

На правах рукописи



Васильева Дина Владимировна

МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ РАЗЛИВОВ  
НЕФТЕПРОДУКТОВ В АКВАТОРИЯХ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ  
ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Специальность 2.2.8 –  
«Методы и приборы контроля и диагностики материалов,  
изделий, веществ и природной среды»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2026

Работа выполнена на кафедре конструирования и технологий электронных и лазерных средств федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

**Научный руководитель:** **Дворников Сергей Викторович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Кондратьев Сергей Алексеевич**,  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник, ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии", Санкт-Петербургский филиал (ГосНИОРХ им. Л.С.Берга)

**Подстригаев Алексей Сергеевич**,  
доктор технических наук, доцент, начальник  
научно-исследовательской лаборатории 411, АО  
"Научно-исследовательский институт «Вектор».

**Ведущая организация:** Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 196105, Санкт-Петербург, Московский пр-т., 149.

Защита состоится «26» мая 2026 года в 13 ч 00 мин на заседании диссертационного совета часов на заседании диссертационного совета 24.2.384.02 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А. Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета <https://dissov.guap.ru/defense/>

Автореферат разослан «02» апреля 2026 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.384.02,  
кандидат технических наук, доцент



С.А. Назаревич

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Развитие мировой промышленности на современном этапе технологического оснащения невозможно без массового использования ископаемых энергоресурсов, среди которых основное место занимают нефтепродукты. Сырьевые запасы ископаемой нефти, как правило, расположены в значительном удалении от мест ее переработки и потребления, поэтому вопросы ее транспортировки и доставки становятся доминирующими. Активный логистический трафик доставки приводит к разливам и к загрязнению акватории морей и океанов.

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 "Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий" экологический мониторинг имеет выраженную практическую направленность и входит в перечень важнейших критических наукоемких технологий п.19 «Мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды и изменения климата (в том числе ключевых районов Мирового океана, морей России, Арктики и Антарктики), технологии предупреждения и снижения рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, негативных социально-экономических последствий».

Технологии экологического мониторинга не всегда обеспечивают эффективное выявление и идентификацию районов разливов нефтепродуктов. А технология дистанционного зондирования становится более сложной и дорогостоящей процедурой.

Возникает противоречие между методами и способами экологического мониторинга акватории мирового океана, которые не всегда удовлетворяют предъявляемые к ним требования по достоверности выявления результатов техногенных катастроф, связанных с разливом нефтепродуктов и несовершенством доступного научно-методического аппарата (НМА), обеспечивающего решения рассмотренных вопросов достаточно сложной проблематики.

Активный технологический переход к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), открывает широкие перспективы по реализации современных достижений науки в области видового контроля больших территорий, в том числе, акваторий морей и океанов, основанных на обработке фото и видеоматериалов.

Указанные обстоятельства определяют актуальность темы диссертации и характеризуют научную и практическую значимость настоящего исследования для дальнейшего развития методов и приборов контроля экологической безопасности окружающей среды, в рамках научной специальности 2.2.8. «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

### **Степень разработанности проблемы.**

В основу решения научной задачи были положены апробированные методы теории распознавания образов, разработанные в трудах ученых мирового уровня, таких как: К. Фукунага, К. Simonyan, Dan Ciresan, G. Stockman и L.G. Shapiro, J. Sun, W.R. Howard, Дж. Ту и Р. Гонсалес, З. Дуда и П. Харт, I. Daubechies, K. Chui Charles, R. De Maesschalck, Б.Р. Левин, Д. Миддлтон, К. Хелстром.

При работе над частными научными результатами использовались работы таких видных ученых как: М. Janati, Ragav Venkatesan и Li Baoxin, V. Chandola, R. Xiao, J. Gladines, R.O. Melo, А. В. Велигоша, James Bisgard, С. В. Сай, Д. В. Ли, А. С. Подстригаев.

Особое внимание в диссертации уделено вопросам реализации методов экологического мониторинга, обработки изображений и распознавания образов, полученных в работах, таких ученых как: А. В. Шлапаков, А. Н. Эйрих, Н. В. Учеваткина, К. А. Гуляев, Г. И. Белявский, М. В. Кузнецов, И. В. Корябкина, А. Ю. Сапаров, И. А. Мещерякова.

**Цель работы:** повышение достоверности обнаружения разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов на основе выявления аномалий в обрабатываемых изображениях.

