данном разделе исследуются мелкозернистые материалы со случайным распределением разноцветных цветных зерен. Под зернами будем понимать цветовые пятна. К потребительским характеристикам исследуемых материалов помимо размеров зерен, их формы и цвета относится степень однородности по цвету по испытываемой поверхности, спроецированной на плоскость оптического изображения. Целью данного раздела является разработка упрощенного алгоритма оценки степени однородности по цвету строительных материалов указанного выше типа и соотнесение результатов натурных испытаний с мнениями экспертов.

К исследуемому типу строительных материалов относятся материалы природного и искусственного происхождения. Из природных каменных материалов следует выделить гранит и мрамор. Среди интересующих нас материалов искусственного происхождения можно отметить искусственные каменные материалы, пластиковые покрытия, керамические плитки, линолеум, обои, мозаики с мелкими фрагментами.

Для иллюстрации на рисунке 4.1 приведены изображения некоторых строительных, декоративных и отделочных материалов, относящихся к области исследований.

### **4.2 Алгоритм обработки изображений**

#### **4.2.1 Информативные параметры**

В разделе исследуется степень однородности по тону или цвету (цветовым координатам) изображения декоративного строительного материала или изделия. Необходимо выбрать конкретные информативные параметры для оценки степени однородности.



Рисунок 4.1 – Фотографии строительных и отделочных материалов:  
 1 – серый мрамор; 2 – бежевый мрамор; 3 – черный гранит; 4 – красный гранит;  
 5 – гранит; 6 – известняк; 7 – керамическая плитка; 8 – напольная плитка;  
 9 – линолеум; 10 – обои; 11 – обои с точками; 12 – мозаика

Уровень серого (полутон) или значения цветовых координат можно рассматривать в качестве случайных величин. Исходя из указанного допущения, к информативным параметрам цифровых полутоновых оптических изображений следует отнести  $gr_a$  – среднее значение полутона (уровня серого) по локальной области  $a$ ,  $a \in A$ , здесь  $A$  – множество точек максимальной области интереса. Для цифровых цветных изображений  $r_a$ ,  $g_a$ ,  $b_a$  – средние значения цветовых координат в системе RGB (уровней красного, зеленого, голубого) по области  $a$ . Указанных характеристик недостаточно, так как среднее значение характеризует лишь меру положения случайной величины. В качестве дополнительных характеристик можно использовать одну из мер рассеяния случайной величины – ее среднеквадратическое отклонение. В качестве дополнительных информативных характеристик для цифровых полутоновых изображений для рассматриваемой задачи выступают  $\sigma gr_a$  – среднеквадратические отклонения полутона (уровня серого) по локальным областям  $a$ ,  $a \in A$ . Соответственно для цифровых цветных изображений –  $\sigma r_a$ ,  $\sigma g_a$ ,  $\sigma b_a$  – среднеквадратические отклонения цветовых координат в системе RGB (уровней красного, зеленого, голубого) по области  $a$ .

#### 4.2.2 Алгоритм оценки степени однородности изображений

Алгоритм оценки степени однородности базируется на вычислении изменения совокупности информативных параметров полутоновых и цветных цифровых оптических изображений по мере уменьшения площадей локальных областей. Из теоретических соображений локальная область может изменяться от  $A$  до области размером  $1 \times 1 \text{ pix}^2$ . Однако на практике размер минимальной области ограничен размером зерна (цветового пятна в изображении). Наиболее практично рассматривать множества  $A$  и  $a$  в форме квадратов размерами  $n_A \times n_A \text{ pix}^2$  и  $n_a \times n_a \text{ pix}^2$ .

Выражения для оценки информативных параметров для полутоновых изображений имеют вид

$$gr_a = \frac{\sum_{(i,j) \in a} gr_{i,j}}{\dim a}, \sigma gr_a = \sqrt{\frac{\sum_{(i,j) \in a} (gr_{i,j} - gr_a)^2}{\dim a - 1}} \quad (4.1)$$

здесь  $\dim a = n_a \times n_a$  – количество точек в локальной области  $a \in A$ .

Информативные параметры для цветных изображений оцениваются по следующим формулам

$$\begin{aligned} r_a &= \frac{\sum_{(i,j) \in a} r_{i,j}}{\dim a}, \sigma r_a = \sqrt{\frac{\sum_{(i,j) \in a} (r_{i,j} - r_a)^2}{\dim a - 1}}, \\ g_a &= \frac{\sum_{(i,j) \in a} g_{i,j}}{\dim a}, \sigma g_a = \sqrt{\frac{\sum_{(i,j) \in a} (g_{i,j} - g_a)^2}{\dim a - 1}}, \\ b_a &= \frac{\sum_{(i,j) \in a} b_{i,j}}{\dim a}, \sigma b_a = \sqrt{\frac{\sum_{(i,j) \in a} (b_{i,j} - b_a)^2}{\dim a - 1}}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Приведем основу алгоритма, которая включает в себя исходные данные, ограничения, последовательность действий.

*Замечание 1.* Возможно несколько подходов к уменьшению размеров локальных множеств. Первый подход связан с уменьшением линейного размера множества на каждом этапе в два раза. Во втором подходе на первом этапе размер уменьшается в два раза, на втором в три раза, на третьем этапе – в четыре раза и т.д.

К исходным данным относится само изображение  $I$  (полутонное или цветное), множество  $A$ , минимальный размер локального множества  $a - n_{a \min}$ , количество шагов по изменению размера локального множества  $k_a$ .

*Замечание 2.* Количество строк, равное количеству столбцов, определяется количеством шагов по изменению размера локального множества  $k_a$  и подходом к уменьшению (смотри замечание 1). Для первого подхода  $n_A \sim 2^{k_a}$ , а для второго подхода  $n_A \sim k_a + 1$ .

Соблюдение требований замечания 2 к размерам исходного изображения обеспечивает равенство условий для сравнения исследуемых характеристик изображений.

Перечислим последовательность действий алгоритма.

1. Обнуляем счетчик номеров этапов  $k=0$ .
2. Вычисляем  $gr_A$  и  $\sigma gr_A$  для полутоновых изображений или  $r_A, \sigma r_A, g_A, \sigma g_A, b_A, \sigma b_A$  для цветных изображений.
3. Увеличиваем номер этапа  $k=k+1$ .
4. Проверяем условие  $k>k_a$ , если условие выполняется, то заканчиваем расчеты для анализируемого полутонового или цветного изображения и переходим к этапу сравнения (пункт 7).
5. В соответствии с выбранным подходом определяем  $n_{a(k)}$  размер локальных множеств  $a(k)$

$$n_{a(k)} = \frac{n_A}{2^{k_a}}, \text{ первый подход,}$$

$$n_{a(k)} = \frac{n_A}{k+1}, \text{ второй подход.}$$

6. Формируем матрицы информативных параметров  $k$ -го этапа  $gr_{lmk}$  и  $\sigma gr_{lmk}$  для полутоновых изображений или  $r_{lmk}, \sigma r_{lmk}, g_{lmk}, \sigma g_{lmk}, b_{lmk}, \sigma b_{lmk}$ .
7. Переход к пункту 2.
8. Этап анализа. Последовательно сравниваем значения информативных параметров, полученных на этапах обработки.

Изложенный выше алгоритм легко может быть реализован на любом языке программирования высокого уровня или в системах математических вычислений, например, в MathCad.

## 4.3 Обработка экспериментальных данных

### 4.3.1 Полутоновые изображения

Для иллюстрации возможностей и особенностей алгоритма, рассмотренного в предыдущем пункте, был обработан ряд изображений, приведенных на рисунке 4.1. Был использован подход к уменьшению размеров локальных множеств, основанный на уменьшении линейного размера локального множества на каждом этапе в два раза. Выбор в пользу этого подхода был сделан потому, что обладает большей производительностью и меньшим объемом

информации для конечного анализа степени однородности полутонов или цветовых координат по изображению объекта испытаний.

В качестве первого объекта для испытаний алгоритма был выбран черный гранит (изображение 3 на рисунке 4.1.). В силу особенностей объекта анализировалось его полутоновое изображение.

В таблицах 4.1 и 4.2 приведены результаты первых трех этапов алгоритма применительно к изображению 3 на рисунке 4.1.

Таблица 4.1 – Средние значения яркости по локальным областям (черный гранит)

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0 | 31,8 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1 | 31,8 | 31,3 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 33,8 | 31,4 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2 | 32,2 | 31,3 | 31,6 | 31   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 35,1 | 30,6 | 32   | 32,7 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 35,9 | 32   | 32,3 | 31   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 35,1 | 34,1 | 33   | 31,2 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3 | 32,6 | 32,7 | 32,8 | 32,6 | 32,2 | 32,1 | 30,2 | 30,3 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 34,5 | 33,2 | 31,4 | 32,3 | 31,9 | 34,3 | 34,7 | 32,7 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 36   | 36,6 | 32,3 | 31   | 33,8 | 33   | 35,1 | 34   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 37,2 | 35,3 | 32,2 | 31   | 31,7 | 33,7 | 32,1 | 34   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 39   | 34   | 32,8 | 31,7 | 32,4 | 33   | 33,4 | 32,4 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 39,7 | 35,8 | 34,8 | 32,8 | 32,3 | 35,8 | 30,9 | 31,5 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 36,7 | 34,9 | 34,7 | 34,3 | 33,1 | 35,2 | 33,4 | 31,2 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 37,7 | 35,4 | 38,9 | 33   | 32,3 | 35,9 | 31,5 | 32,5 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4 | 35,8 | 33,1 | 35,6 | 32,6 | 32,8 | 39,8 | 35   | 31,6 | 31,8 | 37,7 | 37,3 | 31   | 32,1 | 32   | 32   | 31,2 |
|   | 35,8 | 34,4 | 36,7 | 34,7 | 33,8 | 33,5 | 38,5 | 34,3 | 34,5 | 33,5 | 35,9 | 32,9 | 32,5 | 32,2 | 33,2 | 33,2 |
|   | 36,8 | 35,6 | 35,9 | 35,2 | 35,5 | 33,1 | 34,5 | 34,7 | 34,3 | 34,2 | 35,4 | 32,7 | 43,2 | 35,7 | 34,5 | 32   |
|   | 37,7 | 37,3 | 34,8 | 36   | 32,8 | 33   | 35   | 33,7 | 33,1 | 34,6 | 41,3 | 37,3 | 37,1 | 32,2 | 34,4 | 38,6 |
|   | 36,4 | 40,9 | 41   | 37,9 | 34,8 | 32,1 | 33,1 | 33,8 | 33,6 | 35,9 | 33,3 | 35,6 | 40,3 | 35   | 36,9 | 33,2 |
|   | 37,7 | 38,7 | 37,7 | 39,4 | 34,1 | 36,9 | 32   | 33,5 | 39,5 | 35,5 | 34,3 | 37,5 | 38,9 | 35,6 | 35,1 | 39,9 |
|   | 40,4 | 39,1 | 36   | 37,1 | 32,5 | 34   | 35,6 | 34,5 | 33,3 | 35,3 | 38   | 36,5 | 36,5 | 32,6 | 35,6 | 36,6 |
|   | 41,3 | 37,9 | 42,5 | 35,1 | 33,7 | 37,3 | 30   | 32,6 | 34,6 | 32   | 33,3 | 36,1 | 33,3 | 34,5 | 36,6 | 36,3 |
|   | 40,3 | 38,7 | 36,1 | 34   | 37,8 | 33,4 | 33,3 | 33   | 32,4 | 36,6 | 34,9 | 34,3 | 37,2 | 33,1 | 34,2 | 36,7 |
|   | 43,8 | 43,7 | 38,8 | 36,4 | 32,9 | 36,2 | 34,4 | 34,8 | 35,1 | 34,3 | 34,9 | 36,8 | 32,2 | 40   | 34,3 | 33,1 |
|   | 45,5 | 40,4 | 33,4 | 38,3 | 38,5 | 37,6 | 36,2 | 36,4 | 33,2 | 35,3 | 36,2 | 36,7 | 33,9 | 31,9 | 33,4 | 37,4 |
|   | 42,6 | 41,2 | 41,1 | 40   | 38,4 | 34,2 | 33   | 34,7 | 33,8 | 35,7 | 43,8 | 36   | 33,4 | 32,9 | 30,1 | 33,8 |
|   | 41,8 | 36,6 | 39,6 | 38,1 | 37,5 | 36,3 | 35,6 | 32,2 | 36,4 | 34,2 | 41,7 | 36,3 | 35,4 | 38   | 32,1 | 32,8 |
|   | 41,2 | 37,3 | 35,8 | 35,7 | 37,6 | 37,1 | 40,8 | 38,1 | 35,3 | 35,4 | 38,1 | 34,3 | 34,1 | 35,2 | 35,6 | 32,9 |
|   | 42,2 | 37,5 | 37,8 | 39,5 | 46,7 | 45,7 | 35,4 | 33,7 | 33,9 | 35,4 | 38,7 | 34,4 | 33,6 | 31,2 | 34,3 | 33,4 |
|   | 40,3 | 40,9 | 39,3 | 34,8 | 37,8 | 36,1 | 37,1 | 34,7 | 33,9 | 34,6 | 43,9 | 36,5 | 36,7 | 33   | 37,6 | 33,5 |

Таблица 4.2 – Среднеквадратические значения яркости по локальным областям  
(черный гранит)

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0 | 10,7 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1 | 10,3 | 10,5 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 11,2 | 10,8 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2 | 9,8  | 10,6 | 10,4 | 10,3 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 10,4 | 10,1 | 10,5 | 11,4 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 10,8 | 10,3 | 10,7 | 10,7 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 10,5 | 13   | 11,3 | 10,7 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3 | 8,8  | 11,1 | 10,6 | 14   | 11,4 | 10,5 | 8,5  | 9,1  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 10,5 | 10   | 9,3  | 9    | 9,3  | 11,3 | 12,5 | 11,1 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 9    | 11,5 | 10,2 | 9,6  | 13,1 | 10,9 | 12,7 | 13,2 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 10,9 | 11,4 | 11,1 | 10,7 | 9,8  | 8,9  | 9,4  | 10,9 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 10,9 | 9,4  | 10,6 | 9,1  | 10,7 | 10   | 13,1 | 10,1 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 11,3 | 11,9 | 10,7 | 11,8 | 9    | 13,7 | 9,7  | 10,6 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 11,2 | 10,7 | 12   | 14,4 | 10,8 | 11   | 10,1 | 11,9 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 10,5 | 10,7 | 15,7 | 9,9  | 9,7  | 14,1 | 11,4 | 10,6 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4 | 9,4  | 9,3  | 13,9 | 10,1 | 9    | 15,6 | 15,6 | 10,7 | 10,8 | 12   | 14,8 | 8,2  | 10,1 | 9,4  | 9,1  | 11   |
|   | 10   | 10,6 | 12   | 12   | 9,8  | 9,9  | 18   | 14,4 | 13,8 | 12,2 | 10,9 | 10,6 | 9,4  | 9,2  | 9,2  | 11,1 |
|   | 13,3 | 9,6  | 12,1 | 10,7 | 12,7 | 10,4 | 10,7 | 10,2 | 11,2 | 9,9  | 9,9  | 11,4 | 16,8 | 10,1 | 9,4  | 8,9  |
|   | 11,2 | 12,2 | 10,3 | 11,4 | 9,1  | 8,6  | 10,6 | 9    | 8,8  | 11,1 | 14,9 | 11,4 | 14,2 | 10,2 | 11,9 | 16,3 |
|   | 9,1  | 11,6 | 14,6 | 12,2 | 12,1 | 10,4 | 11,4 | 11,7 | 11,2 | 14,8 | 9,4  | 11,7 | 18,2 | 10,2 | 11,9 | 11,7 |
|   | 9,1  | 10,8 | 11,6 | 12,1 | 8,8  | 13   | 10,3 | 8,9  | 16,8 | 12,7 | 10,3 | 15,1 | 12,7 | 12,3 | 13,9 | 18,1 |
|   | 12,1 | 13,9 | 10,6 | 14,8 | 10,4 | 11   | 13,5 | 10,8 | 11,4 | 11,8 | 10,4 | 9,7  | 11,2 | 8,8  | 10,5 | 14,2 |
|   | 12,1 | 9,9  | 12,8 | 10,4 | 10,8 | 15,4 | 10   | 11,6 | 10,4 | 9,2  | 8,2  | 11,2 | 9,5  | 11,6 | 12,7 | 10   |
|   | 10,7 | 9,8  | 10,3 | 9,7  | 12,8 | 9,4  | 9,6  | 9,7  | 9,4  | 12,1 | 10   | 11   | 12   | 11,4 | 10,9 | 11,8 |
|   | 12,5 | 14,5 | 12,4 | 9,3  | 10,1 | 13,3 | 10,4 | 10,8 | 12   | 12,7 | 11   | 12,3 | 11,7 | 18,8 | 11,6 | 10,1 |
|   | 14,1 | 10,8 | 9    | 12   | 11,1 | 11,5 | 15   | 14,9 | 8,8  | 11,8 | 13,6 | 12,7 | 11,3 | 12,1 | 14,2 | 11,2 |
|   | 11,2 | 13,6 | 16,3 | 12,8 | 14,6 | 9,2  | 8,8  | 11,5 | 8,7  | 10,8 | 18,9 | 11,7 | 10,5 | 8,7  | 8,7  | 10,6 |
|   | 12,4 | 11,6 | 13   | 12,8 | 12,6 | 15,8 | 13   | 10,4 | 13,8 | 9,5  | 15,3 | 10,3 | 10,6 | 11,6 | 9    | 13,3 |
|   | 14,2 | 10,6 | 9,6  | 11,2 | 11,1 | 12,3 | 23   | 11,1 | 13   | 10,7 | 11,2 | 10,1 | 10,1 | 12,3 | 13,5 | 14,7 |
|   | 12,4 | 10,9 | 9,9  | 14,2 | 18,8 | 22,4 | 11,5 | 7,6  | 10,2 | 11,2 | 15,3 | 9,2  | 12,2 | 8,5  | 13,9 | 8,9  |
|   | 10,5 | 12,8 | 13,3 | 8,6  | 10,8 | 9,8  | 12,6 | 11,4 | 9,7  | 11,8 | 18,7 | 14,5 | 15,7 | 11,4 | 11,9 | 10,9 |

Средний уровень яркости изображения 31,8 , а среднеквадратическое отклонение 10,4. В одном из углов объекта наблюдается незначительное просветление, практически незаметное глазу – около 12 градаций серого. Возможно, что это отблеск от источника светового излучения при фотографировании. Из сказанного выше следует, что испытуемый образец отличается достаточно высокой степенью однородности по градациям серого.

На рисунке 4.3 имеется светлое полутоновое изображение (изображение 1) белого мрамора.