**Объект исследования:** кадры фотоизображений разливов нефтепродуктов в акватории морей и океанов формата jpeg.

**Предмет исследования:** методы и способы, обеспечивающие контроль разливов нефтепродуктов и повышающие безопасность окружающей среды, основанные на обнаружении аномалий изображений в виде разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов.

В интересах достижения цели исследования была поставлена **научная задача** в следующей редакции: в соответствии с принципами неразрушающего контроля и на основе элементов теории распознавания образов, используя аналитический аппарат теории вероятностей и математической статистики разработать научно-методический аппарат, обеспечивающий экологический контроль в акватории морей и океанов, за счет обнаружения аномалий изображений, характеризующих разлив нефтепродуктов, с вероятностью на уровне 0,98 при условии, что занимаемая аномалиями площадь не превысит 10% от размера обрабатываемого кадра.

В интересах достижения цели диссертационного исследования, учитывая сложность решения, научная задача была представлена, как комплекс частных **научных задач**:

1. Разработать модель представления обрабатываемых изображений в виде векторов признаков, инвариантных к изменениям интенсивности светового фона подстилающей водной поверхности в приборах и средствах экологического контроля и диагностики.

2. Разработать методику контроля и диагностики разливов нефтепродуктов, как аномалий в обрабатываемых изображениях, обеспечивающую повышение достоверности их обнаружения в результате вторичной кратномасштабной обработки в базисах вейвлетов.

3. Разработать методическое обеспечение способа обнаружения разливов нефтепродуктов, для его реализации в приборах и средствах экологического контроля окружающей среды, на основе выявления аномалий в обрабатываемых изображениях.

**Методы исследований:** Элементы теории распознавания образов, аналитический аппарат теории вероятностей и математической статистики, методы и способы обработки изображений, основанные на принципах неразрушающего контроля.

Программные средства реализации диссертационного исследования: MicrosoftOffice, Visio, Project; MATLAB & Simulink.

**Область исследования:** соответствует п.1, 4, 6 паспорта специальности 2.2.8. «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Модель представления обрабатываемых изображений в виде векторов признаков, инвариантных к изменениям интенсивности светового фона подстилающей водной поверхности в приборах и средствах экологического контроля и диагностики.

2. Методика контроля и диагностики разливов нефтепродуктов, как аномалий в обрабатываемых изображениях, обеспечивающая повышение достоверности их обнаружения в результате вторичной кратномасштабной обработки в базисах вейвлетов.

3. Методическое обеспечение способа обнаружения разливов нефтепродуктов, для его реализации в приборах и средствах экологического контроля окружающей среды, на основе выявления аномалий в обрабатываемых изображениях.

**Научная новизна и теоретическая значимость** новых научных результатов:

1. В рамках первого научного результата, **в отличие от известных:** разработаны предложения по формализации изображений в виде гистограмм распределения яркости их битов, выступающих в качестве первичных признаков распознавания, что позволяет использовать кадры большего разрешения и способствует увеличению достоверности идентификации разливов нефтепродуктов;

предложена структуризация первичных признаков распознавания обрабатываемых изображений, заключающаяся в смещении компонентов гистограмм яркости таким образом, чтобы позиция, соответствующая максимуму функции их огибающей, совпадала с позицией максимума функции огибающей гистограммы базового изображения.

Структуризация наделяет гистограммы свойством их независимости к изменениям свето-

вого фона подстилающей водной поверхности и увеличивает достоверность экологического контроля.

2. В рамках второго научного результата, **в отличие от известных:** доказано, что применение декоррелирующих преобразований к векторам признаков в виде гистограмм распределения яркости различных изображений, описывающих один и тот же распознаваемый класс, приводит к снижению их дисперсии и повышает контрастность пространства распознавания, что увеличивает достоверность распознавания разливов нефтепродуктов;

обосновано применение в качестве декоррелирующего, кртномасштабное вейвлет-преобразование, на основе формирующей функции Гаусса 1-го порядка, как обеспечивающего наименьшую дисперсию при обработке гистограмм распределения яркости эталонных и тестируемых изображений, что увеличивает точность обнаружения разливов нефтепродуктов;

обоснована целесообразность подвергать кратномасштабным преобразованиям, с показателем кратности равной 32, гистограммы распределений яркости обрабатываемых изображений, представленных в виде векторов по 256 позициям, для использования в приборах и средствах экологического контроля и диагностики при выявлении разливов нефтепродуктов, это повышает общую контрастность признакового пространства и увеличивает достоверность распознавания разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов.