Таблица 4.3 – Средние значения яркости по локальным областям (белый мрамор)

68

Таблица 4.4 – Среднеквадратические значения яркости по локальным областям  
(белый мрамор)

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0 | 6,1  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1 | 5,6  | 5,8  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 6,8  | 6,4  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2 | 7,8  | 7,7  | 8,2  | 8,2  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 7,9  | 8,4  | 8,3  | 8,7  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 9,8  | 8,9  | 8,6  | 9,6  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 8,6  | 8,6  | 8,6  | 9    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3 | 14,4 | 14,7 | 14,8 | 14,9 | 14,9 | 15   | 15,2 | 15,5 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 14,7 | 14,7 | 14,8 | 14,9 | 15,2 | 15,1 | 15,4 | 15,5 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 14,8 | 14,6 | 14,8 | 15,2 | 15,2 | 15,5 | 15,6 | 15,4 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 15,1 | 15,1 | 15,3 | 15,8 | 15,5 | 15,6 | 15,6 | 15,9 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 15,8 | 15,5 | 15,6 | 15,5 | 15,7 | 15,7 | 15,8 | 16   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 15,6 | 15,7 | 15,7 | 15,6 | 15,6 | 15,6 | 16,1 | 16,2 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 15,5 | 15,4 | 15,4 | 15,9 | 15,7 | 15,7 | 16,1 | 16   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 15,1 | 15,5 | 15,1 | 15,7 | 15,8 | 15,9 | 15,8 | 15,9 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4 | 30,8 | 30,7 | 31   | 31,1 | 31,3 | 31,3 | 31,1 | 31,3 | 31,7 | 31,6 | 31,9 | 32   | 32,5 | 32,8 | 32,6 | 32,4 |
|   | 30,9 | 30,8 | 30,8 | 31,4 | 31,6 | 31,9 | 31,8 | 31,9 | 31,5 | 31,5 | 31,9 | 32,1 | 32,4 | 32,7 | 32,9 | 33   |
|   | 30,9 | 31,1 | 31,5 | 31,6 | 31,7 | 31,9 | 31,9 | 31,9 | 32,1 | 32,2 | 32,1 | 32,4 | 32,4 | 32,9 | 32,8 | 32,6 |
|   | 31,4 | 31,4 | 31,4 | 31,4 | 31,7 | 31,8 | 32   | 32   | 32,2 | 32,6 | 32,4 | 32,2 | 32   | 32,4 | 32,4 | 32,3 |
|   | 31,6 | 31,4 | 31,1 | 31,4 | 31,6 | 31,6 | 31,9 | 32,2 | 32,6 | 32,6 | 32,7 | 32,8 | 31,9 | 32,6 | 32,9 | 32,9 |
|   | 31,7 | 31,3 | 31,2 | 31,5 | 31,5 | 32   | 32,2 | 32,3 | 32,4 | 32,4 | 32,8 | 32,1 | 32,7 | 32,7 | 33   | 32,9 |
|   | 31,7 | 31,6 | 31,6 | 31,5 | 31,8 | 32,3 | 32,7 | 32,6 | 32,3 | 32,6 | 32,6 | 32,6 | 32,9 | 32,6 | 33   | 32,8 |
|   | 31,5 | 32   | 32,2 | 32,1 | 32   | 32,5 | 32,4 | 32,3 | 32,9 | 32,7 | 32,6 | 32,6 | 32,7 | 32,8 | 32,3 | 32,5 |
|   | 31,4 | 32,5 | 32,6 | 32,3 | 32,2 | 32   | 32,4 | 32,5 | 32,5 | 33   | 32,9 | 32,6 | 33   | 33,2 | 32,4 | 32,3 |
|   | 30,9 | 32,3 | 32,5 | 32,6 | 32   | 32,4 | 32,5 | 32,7 | 32,9 | 32,8 | 33   | 33   | 33,4 | 33,1 | 32,7 | 32,7 |
|   | 30,2 | 31,7 | 31,8 | 32,5 | 32,4 | 32   | 32,8 | 33,1 | 33,1 | 32,8 | 33   | 33   | 33,4 | 32,6 | 32,6 | 33,1 |
|   | 31,6 | 31,6 | 32,6 | 32,8 | 32,6 | 32,2 | 32,4 | 32,8 | 33,3 | 33,1 | 32,9 | 33,2 | 33,2 | 32,2 | 33   | 33,2 |
|   | 31,5 | 32,5 | 32,6 | 32,8 | 33   | 32,4 | 32,6 | 33,2 | 33,4 | 33,2 | 32,9 | 32,4 | 32,8 | 33,4 | 32,5 | 33   |
|   | 31,6 | 32,2 | 32,2 | 32,7 | 32,3 | 32,5 | 32,6 | 33,2 | 33,5 | 33,3 | 33,3 | 33,3 | 32,9 | 33,4 | 33,2 | 33,1 |
|   | 31,9 | 32   | 32,2 | 32,5 | 32,1 | 31,9 | 32,5 | 32,8 | 32,9 | 33,3 | 33,1 | 33,1 | 32,8 | 32,7 | 33,1 | 32,8 |
|   | 31,8 | 32,2 | 32,4 | 32,7 | 32,2 | 32,1 | 32,8 | 33,2 | 33,4 | 33,3 | 32,9 | 33,3 | 33,4 | 33,4 | 32,8 | 32,9 |

Средний уровень яркости изображения 1 рисунок 4.3 равен 219,4 , а среднеквадратическое отклонение равно 6,1. В нижней части объекта ближе к одному из углов объекта наблюдается светлое пятно, заметное невооруженному глазу – около 20 градаций серого. Возможно, что это дефект фотографирования. Следует отметить существенное отличие изображений черного гранита и белого мрамора по поведению зависимости среднеквадратичного отклонения яркости от размера локальной области. Для черного гранита эта зависимость не отслеживается, а для белого мрамора эта

зависимость имеет выраженный характер. Образец изображения белого мрамора также как и образец изображения черного гранита отличается высокой степенью однородности по градациям серого.

### 4.3.2 Цветные изображения

В качестве одного из цветных изображений выбрано изображение гранита 5 на рисунке 4.1. В таблицы 5–10 сведены результаты расчетов средних значений и среднеквадратических отклонение цветовых координат в системе RGB. Число этапов алгоритма ограничили тройкой.

Таблица 4.5 –Средние значения тона красного (гранит)

|   |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0 | 156,2 |       |       |       |       |       |       |       |
| 1 | 157,8 | 158,5 |       |       |       |       |       |       |
|   | 153,7 | 157,4 |       |       |       |       |       |       |
| 2 | 160,9 | 163,6 | 161,6 | 152,1 |       |       |       |       |
|   | 151,2 | 160,3 | 160   | 165,2 |       |       |       |       |
|   | 157,3 | 150   | 155,9 | 161,1 |       |       |       |       |
|   | 156,9 | 155,7 | 155,3 | 162,4 |       |       |       |       |
| 3 | 168,6 | 169,9 | 183,1 | 150,8 | 178,8 | 161,5 | 154,2 | 154,8 |
|   | 159,3 | 156,3 | 170,3 | 160,6 | 158,6 | 157,9 | 160   | 149,2 |
|   | 149,9 | 158,2 | 151,2 | 175   | 176,3 | 164,5 | 171,2 | 161,1 |
|   | 160,9 | 145,6 | 159,1 | 166,3 | 159,7 | 149,6 | 178,7 | 160,4 |
|   | 152,9 | 162,3 | 143,8 | 155,3 | 161   | 163,8 | 171,3 | 167,5 |
|   | 162,8 | 161,1 | 145,7 | 164,9 | 157   | 151,7 | 154,2 | 161,5 |
|   | 169,9 | 155,9 | 163,7 | 173,4 | 162,5 | 180,3 | 159,7 | 179,2 |
|   | 156,2 | 155,5 | 139,5 | 156   | 154,9 | 133,4 | 159,6 | 161,4 |

Таблица 4.6 – Среднеквадратические значения тона красного (гранит)

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0 | 32,6 |      |      |      |      |      |      |      |
| 1 | 32,8 | 31,4 |      |      |      |      |      |      |
|   | 32,6 | 33,8 |      |      |      |      |      |      |
| 2 | 30,3 | 33,9 | 28,7 | 31   |      |      |      |      |
|   | 33,6 | 32,7 | 33,4 | 31,5 |      |      |      |      |
|   | 30,5 | 34,6 | 34,2 | 31,1 |      |      |      |      |
|   | 32,1 | 33,4 | 38,4 | 31,2 |      |      |      |      |
| 3 | 29,7 | 29   | 28,1 | 32,3 | 26,4 | 26,5 | 30,5 | 27,6 |
|   | 31,4 | 31,3 | 35   | 33,7 | 32,6 | 26,4 | 32,1 | 34,5 |
|   | 36,4 | 38,6 | 30,7 | 32,6 | 29,8 | 33,8 | 23,9 | 36,3 |
|   | 29,4 | 28,8 | 35,2 | 29,6 | 32   | 34,8 | 29,4 | 33,7 |
|   | 34,5 | 33,3 | 39   | 40,2 | 32,7 | 32,3 | 31,9 | 27,7 |
|   | 27   | 28   | 23,4 | 31,3 | 38,4 | 34,3 | 34,5 | 29,6 |
|   | 26,5 | 32,2 | 33,4 | 28,5 | 37   | 31,6 | 33,1 | 28,4 |
|   | 36,1 | 32,6 | 24,3 | 38,4 | 38,6 | 33,3 | 31   | 30,3 |

Таблица 4.7 – Средние значения тона зеленого (гранит)

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $k$ |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0   | 120,1 |       |       |       |       |       |       |       |
| 1   | 121,6 | 121,8 |       |       |       |       |       |       |
|     | 118,3 | 120,4 |       |       |       |       |       |       |
| 2   | 127,4 | 127,9 | 127,5 | 121,6 |       |       |       |       |
|     | 116,8 | 117,9 | 118,1 | 123,8 |       |       |       |       |
|     | 120,6 | 117,8 | 121,7 | 124,1 |       |       |       |       |
|     | 117,5 | 121,2 | 118,5 | 121,1 |       |       |       |       |
| 3   | 133,2 | 135,3 | 143,7 | 125,8 | 137,4 | 128,6 | 126,6 | 123,4 |
|     | 127,4 | 122   | 128,9 | 121,5 | 127,2 | 124,7 | 124,9 | 119,3 |
|     | 118,9 | 117,3 | 111,6 | 122,8 | 123,2 | 126,5 | 129   | 123,5 |
|     | 122,6 | 115,9 | 121,1 | 123,6 | 118,7 | 111,5 | 127,9 | 122,7 |
|     | 122,3 | 119   | 107,9 | 112,5 | 124,8 | 126,4 | 128,4 | 128   |
|     | 128,7 | 120   | 131,8 | 126,7 | 118,9 | 124,2 | 125,1 | 122,9 |
|     | 124,9 | 113,9 | 125   | 129,3 | 118,5 | 129,1 | 119,9 | 127   |
|     | 118,5 | 120,1 | 119,9 | 118,4 | 120,9 | 113,1 | 122,9 | 122,3 |

Таблица 4.8 – Среднеквадратические значения тона зеленого (гранит)

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $k$ |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0   | 20,4 |      |      |      |      |      |      |      |
| 1   | 21,4 | 19,1 |      |      |      |      |      |      |
|     | 21,3 | 19,6 |      |      |      |      |      |      |
| 2   | 20,2 | 21,2 | 18,1 | 19   |      |      |      |      |
|     | 21,1 | 21,4 | 20,3 | 18,4 |      |      |      |      |
|     | 18,2 | 25   | 21,4 | 18,6 |      |      |      |      |
|     | 21,2 | 20,4 | 20,9 | 17,5 |      |      |      |      |
| 3   | 22,1 | 18,9 | 18,2 | 21,6 | 18,3 | 14,7 | 17,4 | 16,3 |
|     | 18,2 | 20,5 | 21,1 | 19   | 20,1 | 18,5 | 19,9 | 22,9 |
|     | 22,6 | 22,8 | 18,6 | 20,6 | 17,1 | 21,4 | 14,6 | 22,1 |
|     | 19,3 | 20,4 | 19,6 | 25,8 | 19,5 | 21,4 | 17,1 | 20   |
|     | 21   | 19   | 24   | 23,6 | 18,9 | 19,2 | 19,2 | 14,9 |
|     | 16,2 | 16,6 | 26,3 | 19,6 | 24,9 | 23,3 | 23,7 | 16,5 |
|     | 23,1 | 19   | 20,3 | 17,4 | 19,8 | 15,8 | 18,8 | 18,6 |
|     | 21,9 | 21   | 22,5 | 21,3 | 24,9 | 20,9 | 17,7 | 16,1 |

Таблица 4.9 – Средние значения тона синего (гранит)

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $k$ |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0   | 108,5 |       |       |       |       |       |       |       |
| 1   | 110,2 | 111,2 |       |       |       |       |       |       |
|     | 106,5 | 107,9 |       |       |       |       |       |       |
| 2   | 118,7 | 116,7 | 118,3 | 114,4 |       |       |       |       |
|     | 105,8 | 102,9 | 104,8 | 110,7 |       |       |       |       |
|     | 107,8 | 107,9 | 110,3 | 112   |       |       |       |       |
|     | 104,4 | 109,3 | 105,2 | 107,4 |       |       |       |       |
| 3   | 125,3 | 127,1 | 130,1 | 118,2 | 124,8 | 121,2 | 121,3 | 115,5 |
|     | 118,3 | 111,9 | 114,8 | 110,9 | 118,2 | 116,5 | 115,2 | 112,7 |
|     | 107,5 | 103,3 | 97    | 104,7 | 104,1 | 114,6 | 114,6 | 111,5 |
|     | 111,3 | 108   | 106,4 | 110   | 107,3 | 99,9  | 112,8 | 111,1 |
|     | 111   | 105,3 | 97,4  | 97,4  | 113,2 | 114,4 | 114,1 | 114,5 |
|     | 116,1 | 105,9 | 128,9 | 114,7 | 105,7 | 114,8 | 116,9 | 109,7 |
|     | 110,9 | 100,5 | 112,2 | 113,6 | 101,2 | 110,9 | 106,4 | 109,8 |
|     | 104,5 | 108,4 | 112,7 | 105,5 | 109,1 | 106,4 | 111,3 | 109   |

Таблица 4.10 – Среднеквадратические значения тона синего (гранит)

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $k$ |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0   | 20,4 |      |      |      |      |      |      |      |
| 1   | 21,3 | 18,7 |      |      |      |      |      |      |
|     | 22,2 | 19   |      |      |      |      |      |      |
| 2   | 20,4 | 20,4 | 19,3 | 18,2 |      |      |      |      |
|     | 19,7 | 20,8 | 19   | 16,1 |      |      |      |      |
|     | 19,2 | 25   | 20,7 | 18,4 |      |      |      |      |
|     | 23,3 | 21,1 | 19,3 | 17,2 |      |      |      |      |
| 3   | 22,2 | 21,3 | 22,1 | 19,9 | 21,6 | 15,6 | 15,9 | 17,3 |
|     | 15,9 | 19,9 | 18,9 | 17,2 | 20,3 | 19,7 | 19,2 | 20,6 |
|     | 20   | 18,6 | 15,4 | 17,9 | 15,1 | 20,9 | 16,9 | 17,6 |
|     | 20,5 | 20,3 | 17,2 | 29,2 | 19,2 | 18,9 | 15,2 | 15,9 |
|     | 22   | 17   | 18,9 | 17,3 | 18,6 | 18,2 | 18,2 | 15,9 |
|     | 19   | 18   | 28,9 | 20,3 | 22,2 | 23,5 | 22,7 | 16,9 |
|     | 27,8 | 19,1 | 22,6 | 18,5 | 18,6 | 15,7 | 17,1 | 18,3 |
|     | 20,8 | 24,6 | 24   | 19,4 | 23,5 | 18,9 | 18,1 | 16,6 |

Изученный образец гранита отличается высокой степенью однородности по всем основным цветам до третьего уровня детализации цветного изображения.

В пункте доказана работоспособность алгоритма оценки степени однородности полутоновых или цветных изображений по средним значениям и среднеквадратическим отклонениям градаций серого или цветовых координат для любого уровня детализации.

***Заключение к разделу.*** В разделе 4 приведен алгоритм оценки степени однородности полутоновых или цветных изображений по средним значениям и среднеквадратическим отклонениям градаций серого или цветовых координат для любого уровня детализации. Работоспособность алгоритма доказана для полутоновых и цветных изображений декоративных и отделочных строительных материалов со случайным распределением цветных зерен.



## **5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 5.1. Для этого необходимо отобрать не менее трех–четырёх конкурентных товаров и разработок.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i \quad (5.1)$$

Где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Из расчетов следует, что ресурсоэффективность технологии изготовления искусственных образцов из металлов несколько выше, чем у остальных методов.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки                                         | Вес критерия | Баллы          |                 |                 | Конкуренто–способность |                 |                 |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|
|                                                         |              | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>         | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| 1                                                       | 2            | 3              | 4               | 5               | 6                      | 7               | 8               |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b> |              |                |                 |                 |                        |                 |                 |
| 1. Повышение производительности труда пользователя      | 0,1          | 5              | 3               | 4               | 0,5                    | 0,3             | 0,4             |
| 2., Безопасность                                        | 0,04         | 5              | 5               | 5               | 0,2                    | 0,2             | 0,2             |
| 3. Соответствие заявленным требованиям                  | 0,04         | 5              | 5               | 4               | 0,2                    | 0,2             | 0,16            |
| 4 . Функциональность                                    | 0,02         | 5              | 4               | 4               | 0,1                    | 0,08            | 0,08            |
| 5., Качество интеллектуального интерфейса               | 0,07         | 5              | 5               | 4               | 0,35                   | 0,35            | 0,28            |
| 6. ,Возможность подключения в сеть ЭВМ                  | 0,05         | 5              | 5               | 3               | 0,25                   | 0,25            | 0,15            |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>      |              |                |                 |                 |                        |                 |                 |
| 1. Конкурентоспособность продукта                       | 0,08         | 5              | 4               | 4               | 0,4                    | 0,32            | 0,32            |
| 2. Уровень проникновения на рынок                       | 0,1          | 4              | 5               | 4               | 0,4                    | 0,5             | 0,4             |
| 3. Цена                                                 | 0,2          | 5              | 4               | 3               | 1                      | 0,8             | 0,6             |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации                     | 0,09         | 5              | 4               | 4               | 0,45                   | 0,36            | 0,36            |
| 5. Финансирование научной разработки                    | 0,07         | 5              | 4               | 3               | 0,35                   | 0,28            | 0,21            |
| 6. Многократное использование ограниченных средств      | 0,1          | 5              | 4               | 4               | 0,5                    | 0,4             | 0,4             |
| Обеспечение занятости                                   | 0,04         | 5              | 5               | 4               | 0,2                    | 0,2             | 0,16            |
| Итого                                                   | <b>1</b>     | <b>64</b>      | <b>57</b>       | <b>50</b>       | <b>4,9</b>             | <b>4,24</b>     | <b>3,72</b>     |

### 5.3 SWOT–анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно–исследовательского проекта. SWOT–анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап – заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Все результаты отображены в матрице SWOT (Таблица 5.2.).

Таблица 5.2 – Матрица SWOT

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Сильные стороны научно–исследовательского проекта:</b><br>С1. Исследование оценки площади оптической неоднородности на основе анализа цифровых изображений<br>С2. Исследование измерений площади оптической неоднородности по цифровому оптическому изображению<br>С3. Исследование линейных размеров<br>С4. Возможность более качественного проведения контроля<br>С5. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями<br>С6. Возможность более долгого использования<br>С7. Наличие бюджетного финансирования. | <b>Слабые стороны научно–исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Меньшая устойчивость к внешним воздействиям по сравнению с аналогом<br>Сл2. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ<br>Сл3. Отсутствие технологического пакета.                                     |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ<br>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт<br>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства<br>У2. Развитая конкуренция технологий производства<br>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции<br>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства |

Второй этап – состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно–исследовательского проекта внешним условиям окружающей

среды. Это соответствие или несоответствие выявит степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа была построена интерактивная матрица проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в интерактивной матрице проекта.

Таблица 5.3 – Матрица «Сильные стороны–возможности»

| Возможности<br>проекта |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                        | B1 | +  | +  | –  | –  | –  | –  | +  |
|                        | B2 | –  | –  | –  | –  | +  | –  | –  |
|                        | B3 | +  | +  | +  | +  | +  | +  | –  |
|                        | B4 | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |

Таблица 5.4 – Матрица «Слабые стороны–возможности»

| Возможности<br>проекта |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
|                        | B1 | +   | –   | –   |
|                        | B2 | –   | +   | –   |
|                        | B3 | –   | –   | +   |

Таблица 5.5 – Матрица «Сильные стороны–угрозы»

| Угрозы<br>проекта |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                   | У1 | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
|                   | У2 | 0  | 0  | –  | –  | +  | –  | +  |
|                   | У3 | +  | +  | –  | –  | 0  | –  | –  |
|                   | У4 | –  | +  | –  | –  | –  | –  | +  |

Таблица 5.6 – Матрица «Слабые стороны–угрозы»

| Угрозы проекта |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|----------------|----|-----|-----|-----|
|                | У1 | +   | +   | +   |
|                | У2 | +   | +   | –   |
|                | У3 | +   | –   | +   |
|                | У4 | –   | +   | +   |

После проведенного SWOT–анализа можно сделать вывод, что данная технология имеет преимущества по сравнению с имеющимися разработками: трещины с заданными параметрами; более долгое использование. Данные разработки имеет низкую стоимость, по сравнению с существующими технологиями, что будет способствовать привлечению покупателей. При реализации данного проекта могут возникнуть трудности из–за необходимости более бережного хранения и использования искусственных образцов, по сравнению с контрольными образцами. Отсутствие спроса на образцы может быть вызвано как неосведомленностью покупателей о появлении на рынке разработки, так и непониманием преимуществ новшества.

#### 5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для оценки готовности проекта заполняется форма (Приложение В), содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного

проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (5.2)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется суммарным количеством баллов. Таким образом, перспективность разработки и знания разработчика средние.

## **5.5 Инициация проекта**

### **5.5.1 Цели и результат проекта**

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п.

В таблице 5.7 приведена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 5.7 –Заинтересованные стороны проекта

| Заинтересованные стороны проекта                                                     | Ожидания заинтересованных сторон                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Российско–китайская научная лаборатория радиационного контроля и досмотра ИНК НИ ТПУ | Появление на рынке продукта, который будет дешевле и долговечнее существующих аналогов и соответствовать заявленным требованиям. |
| Руководитель Осипов С.П.                                                             |                                                                                                                                  |
| Исполнитель Алибекова А.А.                                                           |                                                                                                                                  |

В таблице 5.8 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 5.8 – Цели и результат проекта

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цели проекта:                    | Исследовать возможные приложения фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов и разработать ряд алгоритмов обработки цифровых изображений строительных материалов и изделий с целью оценки их качества. |
| Ожидаемые результаты проекта:    | проведение алгоритма оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия, многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям                                                                    |
| Требования к результату проекта: | Экономическая обоснованность                                                                                                                                                                                                                     |
|                                  | Соответствие параметров изображений строительных материалов и изделий с данными образцами.                                                                                                                                                       |

### 5.5.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решаются следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информация представлена в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Рабочая группа проекта

| №<br>п/п | ФИО,<br>основное место<br>работы,<br>должность | Роль в проекте            | Функции                                                                                        | Трудо–<br>затраты,<br>час. |
|----------|------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1        | Осипов С.П.                                    | Руководитель<br>проекта   | Координация<br>деятельности участников<br>проекта                                              | 400                        |
| 2        | Алибекова А.А.                                 | Исполнитель по<br>проекту | провести цикл<br>экспериментальных работ<br>по исследованию<br>работоспособности<br>алгоритмов | 1250                       |
| ИТОГО:   |                                                |                           |                                                                                                | 1650                       |

### 5.6 Планирование управления научно–техническим проектом

#### 5.6.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется

содержание всего проекта. На рисунке 5.1 представлена иерархическая структура работ по проекту.

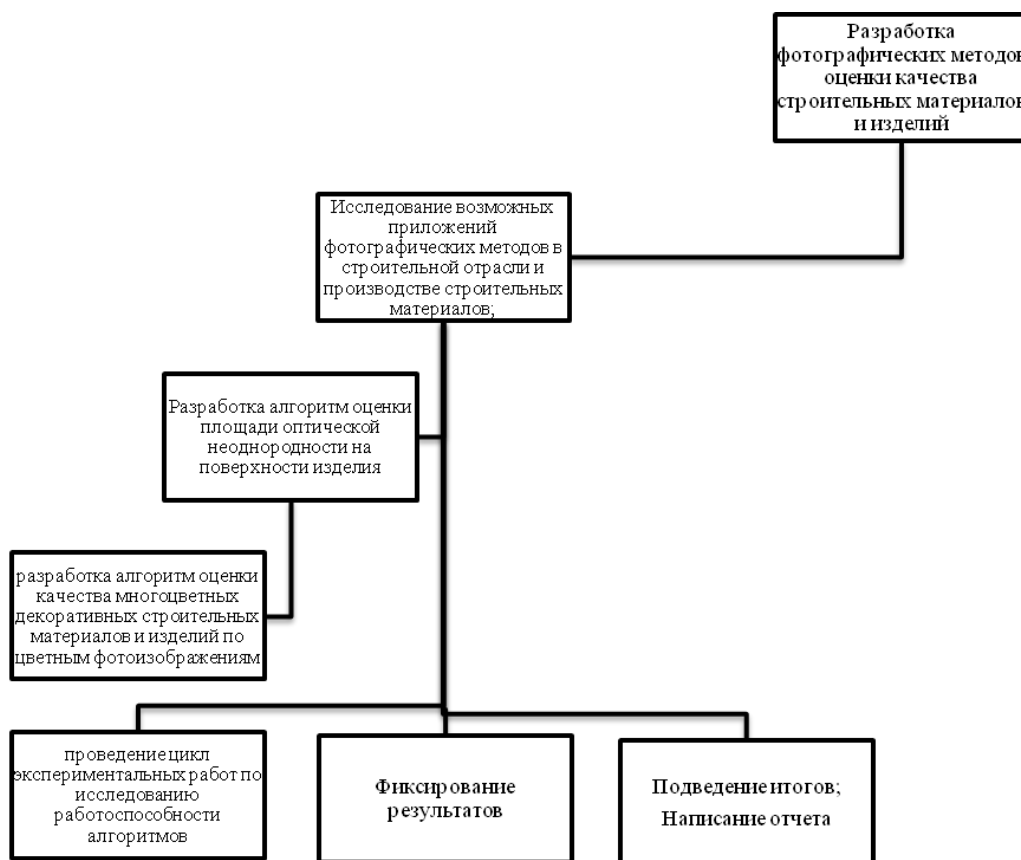


Рисунок 5.1 – Иерархическая структура проекта

### 5.6.2 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Матрица ответственности

| Этапы проекта                                     | Руководитель<br>Осипов С.П. | Исполнитель<br>Алибекова А.А. |
|---------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Разработка и согласование<br>технического задания | +                           | +                             |
| Изучение литературы                               |                             | +                             |

|                                                                                                                                |   |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| Изучение имеющихся технологий изготовления и исследования                                                                      |   | + |
| Проведение патентного поиска и оформление его результатов                                                                      |   | + |
| Обзор НТД                                                                                                                      |   | + |
| Разработка и исследование фотографических изображений строительных материалов и изделий                                        | + | + |
| Исследование алгоритма оценки качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям |   | + |
| Исследование цикл экспериментальных работ по исследованию работоспособности алгоритмов                                         |   | + |
| Исследование алгоритма оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия                                         |   | + |
| Написание статей и отчетов                                                                                                     | + | + |
| Оформление отчета.                                                                                                             | + | + |

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом: Ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход. Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо,

осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение). Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

### 5.6.3 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела были определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация сведена в таблицу 5.11.

Таблица 5.11 – Контрольные события проекта

| №<br>п/п | Контрольное<br>событие                  | Дата     | Результат (подтверждающий документ)                                                           |
|----------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Инициация<br>проектом                   | 15.09.15 | Техническое задание, календарный план                                                         |
| 2        | Формирование<br>требований к<br>проекту | 12.10.15 | Литературный обзор, исходные данные<br>к работе                                               |
| 3        | Разработка                              | 16.11.15 | Разработка и исследование<br>фотографических изображений<br>строительных материалов и изделий |
| 4        | Оформление<br>результатов               | 11.05.16 | Оформление отчета                                                                             |

### 5.6.4 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу сведена в таблицу 5.12.

Таблица 5.12 – Реестр рисков

| Название                                                    | Потенциальное воздействие                                               | Вероятность наступления (1–5) | Влияние риска (1–5) | Уровень риска | Способы смягчения риска                                                            | Условия наступления                                   |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Риск технологической «неадекватности»                       | Низкий уровень финансирования проекта                                   | 1                             | 5                   | Низкий        | Грамотный алгоритм оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия | Отсутствие заказчика                                  |
| Риск финансовой «неадекватности»                            | Использование материалов низкого качества, остановка реализации проекта | 1                             | 4                   | Низкий        | Точный расчет необходимых затрат                                                   | Неверный расчет бюджета проекта                       |
| Риск неправильной оценки характеристик контрольных образцов | Время работы над проектом                                               | 2                             | 5                   | Низкий        | Персонал должен проходить периодическую переподготовку                             | Низкий профессиональный уровень работающего персонала |
| Риск неуправляемости проектом                               | Низкий уровень качества разработанной технологии                        | 3                             | 5                   | Средний       | Привлечение высококвалифицированного персонала                                     |                                                       |

### 5.6.5 План проекта

Для планирования выполнения ВКР необходимо составить календарный план проекта и построить линейный график проекта. Календарный план проекта представлен в таблице 5.13.

В данном пункте расчет продолжительность этапов работ будет осуществляться опытно–статистическим методом, который реализуется двумя способами:

- экспертный;
- аналоговый.

Экспертный способ предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5} \quad (5.3)$$

где  $t_{\min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{\max}$  – максимальная продолжительность работы, дн..

Для выполнения работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{рд}$ ) ведется по формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (5.4)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{вн} = 1$ ;

$K_{д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_{д} = 1–1,2$ ; предположим, что  $K_{д}=1,2$ .)

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{К}} \cdot T_{\text{РД}} \quad (5.5)$$

где  $T_{\text{КД}}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} \quad (5.6)$$

где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни ( $T_{\text{КАЛ}} = 366$ );

$T_{\text{ВД}}$  – выходные дни ( $T_{\text{ВД}} = 52$ );

$T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{ПД}} = 10$ ).

На 2016 год коэффициент календарности равен:

$$T_{\text{К}} = \frac{366}{366 - 52 - 10} = 1,204 \quad (5.7)$$

В таблице 5.13 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

Таблица 5.13 – Трудозатраты на выполнение проекта

| Этап                                                      | Исполнители | Продолжительность работ, дни |           |             | Трудоемкость работ по исполнителям чел.– дн. |           |             |             |
|-----------------------------------------------------------|-------------|------------------------------|-----------|-------------|----------------------------------------------|-----------|-------------|-------------|
|                                                           |             | $t_{min}$                    | $t_{max}$ | $t_{ож}$    | $T_{РД}$                                     |           | $T_{КД}$    |             |
|                                                           |             |                              |           |             | НР                                           | И         | НР          | И           |
| 1                                                         | 2           | 3                            | 4         | 5           | 6                                            | 7         | 8           | 9           |
| Постановка задачи                                         | НР          | 2                            | 4         | 2,8         | 3,36                                         | –         | 4,05        | –           |
| Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)        | НР, И       | 3                            | 4         | 3,4         | 4,08                                         | 0,816     | 4,9         | 0,89        |
| Подбор и изучение материалов по тематике                  | НР, И       | 8                            | 10        | 8,8         | 3,16                                         | 10,56     | 3,814       | 12,71       |
| Разработка календарного плана                             | НР, И       | 2                            | 4         | 2,8         | 3,36                                         | 0,67      | 4,05        | 0,81        |
| Обсуждение литературы                                     | НР, И       | 5                            | 8         | 6,2         | 0,558                                        | 7,44      | 0,67        | 8,96        |
| Разработка методики исследований                          | НР, И       | 15                           | 20        | 17          | 20,4                                         | 10,2      | 24,56       | 12,3        |
| Проведение исследований                                   | НР, И       | 20                           | 22        | 20,8        | 24,96                                        | 7,5       | 30          | 9           |
| Разработка структурной схемы                              | НР, И       | 1                            | 2         | 1,4         | 1,68                                         | 1,68      | 2,02        | 2,02        |
| Разработка принципиальной схемы                           | НР, И       | 2                            | 4         | 2,8         | 3,36                                         | 1,68      | 4,05        | 2,02        |
| Разработка программного обеспечения для работы устройства | И           | 8                            | 10        | 8,8         | –                                            | 10,56     | –           | 12,7        |
| Оформление расчетно–пояснительной записки                 | И           | 3                            | 4         | 3,4         | –                                            | 4,08      | –           | 4,9         |
| <b>Итого:</b>                                             |             |                              |           | <b>78,2</b> | <b>64,9</b>                                  | <b>59</b> | <b>78,1</b> | <b>71,2</b> |

Таблица 5.14 – Линейный график работ

| Этап | НР    | И     | Март |    |    | Апрель |    |    | Май |    |    | Июнь |     |
|------|-------|-------|------|----|----|--------|----|----|-----|----|----|------|-----|
|      |       |       | 10   | 20 | 30 | 40     | 50 | 60 | 70  | 80 | 90 | 100  | 110 |
| 1    | 4,05  | –     | ■    |    |    |        |    |    |     |    |    |      |     |
| 2    | 4,9   | 0,89  |      | ■  |    |        |    |    |     |    |    |      |     |
| 3    | 3,814 | 12,71 |      | ■  | ■  |        |    |    |     |    |    |      |     |
| 4    | 4,05  | 0,81  |      |    | ■  |        |    |    |     |    |    |      |     |
| 5    | 0,67  | 8,96  |      |    |    | ■      | ■  |    |     |    |    |      |     |
| 6    | 24,56 | 12,3  |      |    |    | ■      | ■  | ■  |     |    |    |      |     |
| 7    | 30    | 9     |      |    |    |        |    | ■  | ■   | ■  | ■  |      |     |
| 8    | 2,02  | 2,02  |      |    |    |        |    |    |     |    |    | ■    |     |
| 9    | 4,05  | 2,02  |      |    |    |        |    |    |     |    |    | ■    |     |
| 10   | –     | 12,7  |      |    |    |        |    |    |     |    |    | ■    | ■   |
| 11   | –     | 4,9   |      |    |    |        |    |    |     |    |    |      | ■   |

НР – ■ И – ■

## 5.7 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета разработки технологии изготовления контрольных образцов из неметаллов необходимо провести полную оценку всех расходов, необходимых для ее выполнения. Расходы группируются по следующим статьям:

1. расходы на сырье, материалы, покупные изделия;
2. расходы на специальное оборудование;
3. основная заработная плата;
4. дополнительная заработная плата;
5. отчисления в социальные фонды;
6. работы, выполняемые сторонними организациями;
7. накладные расходы.

### 5.7.1 Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Проведем расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам. Материалы, необходимые для выполнения ВКР и их стоимость приведены в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Сырье, материалы необходимые для выполнения ВКР

| Наименование               | Кол–<br>во | Цена за единицу,<br>руб. | Сумма, руб. |
|----------------------------|------------|--------------------------|-------------|
| Бумага для оргтехники (А4) | 1 шт.      | 240                      | 240         |
| Канцелярские товары        | 1 шт.      | 75                       | 75          |
| USB Flash накопитель       | 1шт.       | 1590                     | 1590        |
| Всего за материалы         |            |                          | 1905        |
| Итого по статье $C_m$      |            |                          | 1905        |

### 5.7.2 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об.}} \cdot t_{\text{об.}} \cdot C_{\text{э}} \quad (5.8)$$

где  $P_{\text{об.}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об.}}$  – время работы оборудования, час.

$$C_{\text{э}} = 5,257 \text{ руб./кВт·час (с НДС);}$$

$t_{\text{об.}} = T_{\text{рд.}} \cdot K_t$ , где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, выбирается самостоятельно (возьмем равным 0,7). Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.16 для инженера ( $T_{\text{рд.}}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об.}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_c \quad (5.9)$$

где  $P_{\text{ном.}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_c = 1$ .

Таблица 5.16 – Затраты на технологическую электроэнергию

| Наименование оборудования                             | Время работы оборудования $t_{\text{об.}}$ , час | Потребляемая мощность $P_{\text{об.}}$ , кВт | Затраты $C_{\text{эл.об.}}$ , руб. |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| Персональный компьютер                                | 392                                              | 0,3                                          | 651,22                             |
| Цифровой фотоаппарат Nikon D750 Kit                   | 392                                              | 0,15                                         | 325,61                             |
| Цифровой фотоаппарат с аленьким фокусом Sony DSC–HX50 | 392                                              | 0,1                                          | 217,07                             |
| Светодиодные лампы                                    | 392                                              | 0,05                                         | 108,54                             |
| <b>Итого:</b>                                         |                                                  |                                              | <b>1302,44</b>                     |

### 5.7.3 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно–заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли–продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это  $5 \div 20 \%$ . Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах. Пример смотреть в таблицу 5.17

Таблица 5.17 – Расчет затрат на материалы

| Наименование материалов                                | Цена за<br>ед., руб. | Кол–во | Сумма,<br>руб. |
|--------------------------------------------------------|----------------------|--------|----------------|
| Цифровой фотоаппарат Nikon D750 Kit                    | 379990               | 1 шт.  | 379990         |
| GreenBean VideoCraft 316 штатив                        | 6460                 | 1 шт.  | 6460           |
| Объектив Nikon AF–S NIKKOR 70–200mm f/4G ED VR Lens    | 98000                | 1шт    | 98000          |
| Цифровой фотоаппарат с маленьким фокусом Sony DSC–HX50 | 20500                | 1шт    | 20500          |
| Программное обеспечение специализированный             | 8399                 | 1шт    | 8399           |
| Светодиодные лампы                                     | 650                  | 3шт    | 1950           |
| Персональный компьютер                                 | 50000                | 1экз.  | 50000          |
| <b>Итого:</b>                                          |                      |        | <b>565299</b>  |

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{мат}} = 565299 * 1,05 = 593563,95 \text{ руб.}$$

#### 5.7.4 Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Оклад инженера принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, где исполнитель проходил преддипломную практику. При отсутствии такового берется оклад инженера собственной кафедры (лаборатории).