3. В рамках третьего научного результата, **в отличие от известных:** разработано методическое обеспечение реализации способа обнаружения разливов нефтепродуктов, способствующий повышению безопасности окружающей среды, основанного на выявлении аномалий изображений, посредством нахождения различий векторов признаков последовательно обрабатываемых частично перекрывающихся кадров;

введено понятие коэффициента повышения контрастности, представляющего собой отношение векторов разности, сформированных на основе гистограмм распределения яркости, к отношению векторов признаков после их кратномасштабной обработки, что способствует обнаружению разливов нефтепродуктов меньшей площади, повышает точность обнаружения разливов нефтепродуктов и эффективность экологического контроля;

получено аналитическое выражение вероятностной оценки ложной тревоги при обнаружении аномалий изображений с позиций теории обнаружения сигналов со случайной амплитудой, определяемое отношением дисперсии вектора признаков самого базового изображения, к дисперсии различий сравниваемых векторов признаков.

#### **Практическая значимость:**

1. В рамках первого научного результата разработаны частные алгоритмы поиска аргумента максимального значения гистограммы и переназначения гистограммы изображения с учетом совмещения максимума функции ее огибающей с заданным значением, используемым при формализации обрабатываемых изображений;

обоснованы этапы формирования модели формализации обрабатываемых изображений, используемых затем в виде векторов признаков в алгоритмах распознавания, инвариантных к изменениям интенсивности светового фона подстилающей;

разработанная модель представления обрабатываемых изображений в виде векторов признаков, инвариантных к изменениям интенсивности светового фона подстилающей водной поверхности, позволяет использовать кадры в 4.5 раза большего разрешения, чем при использовании методов глубокого машинного обучения, что способствует увеличению достоверности обнаружения разливов нефтепродуктов. Обработка кадров изображений с позиций представления их в виде гистограмм распределений яркости позволяет представить их в виде векторов признаков размерностью в 256 элементов, что обеспечивает более чем 100 кратное снижение объема передаваемых данных без существенной потери качества изображения. Такой подход открывает возможность решения задач обнаружения разливов нефтепродуктов непосредственно в приборах и средствах экологического контроля и диагностики.

2. В рамках второго научного результата обоснована целесообразность, в прибо-

рах и средствах экологического контроля и диагностики при выявлении разливов нефтепродуктов, гистограммы распределений яркости обрабатываемых изображений, представленные в виде векторов по 256 позициям, подвергать кратномасштабным преобразованиям с показателем кратности равной 32;

доказано, что усреднение двумерных матриц кратномасштабных вейвлет-преобразований позволяет получить векторы признаков, обеспечивающие повышение контрастности пространства распознавания на 92 %, что увеличивает достоверность распознавания разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов;

выявлено, что если контрастность пространства распознавания, при использовании в качестве векторов признаков гистограмм распределения яркости, достигает всего лишь значения равного 1,77, то использование векторов признаков, сформированных в соответствии с разработанной методикой способно обеспечить для того же пространства распознавания показатель контрастности более 3,4, тем самым повышая эффективность экологического контроля в 1,92 раза.

**3. В рамках третьего научного результата** разработано методическое обеспечение реализации способа обнаружения разливов нефтепродуктов, способствующего повышению безопасности окружающей среды, основанного на последовательном сравнении векторов признаков текущего и предыдущего изображений;

использована кратномасштабная обработка векторов, позволившая повысить контрастность признаков распознавания на 92%, что обеспечило возможность обнаружения разливов нефтепродуктов в 3,3 раза меньшего размера, с позиций интерпретаций их как аномалий изображений в приборах и средствах экологического контроля окружающей среды, с той же вероятностью идентификации, что повышает точность обнаружения разливов нефтепродуктов и эффективность экологического контроля.;

обоснован порядок расчета порога принятия решения в алгоритме классификации изображений.

**Достоверность** полученных в диссертации **научных результатов** и выводов обеспечивается преемственностью используемого подхода к решению научной задачи; обоснованным выбором исходных данных; адекватностью применяемых методов исследования при решении частных задач, при разработке НМА в виде модели для приборов и средств экологического контроля и диагностики, методики контроля и диагностики разливов нефтепродуктов, методического обеспечения способа обнаружения разливов нефтепродуктов в акватории морей и океанов; корректностью вводимых допущений и ограничений; использованием фундаментальных достижений теории распознавания образов, методов и способов обработки изображений, а также аналитического аппарата и элементов теории вероятностей и математической статистики; строгой аргументацией полученных теоретических результатов и подтверждение их правомерности данными моделирования; наличием имеющихся положительных отзывов, а также одобрением, полученным при апробации новых научных результатов.