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{\text{дн-т}}$ ) рассчитывается по формуле

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/24,83 \quad (5.10)$$

$ЗП_{\text{дн-т}} = 37000/24,83 = 1490,13$  – среднетарифная  $ЗП$  научного руководителя

$ЗП_{\text{дн-т}} = 10500/24,83 = 422,88$  – среднетарифная  $ЗП$  инженер

учитывающей, что в году 294 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5.18. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5.21. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:

$$K_{\text{ПР}} = 1,1; K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188; K_{\text{р}} = 1,3.$$

Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному

заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{и}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Таблица 5.18 – Затраты на заработную плату

| Исполнитель | Оклад,<br>руб./мес. | Среднедневная ставка,<br>руб./раб.день | Коэффициент |
|-------------|---------------------|----------------------------------------|-------------|
| НР          | 37000               | 1490,13                                | 1,699       |
| И           | 10500               | 422,88                                 | 1,699       |

Таблица 5.19 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени                  | Руководитель | Исполнитель |
|----------------------------------------------|--------------|-------------|
| Календарное число дней                       | 365          | 365         |
| Количество нерабочих дней                    | 71           | 71          |
| – выходные дни                               | 51           | 51          |
| – праздничные дни                            | 20           | 20          |
| Потери рабочего времени на отпуск            | 48           | 0           |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 246          | 294         |

Исходя из количества рабочих, основная заработная плата составит для руководителя:

$$З_{\text{осн.р}} = 1490,13 \cdot 264 = 393394,32 \text{ руб.}$$

для исполнителя:  $З_{\text{осн.и}} = 422,88 \cdot 393 = 166191,84 \text{ руб.}$

Таблица 5.20 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители  | $З_{\text{м}}$ ,<br>руб | $З_{\text{дн}}$ ,<br>руб. | $T_{\text{р}}$ ,<br>раб.дн. | $З_{\text{осн}}$ ,<br>руб. |
|--------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Руководитель | 37000                   | 1490,13                   | 264                         | 393394,32                  |
| Исполнитель  | 10500                   | 422,88                    | 393                         | 166191,84                  |

### 5.7.5 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата научно–производственного персонала составляет в среднем 12% от суммы основной заработной платы.

Таким образом, дополнительная заработная плата:

для руководителя:

$$З_{д.р} = 393394,32 \cdot 0.12 = 47207,32 \text{руб}$$

для исполнителя:

$$З_{д.и} = 166191,84 \cdot 0.12 = 19943,02 \text{руб.}$$

Таблица 5.21 – Заработная плата исполнителей ВКР

| Заработная плата                           | Руководитель     | Исполнитель |
|--------------------------------------------|------------------|-------------|
| Основная зарплата                          | 393394,32        | 166191,84   |
| Дополнительная зарплата                    | 47207,32         | 19943,02    |
| Итого                                      | 440601,64        | 186134,86   |
| <b>Итого по статье <math>C_{зп}</math></b> | <b>626736,50</b> |             |

### 5.7.6 Расчет отчислений на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды: пенсионный фонд, фонд ОМС и т.д. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 30%, тогда

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (5.11)$$

$$C_{внеб} = 0,3 \cdot 440601,64 = 132180,5 \text{руб.}$$

### 5.7.7 Расчет накладных расходов

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляют 80–100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Примем коэффициент накладных расходов  $k_{\text{накл}}$  равным 90%,

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (5.12)$$

$$C_{\text{накл}} = 0,9 \cdot 440601,64 = 396541,5 \text{ руб.}$$

Группировка затрат по статьям приведена в таблице 5.22. Плановая себестоимость составила 1757192,50 руб.

Таблица 5.22 – Группировка затрат по статьям

| Статьи затрат                                      | Стоимость, руб. |
|----------------------------------------------------|-----------------|
| Материалы                                          | 1905            |
| Специальное оборудование                           | 593563,95       |
| Заработная плата                                   | 626736,50       |
| Отчисления на социальные нужды                     | 132180,50       |
| Оплата работ, выполняемых сторонними организациями | 6265            |
| Накладные расходы                                  | 396541,50       |
| Итого плановая себестоимость                       | 1757192,50      |

Для реализации данной разработки потребуется 1757192,50 рубля.

### **5.7.8 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями**

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями, включает в себя:

- Услуги Internet 275р в месяц. За 22 месяца – 6050руб;
- Распечатка 110 стр. – 165 руб., переплет – 50 руб.

Суммарные расходы на оплату работ, выполняемых сторонними организациями: 6265 руб.

### **5.7.9 Оценка экономической выгоды проекта**

Оптические методы неразрушающих испытаний в различных их реализациях в настоящее время продолжают оставаться самыми востребованными. Визуальные и визуально–измерительные методы обладают рядом достоинств, среди которых важнейшими является простота и минимальные материальные затраты, безопасности и качеству строительных материалов, изделий и сооружений.

Полученные в результате диссертационных исследований алгоритмы обработки информации и рекомендации позволяют повысить точность оценки линейных и площадных размеров, а также качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям.

**Заключение по разделу.** По результатам выполненного задания для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» было достигнуто следующее:

- Были определены потенциальные потребители результатов исследования;
- Проведен SWOT–анализ, по результатам которого можно сделать вывод, что данная технология имеет преимущества по сравнению с имеющимися разработками. Данная разработка и имеет низкую стоимость, по

сравнению с существующими технологиями. Для повышения спроса необходима активная рекламная компания;

– Определены цели и требования к результатам проекта. Целью является исследование возможных приложений фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов и разработать ряд алгоритмов обработки цифровых изображений строительных материалов и изделий с целью оценки их качества.. Результате исследований алгоритма обработки информации и рекомендации позволяют повысить точность оценки линейных и площадных размеров, а также качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям

– Составлен план проекта, в соответствии с которым определяются объем работ и время, затрачиваемое на ее выполнение. Из календарного плана следует, что руководитель (Осипов С. П.) занят календарных 323 дня (264 рабочих дней), исполнитель ВКР (Алибекова А.А.) занят календарных 492 дня (393 рабочих дней);

– Рассчитан бюджет научного исследования. Рассчитано, что для реализации проекта требуется 1757192,50 рубля;

–Проведена оценка экономической выгоды исследования.

## **6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

В данном разделе мы рассмотрим безопасность и экологичность процесса разработки фотографических методов оценки качества строительных материалов и изделий.

Проведение исследования включает в себя такие виды работы как: работу с оборудованием, работу в ручную с инструментами и образцами исследования, настройку работы оборудования, а также работу с ЭВМ.

К социальной ответственности относятся соблюдение трудовой дисциплины, своевременная оплата труда, обеспечение льготами работников вредных производств, предоставление отпуска и многие другие мероприятия, регулируемые законодательством.

Основным и одним из самых важных условий обеспечения социальной ответственности при осуществлении работы любого предприятия является выполнение основ безопасности. Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Обеспечение социальной ответственности на предприятии – это совокупность мероприятий организационного и технического характера, которые направлены на предотвращение на производстве несчастных случаев и на создание безопасных условий труда.

С целью обеспечения охраны труда на предприятиях прикладываются все усилия для того, чтобы сделать труд работающих людей безопасным, а как итог, большие средства выделяются именно для осуществления этих целей.

Со своей стороны, работник должен пройти инструктаж и подписать соответствующие документы, обязывающие его соблюдать меры предосторожности и регламент технологического процесса.

## **6.1 Производственная безопасность**

При выполнении работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шум, недостаточная освещенность, электрический ток, работа при высоких температурах, физические и эмоциональные перегрузки [49].

К физическим факторам можно отнести опасность поражения электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием, питающимся от сети –220В 50Гц, воздействие излучение монитора компьютера.

К психофизическим факторам можно отнести шумовое воздействие, монотонность работы, умственное перенапряжение и т.п. В ходе смешения полимера с наполнителем, а также при обработке полученных композиций, оператор выполняет монотонную работу, что может вызвать возникновение нервных расстройств или переутомляемость [50].

На производительность труда влияют следующие вредные производственные факторы:

- недостаточная освещенность рабочего места;
- уровень шума;
- пониженная или повышенная температура рабочей зоны;
- отклонение от нормативных значений влажности воздуха.

## **6.2 Анализ вредных и опасных факторов**

### **6.2.1 Повышенный уровень шума**

Шум – совокупность аperiодических звуков различной интенсивности и частоты. С физиологической точки зрения шум – это всякий неблагоприятный воспринимаемый звук .

Источником шума является любой процесс, вызывающий местное изменение давления или механические колебания в твердых, жидких и

газообразных средах. Шум имеет определенную частоту, или спектр, выражаемый в герцах, и интенсивность — уровень звукового давления, измеряемый в децибелах. Для человека область слышимых звуков определяется в интервале от 16 до 20000 Гц. Диапазон воспринимаемых ухом уровней звукового давления простирается от  $2 \times 10^{-5}$  до  $2 \times 10^2$  Н/м<sup>2</sup> [51].

Основными источниками шума при выполнении данной работы являются, принтер, вытяжка, гидравлический пресс и компрессор.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на ЦНС и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Со стороны психики наблюдается подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. Шум снижает работоспособность и производительность труда. Уровень шума в лабораториях для проведения экспериментов, не должен превышать 75 дБА .

Нормируемые уровни шума обеспечиваются путем использования малоз шумного оборудования, применением звукопоглощающих материалов (специальные перфорированные плиты, панели, минераловатные плиты). Кроме того, необходимо использовать подвесные акустические потолки.

Для снижения шума от воздушного компрессора в лаборатории должен использоваться звукоизоляционный кожух (шкаф), который устанавливается непосредственно близости источника шума. Кожух выполняется из металла, покрытого изнутри звукоизоляционным материалом. Снижение уровня шума до 61 дБА. Гидравлический пресс должен быть установлен в отдельном помещении, поэтому нет необходимости использовать каких либо звукоизоляционных элементов для снижения уровня шума [52].

### **6.2.2 Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе**

Вредным называется вещество, которое при контакте с организмом человека может вызвать травмы, заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе контакта с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений .

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на чрезвычайно токсичные, высокотоксичные, умеренно токсичные и малотоксичные. Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества попавшего в организм вещества.

Кратковременное воздействие высоких концентраций пыли может вызывать дискомфорт в верхних дыхательных путях за счет механического раздражения. Профессиональные заболевания – в основном антракоз и пылевой бронхит. В воздухе рабочей зоны предельно допустимая концентрация технического углерода  $4,0 \text{ мг/м}^3$ .

В качестве защиты от вредного вещества рабочим должны выдаваться средства индивидуальной защиты: стерильные диагностические латексные перчатки, маску для лица (медицинская одноразовая трехслойная)[53].

### **6.2.3 Отклонение параметров микроклимата**

Независимо от состояния природных метеорологических условий в производственных помещениях и на рабочих местах должны быть созданы климатические условия, безопасные для человека и наиболее благоприятные для выполнения работы .

В организме человека происходит непрерывное выделение тепла. Одновременно с процессами выделения тепла происходит непрерывная теплоотдача в окружающую среду. Равновесие между выделением тепла и теплоотдачей регулируется процессами терморегуляции, т.е. способностью

организма поддерживать постоянство теплообмена с сохранением постоянной температуры тела.

Нарушение теплового баланса в условиях высокой температуры может привести к перегреву тела, и как следствие к тепловым ударам с потерей сознания. В условиях низкой температуры воздуха возможно переохлаждение организма, могут возникнуть простудные болезни, радикулит, бронхит и другие заболевания.

К параметрам микроклимата относятся: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

Оптимальные значения этих характеристик зависят от сезона (холодный, тёплый), а также от категории физической тяжести работы. Для инженера–программиста она является лёгкой (1а), так как работа проводится сидя, без систематических физических нагрузок.

Согласно требованиям «СанПиН 2.2.4.548–96 [54]. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» оптимальные параметры микроклимата в офисах приведены в таблице 6.1 .

Таблица 6.1. Оптимальные значения характеристик микроклимата

| Период года | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | 22–24                   | 21–25                        | 40–60                      | 0,1                            |
| Тёплый      | 23–25                   | 22–26                        | 40–60                      | 0,1                            |

Для создания благоприятных условий труда и повышения производительности, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата производственных помещений. Для этого предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), искусственное кондиционирование.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей оборудования, осветительных приборов не должна превышать 70Вт/м при величине облучения поверхности от 25% до 50% на постоянных рабочих местах . Температура в рабочей зоне должна поддерживаться отоплением в холодный период и вентиляцией в теплый период.

#### **6.2.4 Недостатки освещения на рабочем месте**

Свет является естественным условием жизни человека, необходимым для здоровья и высокой производительности труда, основанной на работе зрительного анализатора, самого тонкого и универсального органа чувств. Обеспечивая непосредственную связь организма с окружающим миром, свет является сигнальным раздражителем для органа зрения и организма в целом достаточное освещение действует тонизирующие, улучшает протекание основных процессов высшей нервной деятельности, стимулирует обменные и иммунобиологические процессы, оказывает влияние на формирование суточного ритма физиологических функций человека .

При проведении исследований должны применяться системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается [55].

Основными нормируемыми показателями являются освещенность на рабочем месте, общий индекс цветопередачи, коэффициент пульсаций освещенности. Лаборатории общего назначения с использованием электронных устройств имеют следующие нормы: освещенность 400 лк по российским нормам (СП 52.13330.2011).

Коэффициент пульсации освещенности  $K_p$  – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током.

Постоянство освещенности во времени достигается стабилизацией питающего напряжения, жестким креплением светильников, применением специальных схем включения газоразрядных ламп. Например, снижение коэффициента пульсации освещенности люминесцентных ламп с 55 до 5% (при трехфазном включении) приводит к уменьшению утомления и повышению производительности труда на 15% для работ высокой точности [55].

Величина освещенности должна быть постоянной во времени. Колебания освещенности, вызванные резким изменением напряжения в сети, имеют большую амплитуду, каждый раз вызывая переадаптацию глаза, приводят к значительному утомлению. Пульсация освещенности связана также с особенностью работы газоразрядных ламп.

### **6.2.5 Повышенные уровни электромагнитных полей**

Основными источниками электромагнитного поля на рабочем месте являются персональный компьютер и электропроводка.

Нормируемым параметром электрического поля является напряженность электрического поля ( $E$ ) в кВ/м, магнитного поля – напряженность магнитного поля ( $Я$ ) в А/м или индукция магнитного поля ( $B$ ) в мкТл, в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002–99 "ССБТ [56]. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах" и СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [57]. Напряжённость электрического поля в диапазоне частот 5Гц...2кГц – 25В/м, в диапазоне частот 2кГц...400кГц – 2,5В/м Плотность магнитного потока в диапазоне частот 5Гц...2кГц – 250нТл, в диапазоне частот 2кГц...400кГц – 25нТл.

Для снижения действия электромагнитных полей соблюдать оптимальное устройство контура заземления; оптимальную разводку питающей сети; верно планировать помещения; проводить влажные уборки помещения с ПЭВМ (вследствие чего увеличивается уровень электростатического поля); снизить наличие посторонних источников электромагнитных полей в помещении.

### **6.2.6 Электрический ток**

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА по ГОСТ Р МЭК 61140 – 2000[58].

Одной из особенностей поражения электрическим током является отсутствие внешних признаков грозящих опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить с помощью органов чувств.

Ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы таких жизненно важных органов как сердце и легкие. Поэтому второй особенностью воздействия тока на человека является тяжесть поражения.

Третья особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что токи промышленной частоты силой в 10–15 мА способны вызвать резко интенсивные судороги мышц.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями.

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с

напряжением до 1000В. Устройства относятся к 1 классу, так как имеет рабочую изоляцию и место заземления [58].

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

- применение изоляции;
- недоступность токоведущих частей;
- применение малых напряжений;
- изоляция электрических частей от земли.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. Кроме того, на установках высокого напряжения возможен удар электрическим током без прикосновения к токоведущим элементам, в результате утечки тока или пробоя воздушного промежутка.

Сила поражения зависит от мощности разряда, от времени воздействия, от характера тока (постоянный или переменный), от состояния человека — влажности рук и т. п., а также от места соприкосновения и пути прохождения тока по организму.

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группу допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.

2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 40м.

4. Перекоммутацию кабелей, соединяющих периферийные устройства с ЭВМ, а также установку плат дополнительных устройств (модемов, порто

ввода–вывода и т.д.) в слоты шины расширения компьютера необходимо осуществлять только при отключенном питании.

5. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к заземленной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

6. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

7. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

8. Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.

9. Недопустимо под напряжением проводить ремонт средств вычислительной техники и периферийного оборудования. Ремонт электроаппаратуры производится только специалистами–техниками с соблюдением необходимых технических требований.

10. Во избежание поражения электрическим током, при пользовании электроприборами нельзя касаться одновременно каких–либо трубопроводов, батарей отопления, металлических конструкций, соединенных с землей

11. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения

последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

Рабочее место должны удовлетворяться всем требованиям безопасности жизнедеятельности: отсутствие доступа к токоведущим частям, все источники питания должны быть пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены.

### **6.2.7 Статическое электричество**

Статическое электричество – это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности, или в объеме диэлектриков, или на изолированных проводниках (ГОСТ 12.1.018) [59]. Образование и накопление зарядов на перерабатываемом материале связано с двумя следующими условиями:

Заряды статического электричества могут накапливаться и на теле человека (при работе или контакте с наэлектризованными материалами и изделиями). Высокое поверхностное сопротивление тканей человека затрудняет отекание зарядов, и человек может длительное время находиться под большим потенциалом .

Основной опасностью при электризации различных материалов является возможность возникновения искрового разряда как с диэлектрической наэлектризованной поверхности, так и с изолированного проводящего объекта.

Для предупреждения образования статического электричества на элементах металлических конструкций, трубопроводах разного назначения, расположенных на расстоянии менее 10см параллельно друг друга, применяются замкнутые контуры, создаваемые с помощью устанавливаемых между ними металлических заземленных перемычек через каждые 20 м и менее. Для непрерывного снятия электростатических зарядов с человека используются электропроводящие полы, заземленные зоны или рабочие площадки, оборудование, трапы, а также средства индивидуальной защиты в

виде анти – электростатических халатов и обуви, с кожаной подошвой или подошвой из электропроводной резины .

### **6.3 Экологическая безопасность**

Основными факторами, обуславливающим необходимость обращения особого внимания вопросам охраны окружающей среды, являются следующие :

- токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов, газов применяемых в производстве [60];
- взрывоопасность и пожароопасность некоторых материалов и газов;
- слив кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации;
- пыль на рабочем месте.

В настоящее время на первый план выдвигаются задачи борьбы с загрязнением атмосферы, так как от их решения в значительной мере зависит здоровье людей.

Охрана атмосферы включает в себя:

- уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;
- сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;
- сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;
- утилизация отходов вредных производств.

Источников загрязнения окружающей среды, возникающих в результате реализации предлагаемых в ВКР конструкторских и технологических инноваций, нет.

## 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Среди возможных ЧС наиболее вероятным является возникновение пожара. Пожар может произойти вследствие проблем перегрева токоведущих провод или с изоляцией.

Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка персонала на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установок.

Экспериментальная установка устойчива к возникновению пожара, т.к. температура светодиодных ламп не поднимается выше 50°C, все токоведущие части надежно изолированы и проверяются согласно плану [61]. Если все же возникнет пожар, персонал будет действовать в следующем порядке:

- Вызвать пожарный расчет
- Отключить все электроустановки
- Закрыть окна и двери, чтобы убрать сквозняк и доступ кислорода для горения
- Воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ–5) При невозможности – начать эвакуацию.

В случае возникновения признаков пожара необходимо:

- сообщить о возникновении пожара в пожарную охрану по телефону 01 или 112 по сотовому телефону;
- поставить в известность руководство и дежурные службы лаборатории (цеха);
- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасание, используя для этого имеющиеся силы и средства;
- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты(оповещения людей о пожаре, пожаротушения, противодымной защиты);
- при необходимости отключить электроэнергию (за исключением систем противопожарной защиты), остановить работу аппаратов, перекрыть

газовые, паровые и водяные коммуникации, остановить работу систем вентиляции в горящем и смежных с ним помещениях, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;

- прекратить все работы в цехе (если это допустимо по технологическому процессу производства), кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;

- удалить за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара;

- осуществить общее руководство по тушению пожара (с учетом специфических особенностей объекта) до прибытия подразделения пожарной охраны;

- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;

- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию людей и защиту материальных ценностей;

- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;

- сообщать подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожаров и проведение связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ, сведения о перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных (взрывоопасных), взрывчатых, сильнодействующих ядовитых веществах, необходимые для обеспечения безопасности личного состава.

По прибытии пожарного подразделения руководитель организации (или лицо, его замещающее) информирует руководителя тушения пожара о конструктивных и технологических особенностях объекта, прилегающих строений и сооружений, количестве и пожароопасных свойствах хранимых и применяемых веществ, материалов, изделий и других сведениях, необходимых для успешной ликвидации пожара, а также организывает привлечение сил и

средств объекта к осуществлению необходимых мероприятий, связанных с ликвидацией пожара и предупреждением его развития.

## **6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

При компоновке рабочего места с ПЭВМ были соблюдены следующие требования [60]:

1. расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), не менее 2.0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1.2 м;

2. рабочее место с ПЭВМ размещено в изолированном кабинете с организованным воздухообменом, так как на предприятии присутствуют источниками вредных производственных факторов;

3. экран видеомонитора находится от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм и не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно–цифровых знаков и символов;

4. конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;

5. конструкция рабочего стула обеспечивает поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволяет изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно–плечевой области и спины для предупреждения развития утомления;

6. поверхность сиденья, спинки и других элементов стула является полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием;

7. температура воздуха в помещении допускается в пределах 20–25°C при относительной влажности до 75 %; резкие перепады температуры не допускаются;

8. не допускается излишняя запыленность воздуха в помещении (не более 1 мг/м<sup>3</sup> при максимальном размере частиц 3 мкм); обязательна влажная ежедневная уборка помещения.

Для компоновки рабочей зоны надо соблюдать эргономические требования. Эргономическими требованиями рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость рабочего места и его элементов.

Главными элементами рабочего места являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства[57].

Кресло обеспечивает физиологически рациональную рабочую позу, при которой не нарушается циркуляция крови и не происходит других вредных воздействий. Для этого у кресла есть спинка анатомической формы, которая уменьшит нагрузку на позвоночник. Также для того чтобы снимать нагрузку с мышц плечевого пояса у кресла имеется подлокотники и имеет возможность поворота, изменения высоты и угла наклона сиденья и спинки.

Работа с вводом информации. Неправильное положение рук при печати на клавиатуре приводит к хроническим растяжениям кисти. Необходимо держать локти параллельно поверхности стола и под прямым углом к плечу, поэтому клавиатура должна располагаться в 10–15 см (в зависимости от длины

локтя) от края стола. В этом случае нагрузка приходится не на кисть, в которой вены и сухожилия находятся близко к поверхности кожи, а на часть локтя.

Рекомендуется держать монитор на расстоянии вытянутой руки. Но при том, что человек должен иметь возможность сам решать, насколько далеко будет стоять монитор. Именно поэтому конструкция современных столов позволяет менять глубину положения монитора в широком диапазоне. Верхняя граница на уровне глаз или не ниже 15 см ниже уровня глаз.

Положение за компьютером. Регулируемое оборудование должно быть таким, чтобы можно было принять следующее положение:

- поставить ступни плоско на пол или на подножку.
- слегка выгнуть поясницу, опираясь на спинку кресла.
- удобно расположить руки по сторонам.
- линию плеч расположить прямо над линией бедер.
- предплечья положить на мягкие подлокотники на такой высоте, чтобы запястья располагались чуть ниже, чем локти.
- локти согнуть и расположить примерно в 3 см от корпуса.
- запястья ни подняты, ни опущены.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрены оптические методы неразрушающих испытаний в различных их реализациях. Теоретически изучено на практике и возможности применения современных алгоритмов обработки цифровой информации для оценки разнообразных параметров объектов неразрушающих испытаний. Так же были исследованы возможные приложения фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов и разработаны ряд алгоритмов обработки цифровых изображений строительных материалов и изделий с целью оценки их качества. Объектом исследований является строительные материалы и изделий.

Для реализации указанной цели работы были решены следующие основные задачи:

- исследованы возможные приложения фотографических методов в строительной отрасли и производстве строительных материалов;
- разработан алгоритм оценки площади оптической неоднородности на поверхности изделия;
- разработан алгоритм оценки качества многоцветных декоративных строительных материалов и изделий по цветным фотоизображениям;
- проведен цикл экспериментальных работ по исследованию работоспособности алгоритмов.

**В разделе 2** обоснована возможность измерения площади оптической неоднородности на поверхности объекта неразрушающих испытаний на основе анализа цифровых изображений с высокой точностью. Предложен алгоритм обработки цифровых полутоновых и цветных изображений. Способ измерения площади оптических неоднородностей может быть применён в различных отраслях науки, в строительстве, в коммунальном хозяйстве, в промышленности, в транспорте, в системах управления сложным движением перемещаемыми объектами.

В разделе 3 приведена методика моделирования зашумленного изображения оптической неоднородности в форме круга на зашумленном фоне. Предложен метод оценки эффективности предлагаемого алгоритма для измерения площади оптической неоднородности. Приведены результаты моделирования полутоновых и цветных цифровых изображений. Предложен подход для высокоточного моделирования изображений оптических неоднородностей. На основе указанного подхода разработан способ огрубления изображений, который позволяет оценить эффективность предлагаемого алгоритма для локальных неоднородностей, изображение которых занимает незначительное количество пикселей. Результаты имитационного моделирования продемонстрировали эффективность анализируемого метода оценки площади неоднородности для цифровых полутоновых изображений и цифровых цветных изображений. Эффективность алгоритма тем выше, чем меньше уровни шумов и больше различие яркостей в тоне (анализируемом цвете) между фоном и изображением оптической неоднородности.

По результатам выполненного задания для раздела **«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»** было достигнуто следующее:

- Были определены потенциальные потребители результатов исследования;
- Проведен SWOT-анализ, по результатам которого можно сделать вывод, что данная технология имеет преимущества по сравнению с имеющимися разработками. Данная разработка и имеет низкую стоимость, по сравнению с существующими технологиями. Для повышения спроса необходима активная рекламная компания;
- Составлен план проекта, в соответствии с которым определяются объем работ и время, затрачиваемое на ее выполнение. Из календарного плана следует, что руководитель (Осипов С. П.) занят календарных 323 дня (264 рабочих дней), исполнитель ВКР (Алибекова А.А.) занят календарных 492 дня (393 рабочих дней);

– Рассчитан бюджет научного исследования. Рассчитано, что для реализации проекта требуется 1757192,50 рубля;

– Проведена оценка экономической выгоды исследования.

В разделе «**Социальная ответственность**» магистерской работы описали рабочее место, провели анализ выявленных вредных и опасных проявлений факторов производственной среды, затронули вопросы охраны окружающей среды, рассмотрели защиту при возникновении чрезвычайных ситуаций, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

На основании вышеизложенного можно заключить, что работа выполнена в полном объеме, цель достигнута. Результаты данной работы являются значимыми для организации. Разработанная по результатам исследования документация рассмотрена и одобрена руководством и находится на стадии внедрения в процессы организации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бадьин, Г.М. Справочник по измерительному контролю качества строительных работ. – БХВ–Петербург, 2010.
2. Неразрушающий контроль: справочник. В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Ключева. Т. 1: В 2 кн. Кн. 1: Ф.Р. Соснин. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 2: Ф.Р. Соснин. Радиационный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 560 с.
3. Землянский, А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений: учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 238 с.
4. Марков, А., Марукович, Е., Сергеев, С., Потапов, И. Световодные способы и технологии комбинированной дефектоскопии. – Litres, 2014. (комплексирование)
5. Коженко, Н.В., Дегтярев, В.Г., Дегтярев, Г.В., Табаев, И.А. Комплексный метод обследования зданий и сооружений при совместной работе с вышками связи // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №. 89.
6. ГОСТ Р 53696–2009. Контроль неразрушающий. Методы оптические. Термины и определения. – М.: Стандартиформ. – 2010. – 7 с.
7. Бирюкова, Н.П. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения: справ. пособие. – М.: Гос. уни- тар. предприятие «Науч.-техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора РФ», 2003 . – 389 с.
8. ГОСТ 15467–79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Тер- мины и определения. – М.: Госстандарт России: изд-во стан- дартов, 2002. 15 с.
9. ГОСТ 27.004–85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. [Текст]. – М.: Госстандарт Рос- сии: изд-во стандартов, 2002. 18 с.
10. Ахманов, С.А., Никитин, С.Ю. Физическая оптика: учебник. – М.:

МГУ, 1998. – 656 с.

11. Каневский, И.Н., Сальникова, Е.Н. Неразрушающие методы контроля. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007 – 243 с.

12. Оптические методы испытаний: методические указания к лабораторной работе / Сост. С.П. Осипов, А.Н. Школьный. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 42 с.

13. Филинов, М.В., Прохоренко, П.П. Физические основы и средства капиллярной дефектоскопии. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2008.

14. Мигун, Н.П. Тепловые воздействия при капиллярном неразрушающем контроле / Н.П. Мигун, А.Б. Гнусин. – Минск : Беларус. нувука, 2014. – 131 с.

15. Иванова, Н.Н., Жолобова, О.А. Предложения по расширению области применения цифровой фотографии при оценке состояния строительных конструкций // Интернет-журнал Науковедение. – 2012. – № 3 (12).

16. Жолобова, О.А. Перспективы развития дистанционных методов измерительного контроля качества строительной продукции // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 26. – № 3 (26).

17. Чирков, С.В., Литвинов, А.В., Вавилов, А.Ю. Расчетный способ установления давности формирования кровоподтека на основе цифровой формализации его цвета // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 10–5.

18. Колобродов, В.Г., Пивторак, Д.А. Алгоритм формирования изображения объекта фотографирования с большим диапазоном яркости // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2 (7).

19. Самойлов А. Н. Фотометрический метод формирования и обработки данных, торцов круглых лесоматериалов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2007. – № 26.

20. Самойлов, А.Н. Классификация и определение основных

направлений развития методов измерения объема круглого лесоматериала // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 24.

21. Кудряшова, А.И. Способ измерения периметра и площади листа дерева // Общественная научная организация "Наука и хозяйство". – 2014. – С. 17–20.

22. Буданцев, А.Ю., Корнилова, О.В. Морфологический анализ клеток листа элодеи // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 7.

23. Бондаренко, И.Н., Мартынов, А.В., Мокасеев, А.В. Современные методы мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений в процессе их эксплуатации // Электронный журнал «Наука и безопасность. – 2010. – С. 23–04.

24. Тутубалина, О.В., Черноморец, С.С., Петраков, Д.А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. – 2005. – Т. 9. – №. 4. – С. 62–71.

25. Осипов, С.П., Попов, М.Ю., Федяев, Р.В., Косач, А.А. Способ определения параметров торможения лифтов и подъемников на основе потока фотоизображений // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2011. – №. 4. – С. 38.

26. Осипов, С.П., Попов, М.Ю., Федяев, Р.В., Фатеев, Д.Г. Устройство для определения параметров движения лифтов и подъемников на основе анализа потока видеоизображений. Патент на полезную модель № 132430, опубликовано 20.09.2013.

27. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing, 3rd ed., Prentice Hall. 2008, 954 p.

28. ГОСТ 530–2007. Кирпичи и камень керамические. Общие технические условия М. Стандартиформ, 2007. 46 с

29. Жолобова, О.А. Разработка метода контроля качества наружных стен и покрытий зданий на основе цветотекстурного анализа фотоснимков //

Ростовский государственный строительный университет. Технология и организация строительства. 2014. Режим доступа: [www.allbeton.ru](http://www.allbeton.ru)

30. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость: пер с англ. 2-е изд. – М.: Мир, 1984. – 306 с.

31. Классификация методов контроля пористости материалов / А.В. Медведева, Д.М. Мордасов, М.М. Мордасов // Вестник ТГТУ. – 2012. – Том 18. – №3. – С. 749 – 754: [http://vestnik.tstu.ru/rus/t\\_18/pdf/18\\_3\\_034.pdf](http://vestnik.tstu.ru/rus/t_18/pdf/18_3_034.pdf).

32. Фандеев В.П., Самохина К.С. Формирование пористой структуры поверхности материала межпозвонкового диска лазерной обработкой // Фундаментальные исследования. – 2015. – №3. – С. 148–152; URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10006368](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10006368).

33. Гончаров А.К., Козейчук В.А., Нарышкин Д.А. Опыт наблюдений за строительством высотных зданий // Строительные материалы. 2009. № 5. С. 65—67.

34. Осипов, С.П., Подшивалов, И.И., Осипов О.С., Алибекова, А.А., Чесноков, Д.В. Способ оценки площади оптической неоднородности на основе анализа цифровых изображений // Вестник ТГАСУ. – 2015. – № 3. – С. 103–112.

35. Садеков, Р.Н. Определение дальности до объекта на основе анализа его изображений / Р.Н. Садеков // Известия института инженерной физики. – 2010. – Т. 2. – № 16. – С. 65–67.

36. Бачевский, С.В. Точность определения дальности и ориентации объекта методом пропорции в матричных телевизионных системах / С.В. Бачевский // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2010. – № 1. – С. 57–66.

37. Старовойтов, Е.И. Использование геометрических искажений изображения, формируемого КМОП- фотоприемником, для контроля скорости сближения космических аппаратов / Е.И. Старовойтов, Д.В. Савчук // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 2. – С. 66–68.

38. Способ определения параметров торможения лифтов и

подъёмников на основе анализа потока фотоизображений / С.П. Осипов, М.Ю. Попов, Р.В. Федяев, А.А. Косач // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2011. – Вып. 4 (38) . – 10 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb>.

39. Hassabo, A.I. Semi-Automatic Area measurement of irregular two dimensional shapes in digital images / A.I. Hassabo // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 170. – P. 2953–2961.

40. Zhao, P. Precise curved surface area measurement with a light-pen vision measurement system / P. Zhao, G.Q. Ni // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. – 2010. – Vol. 121. – No. 20. – P. 1848–1852.

41. Кондратов, В.Т. Проблемы измерения площадей нанообъектов / В.Т. Кондратов, К.А. Демченко // Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники. – К., 2011. – С. 57–65.

42. Терехов, А.Г. Сопоставление землеустроительных и спутниковых данных IRS LISS о размерах полей в Северном Казахстане / А.Г. Терехов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 5. – № 2. – С. 358–363.

43. Мигун, Н.П. Тепловые воздействия при капиллярном неразрушающем контроле / Н.П. Мигун, А.Б. Гнусин. – Минск : Беларус. нувука, 2014. – 131 с.

44. Брыксина, Н.А. Исследование точности дистанционного измерения площадей озер с использованием космических снимков / Н.А. Брыксина, Ю.М. Полищук // Геоинформатика. 2013. – № 1. – С. 64–68.

45. Muad, A.M. Super-resolution mapping of lakes from imagery with a coarse spatial and fine temporal resolution / A.M. Muad, G.M. Foody // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2012. – Vol. 15. – P. 79–91.

46. Жолобова, О.А. Производственный контроль качества каменных стен и других ограждающих конструкций зданий по фотографическим изображениям / О.А. Жолобова // Вестник МГСУ. – 2013. – № 11. – С. 234–240.

47. McCormick N. Optical imaging for low-cost structural measurements / N. McCormick, P. Waterfall, A. Owens // Proceedings of the ICE-Bridge Engineering. – 2013. – Vol. 167. – No. 1. – P. 33–42.
48. Single leaf area measurement using digital camera image / B. Chen, Z. Fu, Y. Pan, J. Wang, Z. Zeng // Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. – Berlin : Heidelberg : Springer, 2011. – P. 525–530.
49. Дубовцев В.А. Безопасность жизнедеятельности. / Учеб. пособие для дипломников. – Киров: изд. КирПИ, 1992.
50. Безопасность жизнедеятельности: Учебник/Под ред. проф. Э.А. Арустамова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2006.
51. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
52. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов; Под общ. ред. Е.Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985. – 400с.
53. ГОСТ 12.1.005 – 88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
54. СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» от 1 октября 1996г. №21.
55. СНиП 23 – 05 –95\*. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 2011.
56. ГОСТ 12.1.002 – 99 "ССБТ. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
57. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Электронный ресурс] / URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865498>, свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус.
58. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи
59. ГОСТ 12.1.018- Статическое электричество

60. Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. [Электронный ресурс] / URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200040973>, свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус.

61. ГОСТ 22.3.03-94 безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения [Электронный ресурс] / URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-22-3-03-94>, свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус.

**Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке**

Студент:

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 1БМ4А  | Алибекова Асел Айдынбеккызы |         |      |

Консультант кафедры иностранных языков физико-технического института

| Должность                               | ФИО                               | Ученая степень, звание             | Подпись | Дата |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------|------|
| Доцент<br>кафедры иностранных<br>языков | Устюжанина Анна<br>Константиновна | кандидат<br>филологических<br>наук |         |      |

Консультант кафедры физических методов и приборов контроля качества

| Должность                      | ФИО                    | Ученая степень, звание          | Подпись | Дата |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|---------|------|
| вед. научн. сотр.,<br>РКНЛ РКД | Осипов Сергей Павлович | Кандидат<br>технических<br>наук |         |      |

### 3 EVALUATION OF THE ACCURACY OF AREA MEASUREMENT ALGORITHM FOR DIGITAL OPTICAL IMAGES

#### 3.1 Source data for the simulation of digital optical imaging of local inhomogeneities

Accuracy evaluation of optical inhomogeneity area depends on many factors, so spend the necessary range of experimental studies is not possible. The only alternative is to build a mathematical model of the analyte measurement process and the holding on the basis of its computational experiments.

It is obvious that the use of absolute and relative error of assessment areas of optical inhomogeneity in digital images is not an effective criterion for the correctness of measurements. Recall that under the correctness of measurement process is understood as proximity to zero the measurement bias.

An effective criterion should not depend on the shape and size of local inhomogeneity. Since the increase in the accuracy of the proposed area estimation algorithm is based on the account of brightness for grayscale images or digital optical brightness in color coordinates RGB for color digital optical images for boundary pixels of images of local inhomogeneities, it is logical to take this into account in the formation of the correct criterion of the analyzed species measurements.