Достоверность результатов исследования подтверждается 4 патентами на изобретение, устройство и полезную модель, соответствием и непротиворечивостью полученных научных и технических решений, результатами предшествующих теоретических и экспериментальных исследований, данным математического моделирования.

**Реализация.** Результаты диссертационной работы реализованы (внедрены) в работе ООО НПП «НТТ», в ФГБНУ «Аналитический центр», в ФГУП «ГосНИИПП», в НИЦ ТТ ВМФ, КК и СОИ и Р НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», в Военной академии связи, что подтверждено соответствующими актами.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» в дисциплину «Цифровая обработка сигналов».

**Апробация.** Основные положения, защищаемые идеи, теоретические положения, научные и практические результаты работы докладывались и получили положительные отзывы на следующих научных конференциях и форумах:

- Международная научная конференция «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы», г. Санкт-Петербург, 2024, 2025 гг.;
- Международный форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий», г. Санкт-Петербург, 2023 г.;
- Международный форум «Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве», г. Санкт-Петербург, 2023, 2024 гг.;
- Международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии информационного общества», г. Москва, 2024 г.;
- Международная конференция по электромеханике и робототехнике «Завалишинские чтения», г. Санкт-Петербург, 2024, 2025 гг.;
- Всероссийской научно-практической онлайн-конференции с международным участием «Интеллектуальные технологии в эргономике и когнитивных науках», г. Брянск, 2024 г.;
- Всероссийская научная конференция «Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации», г. Санкт-Петербург, 2024, 2025 гг.;
- Российская научная конференция «Радиофизика, фотоника и исследование свойств вещества», г. Омск, 2024 г.

**Публикации.** Результаты диссертационной работы опубликованы в 28 печатных изданиях, из них в том числе: 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.2.8, из них - 2 статьи без соавторов; 2 статьи в единой реферативной и наукометрической (библиографической) базе данных Scopus; 22 работы в других научных изданиях и материалах конференций. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации на изобретение, устройство и полезную модель.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 8 Международных, трех Всероссийских и одной Российской научной конференции.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, каждая из которых представляет собой отдельное защищаемое положение, и заключения, изложена на 172 страницах машинописного текста, содержит 99 рисунков и 19 таблиц, список литературы содержит 138 наименований.

## II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** дана общая характеристика работы и показана ее актуальность, сформулированы и определены основные противоречия, гипотеза, цель и научная задача исследования, изложены основные результаты, выносимые на защиту, дано краткое содержание диссертации по главам, а также приведены сведения о публикациях, апробациях и реализациях полученных результатов.

**В первой главе** проведен анализ подходов к решению задач экологического мониторинга при поиске разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов, в рамках которого рассмотрена ситуация с организацией экологического мониторинга акваторий морей и океанов, обосновано применение метода неразрушающего контроля для обнаружения разливов нефтепродуктов. Дана характеристика проблем организации эффективного мониторинга и своевременного обнаружения разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов и проведено обоснование выбора метода неразрушающего контроля для реализации процедур обнаружения разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов.

Проведен выбор формата изображений, используемого при обнаружении разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов, исследованы структуры и параметры форматов данных изображений, обоснован выбор форматов представления для обработки данных изображений разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов.

Проанализированы существующие подходы к решению задачи обнаружения разливов нефтепродуктов в акваториях морей и океанов по результатам обработки их изображений.

Раскрыта сущность технологий машинного обучения и показана возможность их применения для решения задач обнаружения разливов нефтепродуктов. Представлены результаты анализа возможностей применения методов распознавания, основанных на результатах параметрической обработки изображений для решения задач обнаружения разливов нефтепродуктов. Обоснованы направления исследования по данным анализа результатов работ, связанных с решением задач обнаружения разливов нефтепродуктов и осуществлена постановка задачи исследования. Введены допущения и ограничения, представлены атрибуты научного исследования и проведена аналитическая постановка задачи исследования.

Показано, что главным достоинством растровых изображений является то, что размер их файлов коррелирует не только с общим количеством пикселей изображения, но и глубиной цвета, приходящейся на пиксель.

То есть, чем больше глубина цвета, тем детальней отображено изображение совокупностью цифровых данных. В табл. 1 представлены значения размера файла и количество отображаемых цветов  $N_{ц}$ , в зависимости от величины кода, определяющего глубины цвета  $k_{ц}$ , для изображения  $640 \times 480$  пикселей.