**Effective criteria of correctness.** Let  $FrA$  be the boundary of picture of the local inhomogeneities compared with the set  $A$ . Here, the boundary means a series of pixels, for one or more adjacent pixels which satisfy constraints (2.8) or (2.9) As a criterion we use the ratio of the absolute error  $\delta_k$  measuring  $S_A - S_{\text{theor}}$ , square including the pixels on the border  $FrA$ , the theoretical area of local inhomogeneity  $S_A$

$$\delta_k = \frac{S_A - S_{\text{theor}}}{S_{\text{theor}}} \quad (3.1)$$

As standard forms of local optical inhomogeneities and the similarity we can use triangles, rectangles, circles, to assess the accuracy of area measurement algorithm for digital optical images. At the first stage we consider optical inhomogeneities in the form of circles.

Let the circle have a radius  $R = 1$  [Linear Units]. On the plane we introduce  $XOY$  coordinate system. Let the pixel have a size  $d \times d$ , dimension  $d$  is measured in the same units as the radius of the circle. Variable parameters in addition to  $d$  are the coordinates of the circle center –  $x_0, y_0$ . From the symmetry of the geometry, it obviously follows that the intervals change  $x_0$  and  $y_0$  are described limitations

$$0 \leq x_0 \leq \frac{d}{2}, 0 \leq y_0 \leq \frac{d}{2} \quad (3.2)$$

Let the background area have the shape of a square the size of  $D \times D$ . Background of  $D$  size should exceed the size of the local optical heterogeneity, that is to be observed inequality

$$D > 2R + ld \quad (3.3)$$

here  $l$  – the number of pixels. The parameter  $l$  is not critical. Demonstration and analysis of visual images is usually carried out on the screen, so the only requirement for the value of the parameter  $l$  – is the visibility of strips bordering the image non-uniformity. The value of  $l = 20$  is quite sufficient.

To illustrate the possibilities of the proposed method, figure 3.2 shows the image of a circle of small radius, indicating the boundary pixels to emphasize the effect of specially chosen background color and the local optical inhomogeneity.

### 3.2 Algorithm image simulation

The equation of the circle is described by the equation

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (3.4)$$

Let the linear unit 1 contains  $M$  pixels (pix). We translate all of the original linear dimensions in the number of pixels

$$D_p = D \times M, R_p = R \times M, x_{0p} = x_0 \times M, y_{0p} = y_0 \times M \quad (3.5)$$

Note that the value  $D_p$  is an integer. Values  $x_{0p}$  and  $y_{0p}$  vary from 0 to 0,5 pix. A digital image of the object is a matrix  $A$ , in which the number of rows equal to the number of columns equal to  $D_p$ .

The algorithm for generating a digital optical image depends on the type of image (grayscale or color).

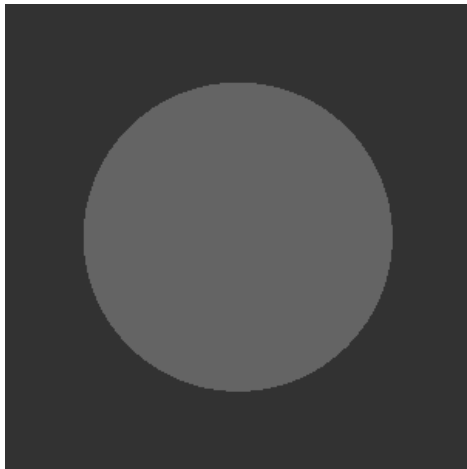
### 3.2.1 Formation of a digital halftone image

Grayscale image has 256 gray levels – from 0 (black level) to 255 (white level). Advanced Imaging optical inhomogeneities are levels of gray for the background and images  $gr_f$  local inhomogeneity  $gr_L$  and appropriate levels of noise  $\sigma_f$  and  $\sigma_L$ . The algorithm for generating a digital halftone image brightness range, excluding the boundary pixels is reduced to the expression

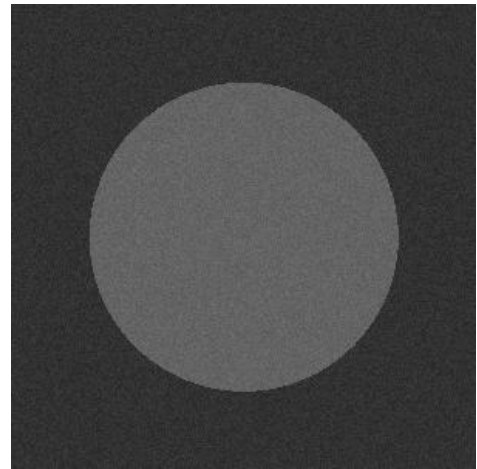
$$gr_{i,j} = \begin{cases} gr_L + [\sigma_L - 2\sigma_L \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 \geq 0 \\ gr_f + [\sigma_f - 2\sigma_f \xi], & R_p^2 + (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 < 0, \end{cases} \quad (3.6)$$

here  $[x]$  – integer part of  $x$ ;  $\xi$  – random number, distributed in the interval (0,1). The complex function described by expression (3.6) depend on the parameters 7.

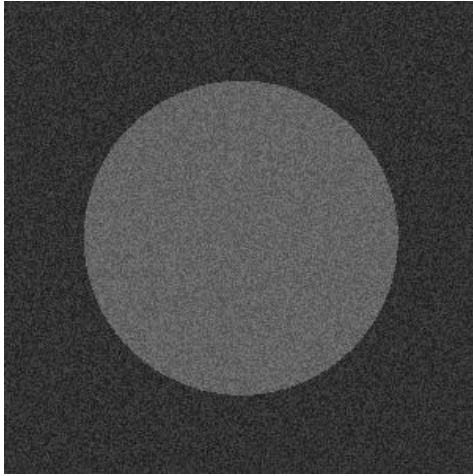
Figure 3.1–3.4 shows the image circle of radius 100 pix on-site measuring  $300 \times 300$  pix<sup>2</sup> and brightness optical inhomogeneity  $gr_L = 100; 90; 80; 70$  when the brightness background  $gr_f = 50$  ;. This ratio is selected from the need to solve the problem to be analyzed at a sufficiently low level of contrast. Noise levels  $\sigma_f$  and  $\sigma_L$  varied in the range of 0 to 50. Modeling was performed in MathCad environment. The system for mathematical calculations MathCad allows you to enter, generate, process and output both digital halftone images and color digital image in \*.bmp format



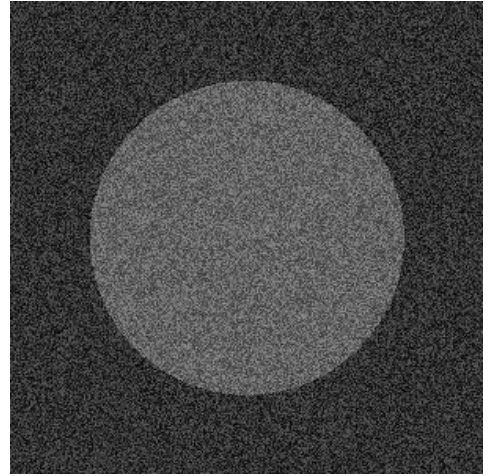
*a*



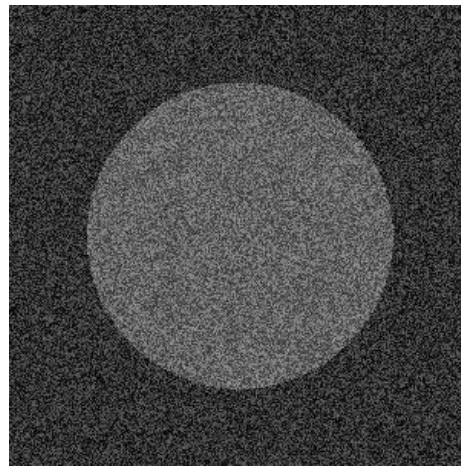
*b*



*c*



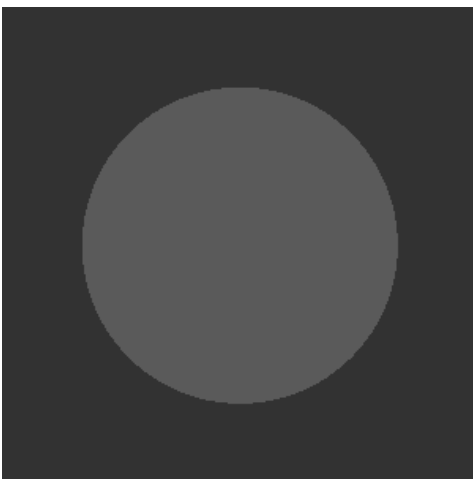
*d*



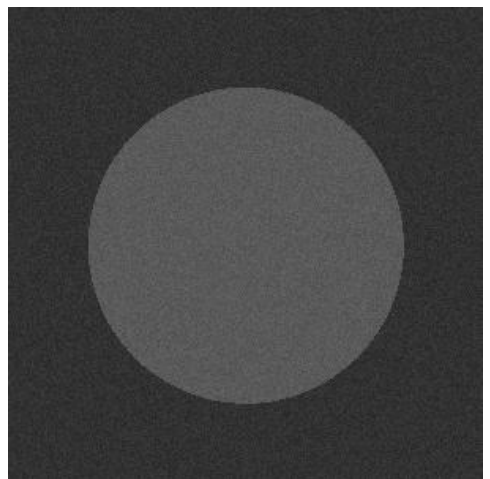
*e*

Figure 3.1 – The circle images, background brightness and circle  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 100$ :

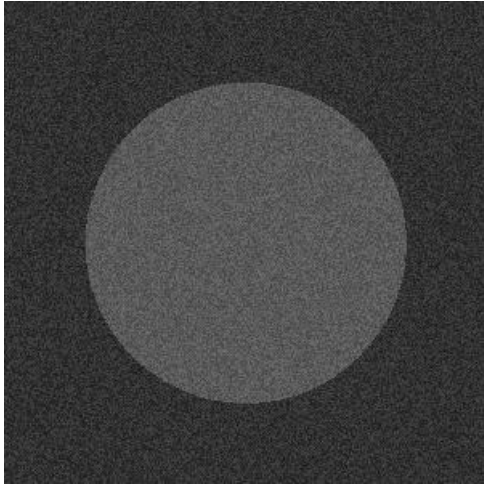
$a - \sigma_f = \sigma_L = 0$ ;  $b - \sigma_f = \sigma_L = 10$ ;  $c - \sigma_f = \sigma_L = 20$ ;  $d - \sigma_f = \sigma_L = 30$ ;  $e - \sigma_f = \sigma_L = 50$



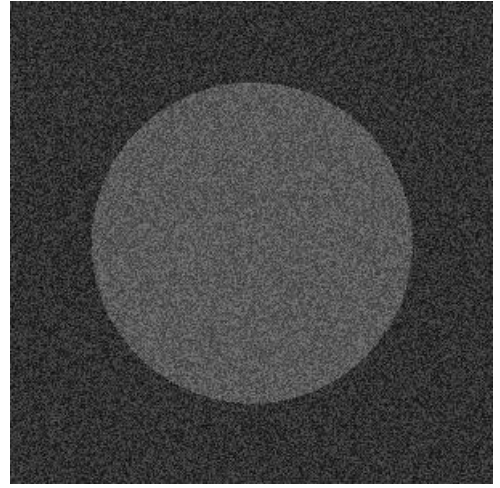
*a*



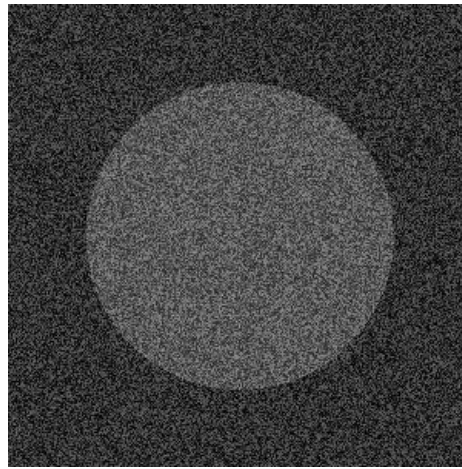
*b*



*c*



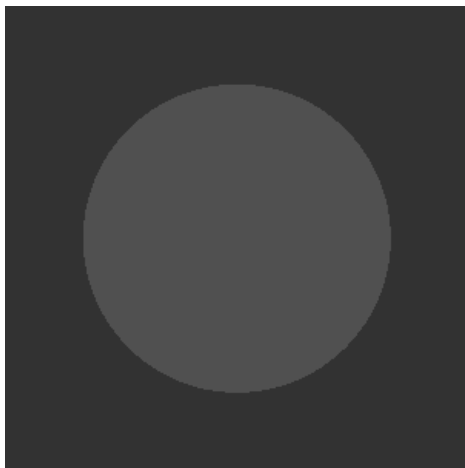
*d*



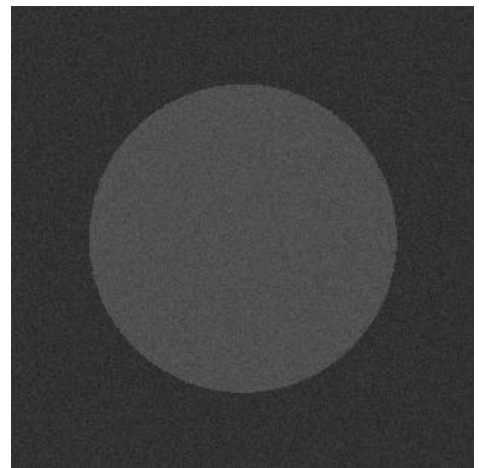
*e*

Figure 3.1 – The circle images, background brightness and circle  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 90$ :

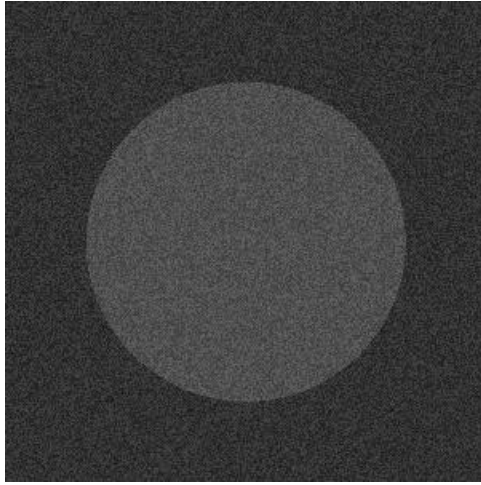
$a - \sigma_f = \sigma_L = 0$ ;  $b - \sigma_f = \sigma_L = 10$ ;  $c - \sigma_f = \sigma_L = 20$ ;  $d - \sigma_f = \sigma_L = 30$ ;  $e - \sigma_f = \sigma_L = 50$



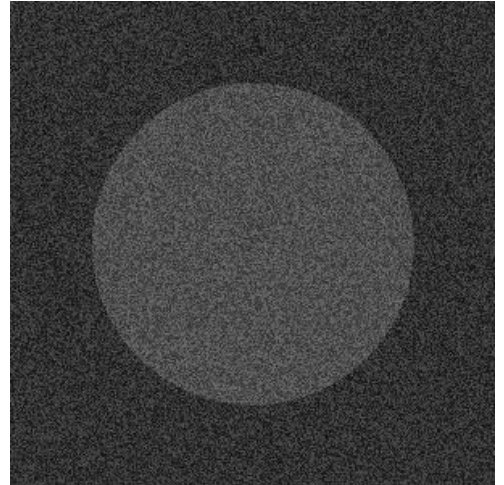
*a*



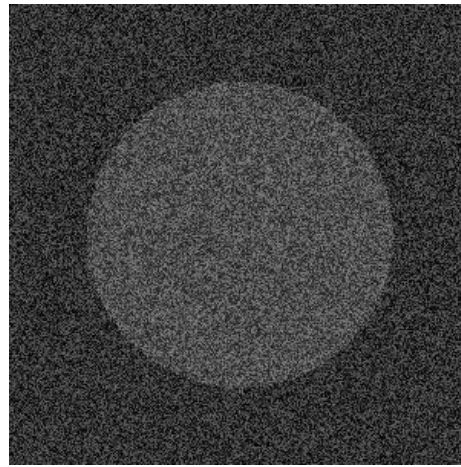
*b*



*c*



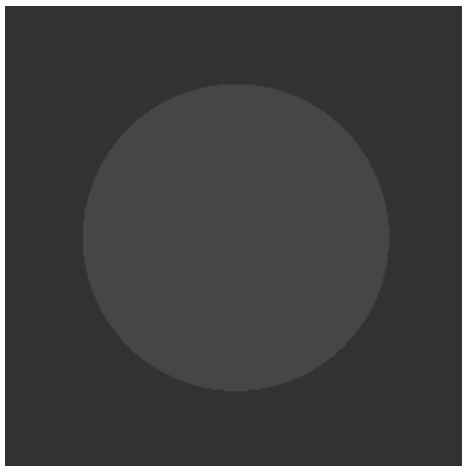
*d*



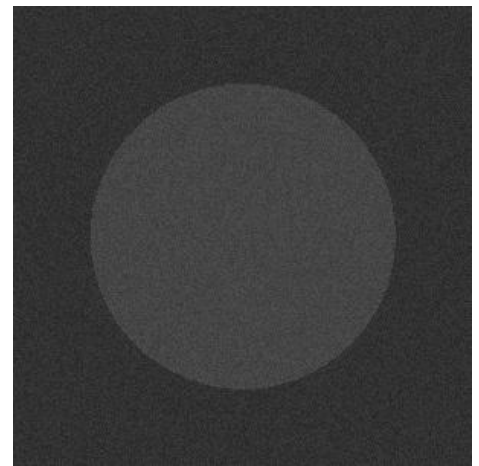
*e*

Figure 3.1 – The circle images, background brightness and circle  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 80$ :

$a - \sigma_f = \sigma_L = 0$ ;  $b - \sigma_f = \sigma_L = 10$ ;  $c - \sigma_f = \sigma_L = 20$ ;  $d - \sigma_f = \sigma_L = 30$ ;  $e - \sigma_f = \sigma_L = 50$



*a*



*b*

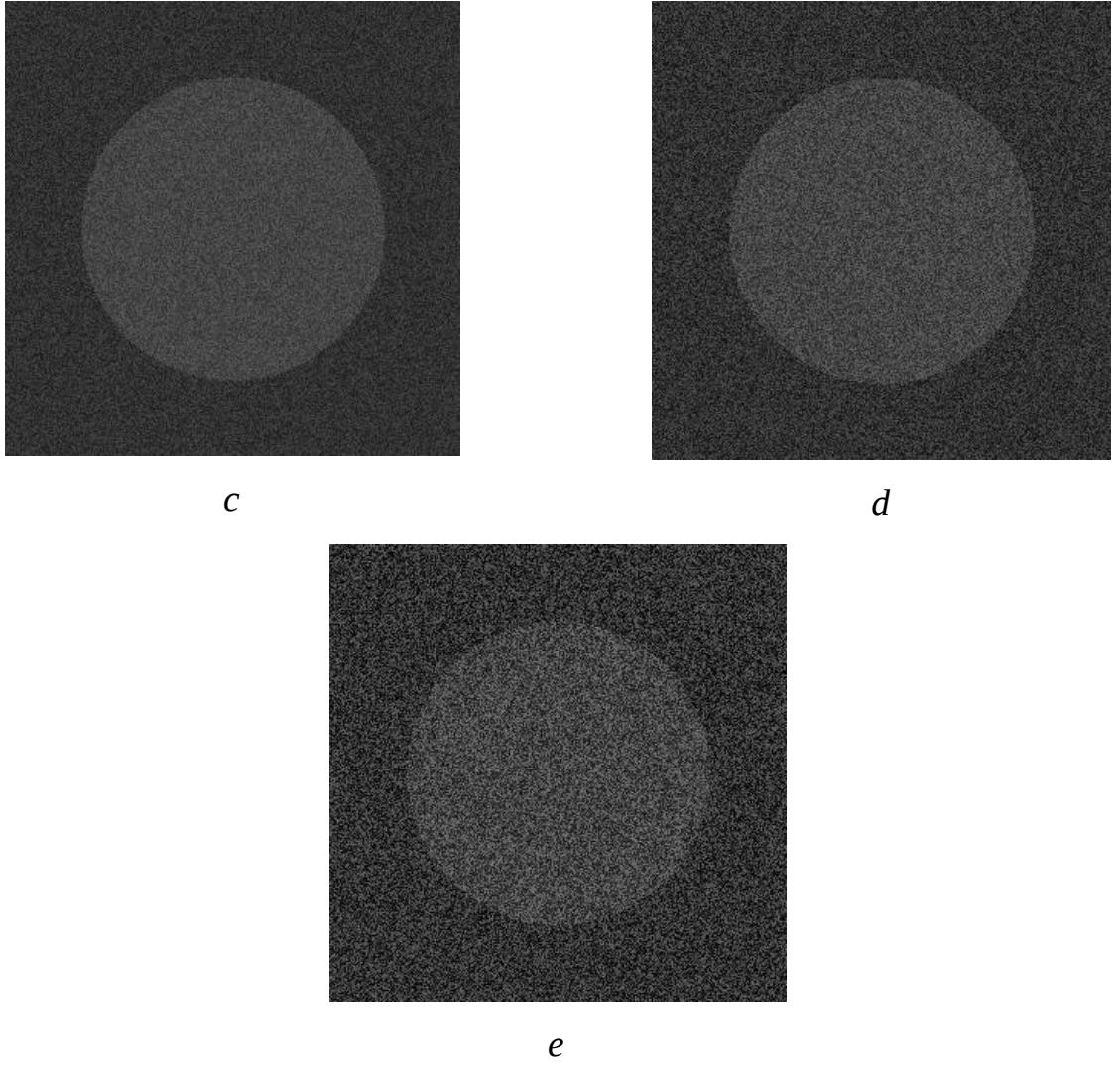


Figure 3.4 – The circle images, background brightness and circle  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 70$ :

$a - \sigma_f = \sigma_L = 0$ ;  $b - \sigma_f = \sigma_L = 10$ ;  $c - \sigma_f = \sigma_L = 20$ ;  $d - \sigma_f = \sigma_L = 30$ ;  $e - \sigma_f = \sigma_L = 50$

Analysis of the images shown in figure 3.1 allows you to do quite a number of the expected qualitative conclusions.

1. With regard to the restriction (2.8) becomes a problematic increase in local inhomogeneity precise estimate of the area of heterogeneity according to the formula level background noise and image (2.6).

2. The quality of the measurement decreases with the background contrast and optical inhomogeneity of the image.

Qualitative dependence of the expected accuracy of the measurement area of a circle on its size was tested for the most demanding simulation environment: the brightness of the background and circle  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 70$ ; noise levels for the

background and the image circle  $\sigma_f = \sigma_L = 50$ . The radius was reduced from 100 to 10 pix. Figure 3.5 shows the halftone images of circles of different diameters for small contrasts and high noise levels.

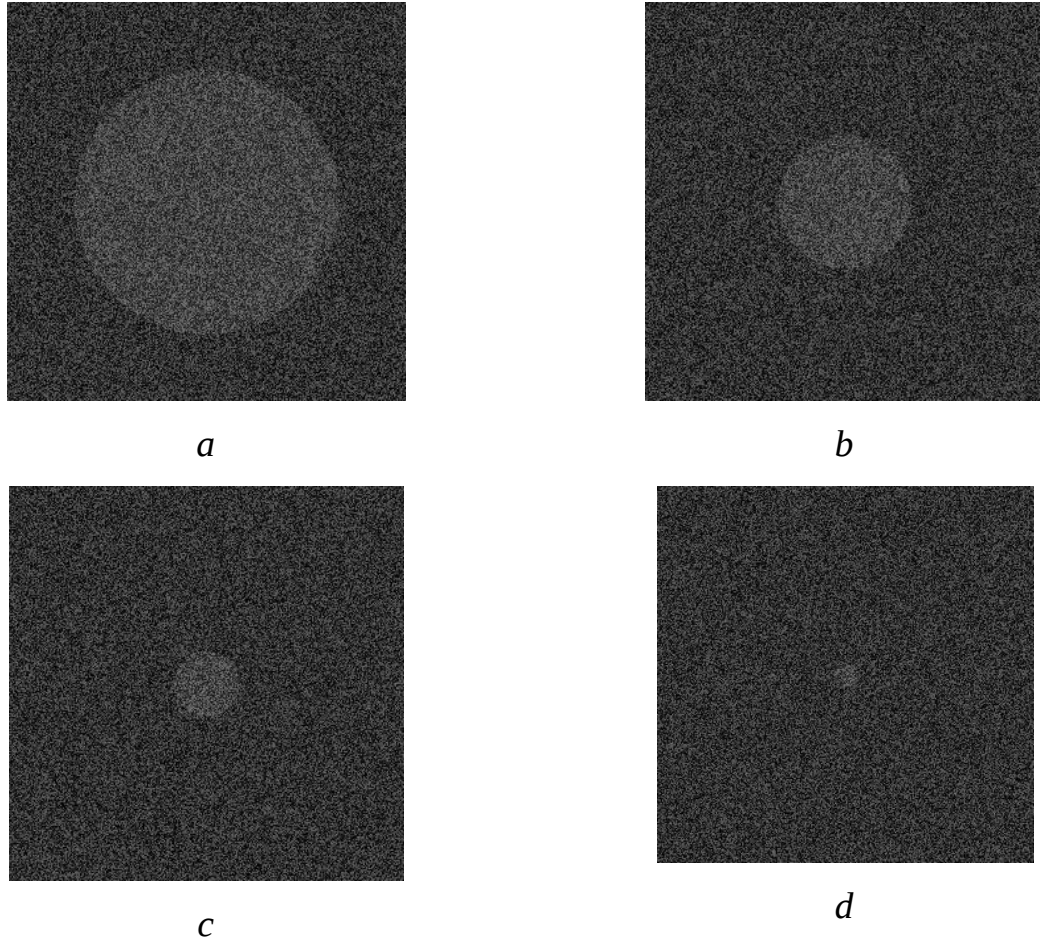


Figure 3.5 – The circle images, background brightness and circle  $gr_f = 50$ ,  $gr_L = 70$ ,  $\sigma_f = \sigma_L = 50$ :

$a - R_p = 100$  pix ;  $b - R_p = 50$  pix;  $c - R_p = 25$  pix;  $d - R_p = 10$  pix

From the analysis of the images it can be concluded about the deterioration of the measurement accuracy of the optical heterogeneity of the area to reduce its size in low-contrast and high brightness contrast of the noise and the background. The problem is not only the deterioration of accuracy, but also a significant reduction in the probability of detection of the most optical inhomogeneity on its digital images.

### 3.2.1 Formation of a color digital image

The color image has 256 brightness levels of each primary color – from 0 (minimum luminance color) to 255 (maximum luminance level of color). The

following color coordinates are used in the RGB palette (the main color) – red, green, blue (see Figure 2.2.). For color images the number of significant parameters for the optical inhomogeneity significantly increases. The mentioned parameters should include the brightness level of each of the primary colors for the background  $r_f, g_f, b_f$ , and the image of the local heterogeneity  $r_L, g_L, b_L$  and corresponding noise levels for each primary color  $\sigma r_f, \sigma g_f, \sigma b_f$  and  $\sigma r_L, \sigma g_L, \sigma b_L$ . Here  $r$  – red,  $g$  – green, and  $b$  – the blue.

Digital color image is formed separately for each color coordinate. Expressions are similar to the formula (3.6)

$$\begin{aligned} r_{i,j} &= \begin{cases} r_L + [\sigma r_L - 2\sigma r_L \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 \geq 0 \\ r_f + [\sigma r_f - 2\sigma r_f \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 < 0 \end{cases} \\ g_{i,j} &= \begin{cases} g_L + [\sigma g_L - 2\sigma g_L \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 \geq 0 \\ g_f + [\sigma g_f - 2\sigma g_f \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 < 0 \end{cases} \\ b_{i,j} &= \begin{cases} b_L + [\sigma b_L - 2\sigma b_L \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 \geq 0 \\ b_f + [\sigma b_f - 2\sigma b_f \xi], & R_p^2 - (i - x_{0p})^2 + (y - y_{0p})^2 < 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (3.7)$$

The expressions (3.7) as in (3.6) imply a uniform distribution of noise from  $-\sigma$  to  $+\sigma$ . More specifically, the distribution pattern is established experimentally for specific test objects. The system (3.7) is determined 21 parameters. Systems with more parameters can be examined only by mathematical modeling.

The color contrast is essentially dependent on the combination of background colors and optical inhomogeneity. To demonstrate the practical application of research results have been chosen colors that are typical of penetrant inspection. color timber wolf used for background (219,215,210), and an optical heterogeneity – the color of jazz jam (202,55,103). Figure 3.6 privedeny color images of circle of radius 100 pix on-site measuring  $300 \times 300 \text{ pix}^2$  for colors mentioned above. colored noise levels in all major color changes from 0 to 40. The simulation was performed in MathCad environment.

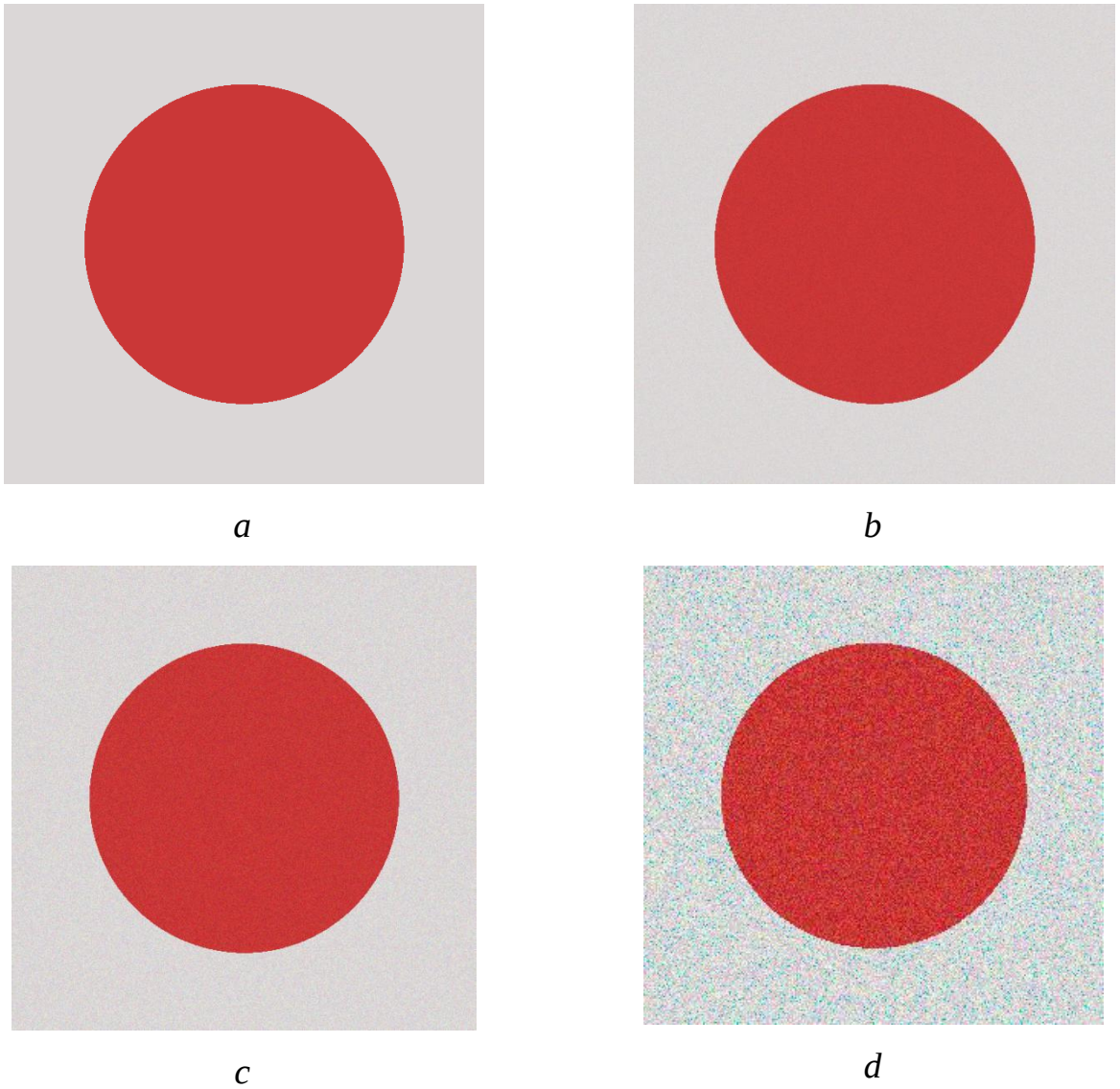


Figure 3.6 – The circle images, background brightness and circle (219,215,210), (202,55,103), levels of color noise:  $a - 0$ ;  $b - 10$ ;  $c - 20$ ;  $d - 40$

From the analysis of the obtained images we can, conclude with high probability that for a given range of primary color image noise of the local inclusions having a pronounced color contrast relative to the background area of interest to evaluate with high accuracy.

Colors in Fig. 3.6 are of reasonably high brightness. What happens if the background image and the local inhomogeneities are quite contrasting color, but dark colors? For example, we select the following combination of color: backgrounds – siena (160,82,45), local heterogeneity – capri blue (27,85,131). The simulation results are shown in figure 3.7.

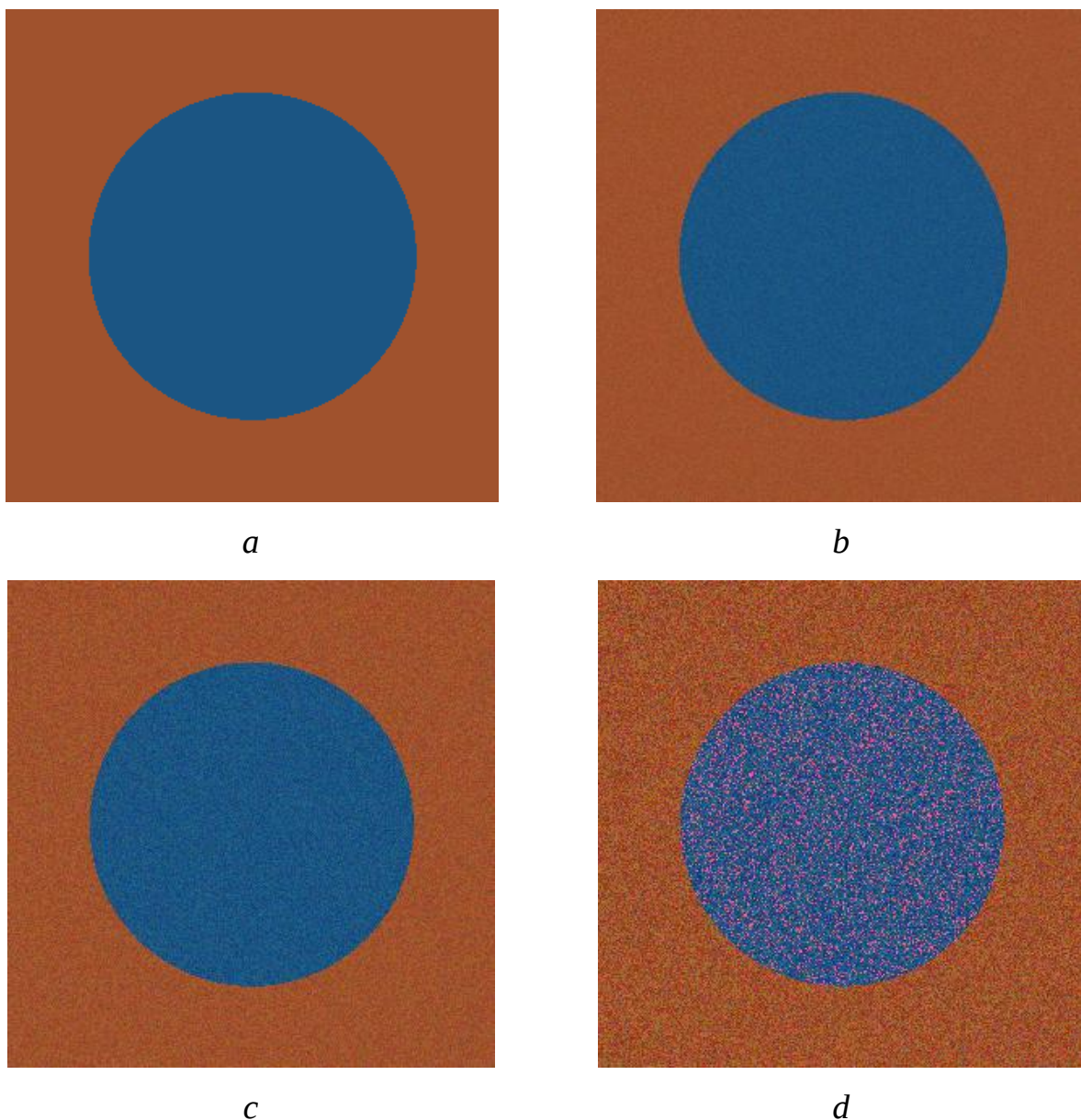
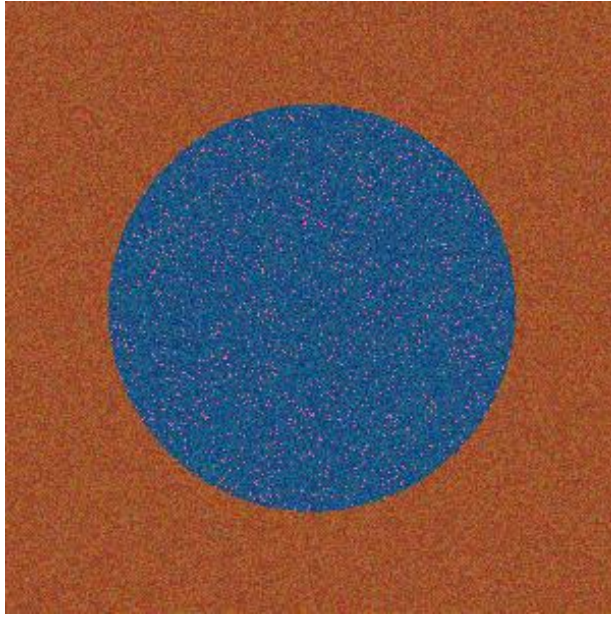
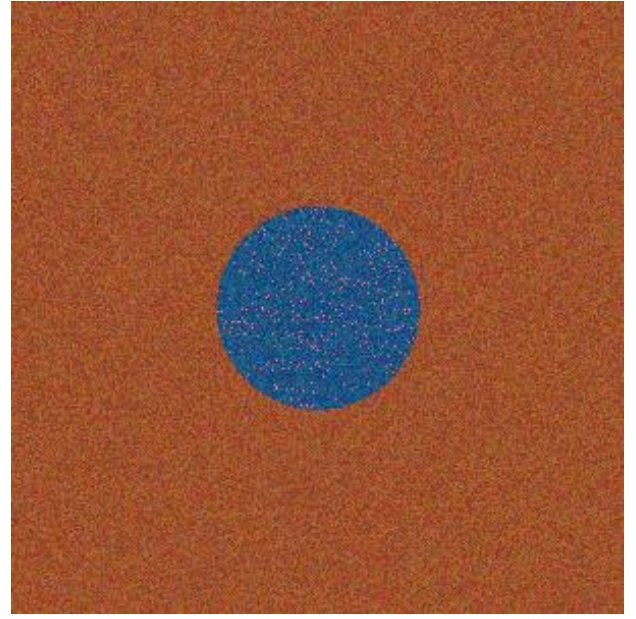


Figure 3.7 – The circle images, background brightness and circle (160,82,45), (27,85,131), levels of color noise:  $a - 0$ ;  $b - 10$ ;  $c - 20$ ;  $d - 40$

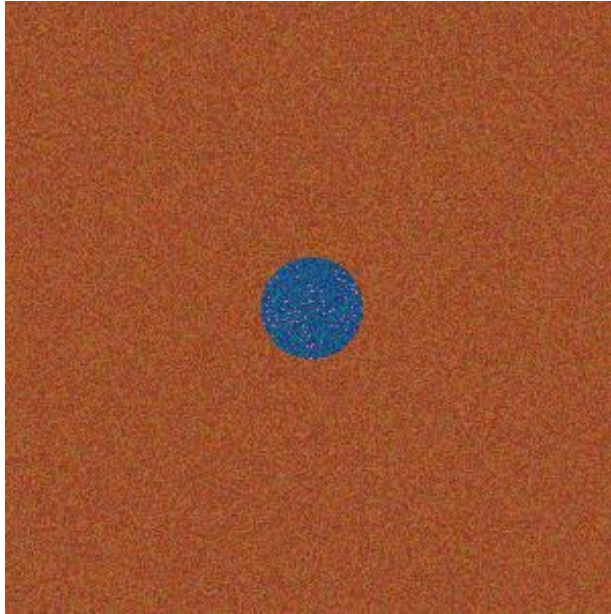
As a result of image analysis in Figure 3.7 we can conclude about the complexity of improving the accuracy of analyte measurements in conditions of significant color noise and relatively dark images. Color images of local inhomogeneities with decreasing size of a moderate level of noise were modeled as  $-\sigma = 30$ . Figure 3.8 shows the image for various radii of circles.



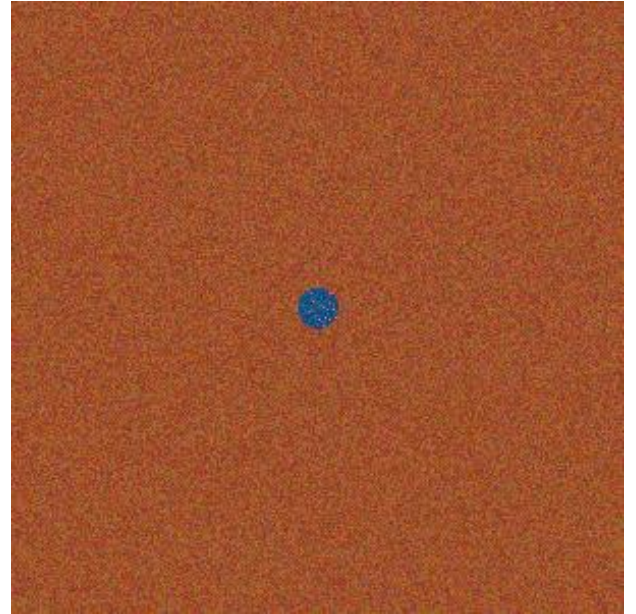
*a*



*b*



*c*



*d*

Figure 3.8 – The circle images for the conditions of Fig. 3.7: *a* –  $R_p=100$  pix ; *b* –  $R_p=50$  pix; *c* –  $R_p=25$  pix; *d*  $R_p=10$  pix

For the proposed combination of colors the decrease of radius of the optical inhomogeneities in the form of a circle does not lead to a decrease in the probability of heterogeneity detection and is likely to decrease in the accuracy of estimation of heterogeneity of the area will not be as significant as for the halftone images shown in figure 3.5.

In general, it can be concluded that, in roughly similar levels of cumulative brightness estimation accuracy square optical heterogeneity when analyzing digital color images qualitatively higher than when analyzing digital halftone images.

### 3.3 Assessment of the accuracy of the measurement area on the digital optical images

#### 3.3.1 Grayscale images

To assess the accuracy of the measurement area of the analyte there can be a way to use an approach based on the preliminary formation of the large-halftone digital optical images of the circle. At the next stage, the image is roughened, i.e. the pixel size increases and, accordingly, decreases the size of the circle in pixels. The final image and is analyzed in order to assess the accuracy of the measurement range of the investigated method.

Suppose we have the original image, which is a matrix with elements  $gr_{ij}$ ,  $i=0\dots M$ ,  $0\dots M$ . Let coarsening factor  $k_0$ . It should be noted that  $M$  must be divisible by  $k_0$ . The elements of the resulting matrix  $gr_{ij}^*$  are calculated using expression

$$gr_{ij}^* = \sum_{m=i \times k_0}^{(i+1) \times k_0} \sum_{n=j \times k_0}^{(j+1) \times k_0} gr_{m,n} \quad (3.8)$$

Square assessment is carried out according to the formula (2.10), taking into account the terms of reference criterion for the optical inhomogeneity (2.8).

The summarizes the results of table 3.1–3.5 calculate the area of measurement errors with the help of expressions (3.1), (2.8), (2.10). An improved algorithm was compared with the method based on the formula (2.6). Data are given column. We studied the image circle of the same radius. Levels of noise  $\sigma_f$  and  $\sigma_L$  ranges from 0 to 10 in increments of 10 at a time. Background brightness  $gr_f = 50$  and the brightness of the image circle  $gr_L = 160; 140; 120; 100$ . coarsening ratio was varied from 5 to 20 units.

In tables 3.1–3.3 we mark in red font the data obtained in terms of noise overlap in semitones for the background and images of heterogeneity. Of course, in

this case we can not speak about the effectiveness of the proposed method.

Table 3.1 Results of calculating the area of measurement error, for roughening the coefficient  $k_0=5$

| $\sigma_f = \sigma_L$ | $gr_L$                           |                    |                    |                     |
|-----------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|                       | 100                              | 120                | 140                | 160                 |
| 0                     | -0,00007<br>-0,016               | -0,00007<br>-0,016 | -0,00007<br>-0,016 | -0,00007<br>-0,016  |
| 10                    | -0,00007<br>-0,008               | -0,00001<br>-0,01  | 0,00003<br>-0,011  | 0,00004<br>-0,012   |
| 20                    | 0,00034<br>0,003                 | -0,00002<br>-0,006 | -0,00005<br>-0,007 | -0,00008<br>-0,009  |
| 30                    | <b>0,00274</b><br><b>0,00274</b> | 0,00028<br>-0,0017 | 0,00024<br>-0,0044 | -0,00014<br>-0,0063 |

Table 3.2 Results of calculating the area of measurement error, for roughening the coefficient  $k_0=10$

| $\sigma_f = \sigma_L$ | $gr_L$                           |                                 |                    |                    |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|
|                       | 100                              | 120                             | 140                | 160                |
| 0                     | -0,00015<br>-0,032               | -0,00015<br>-0,032              | -0,00015<br>-0,032 | -0,00015<br>-0,032 |
| 10                    | 0,00041<br>-0,012                | -0,00047<br>-0,019              | -0,00016<br>-0,022 | -0,0003<br>-0,025  |
| 20                    | 0,00042<br>-0,0037               | 0,00107<br>-0,0081              | 0,00059<br>-0,012  | 0,0003<br>-0,014   |
| 30                    | <b>0,00447</b><br><b>0,00447</b> | <b>0,0010</b><br><b>-0,0011</b> | 0,00054<br>-0,0068 | 0,001<br>-0,0089   |

Table 3.3 Results of calculating the area of measurement error, for roughening the coefficient  $k_0=20$

| $\sigma_f = \sigma_L$ | $gr_L$                       |                                 |                    |                    |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|
|                       | 100                          | 120                             | 140                | 160                |
| 0                     | -0,00027<br>-0,067           | -0,00027<br>-0,067              | -0,00027<br>-0,067 | -0,00027<br>-0,067 |
| 10                    | 0,00041<br>-0,012            | -0,000013<br>-0,032             | 0,000002<br>-0,032 | -0,0001<br>-0,043  |
| 20                    | -0,00033<br>-0,00069         | 0,00068<br>-0,021               | 0,00071<br>-0,026  | 0,00044<br>-0,028  |
| 30                    | <b>0,013</b><br><b>0,013</b> | <b>0,0053</b><br><b>-0,0021</b> | 0,0027<br>-0,015   | 0,00022<br>-0,024  |

From the data analysis, we can conclude about the effectiveness of the proposed algorithm for measuring the area of digital grayscale images for the entire

range of the noise, the noise up to the ceiling in semitones for the background and images of heterogeneity. And for a moderate level of noise with respect to the efficiency of a comparable method is from a few times to tens of times. The effectiveness of the method is confirmed for a wide range of variation of the coarsening factor.

To test the effectiveness of the method depending on the axis of the cylinder displacement calculation cycle was conducted for moderate noise levels of brightness of the background and the local inhomogeneities of the image. Table 3.4 shows the results of calculations for the conditions from the previous tables.

Table 3.4 Dependence of the square errors of measurement of the displacement  $x_0=y_0$ , for roughening the coefficient  $k_0 = 20$

| $\delta S$ | $x_0=y_0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | 1,4       | 1,2    | 1,0    | 0,8    | 0,6    | 0,5    | 0,4    | 0,2    | 0,0    |
| (2.8)      | 0,0004    | 0,0018 | 0,0010 | 0,0018 | 0,0022 | 0,0024 | 0,0024 | 0,0032 | 0,032  |
| (2.6)      | -0,071    | -0,067 | -0,067 | -0,064 | -0,064 | -0,064 | -0,064 | -0,058 | -0,058 |

From the analysis of the data presented in Table 3.4, it is possible to draw a conclusion about the effectiveness of the method of measuring the area, based on the formula (2.8), compared with the method based on the expression (2.6).

*Note 1.* The coefficient of roughening is an magnitude. Getting the model of optical images with a high coefficient  $k_0$  is equivalent to the roughening process of forming a real image with a "large" aperture. Aperture size is related to the minimum size of the interests of consumers of the local optical inhomogeneity of the image.

*Note 2.* In figure 3.1–3.3 shows the image lighter irregularities on a dark background. If darker heterogeneity seen on a bright background, it is necessary to make changes in the optical information processing algorithm. However, these changes can be changed, if we analyze the negative of the image. Transformation of a positive image with the elements  $gr_{ij}^*$  in the negative image  $ngr_{ij}^*$  is described by a simple formula

$$ngr_{ij}^* = 255 - gr_{ij}^* \quad (3.9)$$

### 3.3.2 Color images

The difference in the algorithm estimate the area between color and grayscale images is reduced to checking the restrictions (2.9) and (2.8). Section 2 states that the criterion (2.9) needs substantial adjustment, depending on the color coordinates of the image of the local inhomogeneities and the background. The following will discuss a number of issues associated with this.

A number of color combinations is characterized by a significant difference in only one color coordinate. As an example, the color material used in the penetrant inspection. For example, a number of penetrant close to a bright pink color, which color coordinates in RGB system (252,15,192). The color coordinates of the most common developer system to RGB (242,232,201) – creamy color. Joint analysis of the two colors on the color coordinates leads to the following conclusions:

1. The levels of red and blue to cream and bright pink flowers close to each other;
2. The levels of blue for these colors are radically different

From these findings it follows that include image processing procedure of the red and blue levels is not necessary, as the color may increase the effect of noise. Additional output – in the calculation of the area necessary to carry out a preliminary transformation of the image, as described in Note 2, that is, conversion from positive to negative.

For illustration, figure 3.9 shows the positive and negative image control facility for the above colors and the inclusion of the local background. The radius of the optical inhomogeneity of 100 pixels. The level of noise of 15 basic colors.

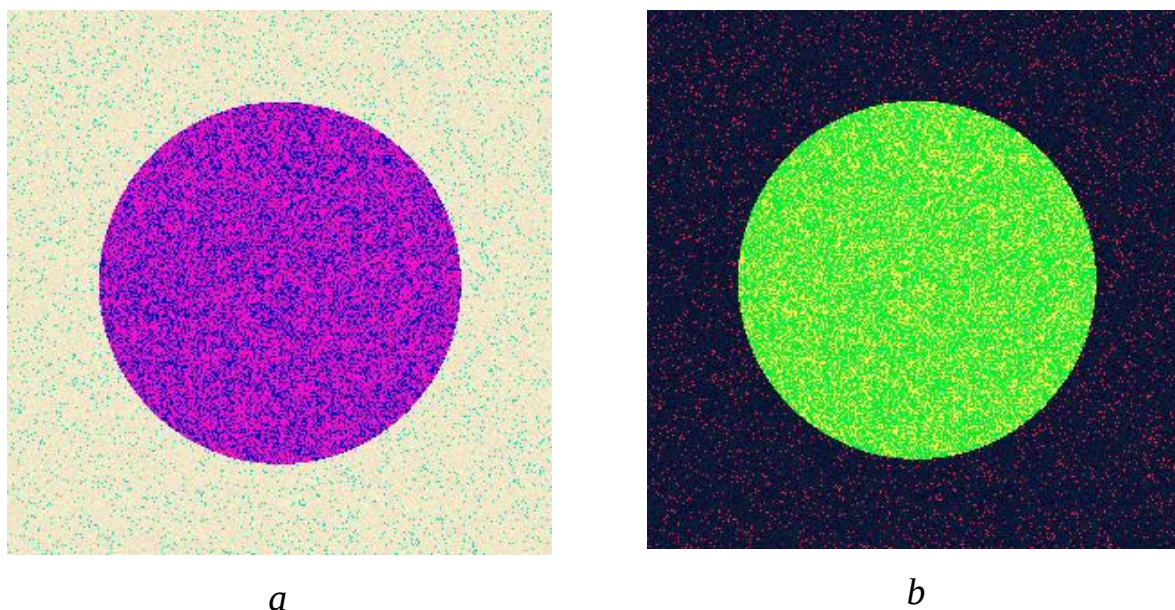


Figure 3.9 – Image of the circular track in the simulator penetrant inspection: a – positive; b – Negative

For example, conditions varied coefficient  $k_0$  coarsening in the range of 4 to 20 based on the expressions (2.8) and (2.6) Results of evaluating the effectiveness of the algorithms listed in Table 3.5. For ease of comparison, Table 3.5 shows the efficiency ratio  $k_{eff}$ , which is equal to the modulus ratio error area estimates by the formula (26) to the formula (2.8).

Table 3.5 Dependence of the effective area of the measurement algorithms coarsening factor  $k_0=20$

| $\delta S$ | $k_0$   |         |         |         |         |         |         |         |         |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | 4       | 6       | 8       | 10      | 12      | 14      | 16      | 18      | 20      |
| (2.8)      | 0,00075 | 0,00105 | 0,00116 | 0,00019 | 0,00137 | 0,00132 | 0,00008 | 0,00109 | 0,00445 |
| (2.6)      | -0,041  | -0,061  | -0,081  | -0,109  | -0,115  | -0,133  | -0,169  | -0,165  | -0,121  |
| $k_{eff}$  | 54,7    | 58,1    | 69,8    | 573,7   | 83,9    | 100,8   | 2112,5  | 151,4   | 27,2    |

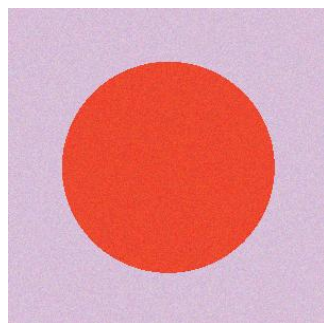
The coefficient of efficiency has a value not less than 27, which indicates high quality test algorithm.

Consider the second important case in which the two color coordinates for a background image and a local inhomogeneity differ significantly. Let the background

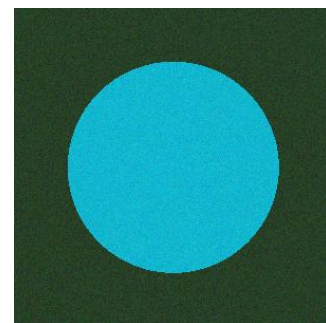
is the color of the thistle, the color coordinates – (216,191,216). Optical heterogeneity of color Santa Claus hats, the color coordinates – (237,72,48). This combination reminds rusty stains on the tiles, and let's call this the test object. Figure 3.10 shows the positive and negative image "of ceramic tile with rusty stains." 15, the noise level for each color component.

The colors are very different both in the green component (119 difference), and on the blue component (168 difference). Obviously, at such a level to color images may be evaluated, and the green component and blue component.

For the third case is characterized by a set of colors that differ significantly in all three color coordinates. verdepomovogo combination of colors for the image circle has been selected for example (52,201,36) and brilliant purple color (221,128,204) for the background. We call such an object a "green lawn". Figure 3.11 shows the positive and negative image of "green lawn".

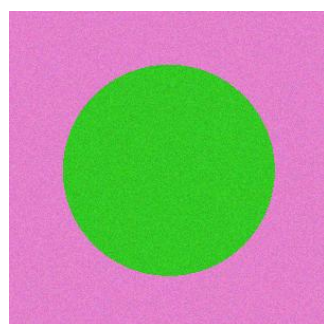


*a*

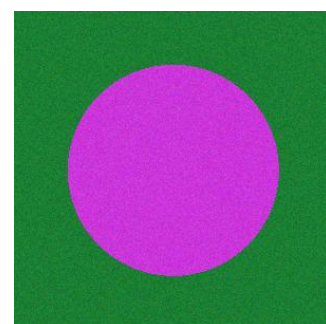


*b*

Figure 3.10 – Image "of ceramic tile with rusty stains": a – positive; b – Negative



*a*



*b*

Figure 3.10 – "green lawn" Image: a – positive; b – negative

The evaluation results of the method for evaluating the effectiveness of the area for the second and third case showed that it was necessary to focus on the color coordinate for which the difference between the background and the image of the local heterogeneity of the maximum. It should be taken into account Remark 2 when selecting treatment options (positive or negative).

## **CONCLUSION**

This section provides methods of modeling noisy image optical inhomogeneities in the form of a circle on a noisy background. A method for evaluating the effectiveness of the proposed algorithm for measuring the optical heterogeneity of the area. The results of modeling halftone and color digital images. An approach for high-precision modeling of optical inhomogeneities images. On the basis of this approach is provided a method of coarsening images, which allows to evaluate the effectiveness of the proposed algorithm for local inhomogeneities which image is insignificant number of pixels. simulation results demonstrated the effectiveness of the analyzed method of heterogeneity area estimates for digital halftone images and digital color images. The effectiveness of the algorithm, the higher the lower the noise levels and the greater the difference in the tone brightness (analyzed color) between the background and the image of the optical inhomogeneity.