Таблица 1 – Размер файла и количество отображаемых цветов, в зависимости от величины кода, определяющего глубины цвета

	Разрядность кода глубины цвета $k_{ц}$					
	4	8	16	24	32	48
$N_{ц}$	16	256	65 536	16 777 216	4 294 96 7 296	281 474 976 710 656
$V_{ф}$ , Кбайт	153,6	307,2	614,4	921,6	1228,8	1843,2

Поскольку человеческий глаз различает не более  $10^7$  цветовых градаций, то согласно табл. 1, использование разряда кода свыше  $k_{ц} > 24$  не целесообразно.

Обоснован выбор в качестве исходных данных изображений в формате JPEG.

Проведенный анализ показал, что к решению задач обнаружения разливов нефтепродуктов в большей степени адаптированы сверточные нейронные сети CNNs. В табл. 2 приведены данные по вычислительному ресурсу и результаты обнаружения объектов на изображениях размером  $224 \times 224$  пикселей.

Таблица 2 – Параметры эффективности и производительность CNNs

	Тип глубокой нейронной сети				
	AlexNet	VGG-16	GoogLeNet	ResNet	SENet
Количество вычислительных операций,	$724 \times 10^6$	$15,5 \times 10^9$	$1,43 \times 10^9$	$3,6 \times 10^9$	$5,8 \times 10^9$
Вероятность, $p_{об}$	0,84	0,92	0,93	0,96	0,965

Но, несмотря на высокую эффективность CNNs, их непосредственное применение на борту БПЛА связано с определенными трудностями, т.к. они ориентированы на работу с конкретными изображениями, в то время как последствия разливов нефтепродуктов не имеет четкой детерминированности. При поиске слабо конкретизированных объектов, потребный вычислительный ресурс CNNs может повыситься на порядок. Анализ параметрических методов распознавания показал, что их реализация предполагает выполнение следующих процедур:

задание пространства распознавания совокупностью классов, к одному из которых должен быть отнесен распознаваемый объект;

выбор набора параметров, представленных в виде векторов признаков распознавания, по результатам обработки которых, и производят распознавание;

задание (реализация) решающего правила, в соответствии с которым происходит отнесение распознаваемого объекта к одному из альтернативных классов.

На этапе формирования пространства распознавания в виде векторов признаков  $\{\mathbf{X}^{(l)}\}_L$  необходим поиск такой совокупности параметров  $\{\mathbf{X}^L\}_R$  характеризующих объект (образ), которые для  $L$  распознаваемых образов, обеспечили наилучшую контрастность.

$$\{\mathbf{X}^L\}_R \rightarrow \arg \max_{l,j \in L} |\mathbf{X}^{(i)} - \mathbf{X}^{(j)}|. \quad (1)$$

Такой подход позволяет задачу классификации изображений свести к процедурам сравнения их векторов признаков с векторами признаков базовых описаний. То есть вектор признаков текущего изображения  ${}^0V_m$  будет сравниваться с базовыми векторами признаков двух альтернативных классов  $A_1$  и  $A_2$ .

Аналитически такая операция представляет собой алгебраическую разность между парами векторов  ${}^2V_m$  и  ${}^0V_m$ , и  ${}^1V_m$  и  ${}^0V_m$ , рассчитываемую как

$$d_{01(02)} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |{}^0V_m - {}^{1(2)}V_m|, \quad (2)$$

где  $d_{01}$  – абсолютная разность между вектором обрабатываемого изображения  ${}^0V_m$  и вектором  ${}^1V_m$  базового описания класса  $A_1$ ;  $d_{02}$  – разность между вектором  ${}^0V_m$  и, соответственно, вектором  ${}^2V_m$ .

Тогда искомый алгоритм принятия решения о наличии аномалий может быть представлен в виде условия оценки знаковой функции:

$$\text{sign}(d_{01} - d_{02}) = \begin{cases} 0 > A_0 \in A_2; \\ 0 \leq A_0 \in A_1, \end{cases} \quad (3)$$

где  $A_1$  – класс изображений на которых отсутствуют аномалии; и  $A_2$  – класс изображений, которые содержат аномалии.

Для алгоритма классификации, условие (2) может быть приведено к виду:

$$d_{01(02)} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |{}^0V_m - {}^{1(2)}V_m| \begin{cases} A_0 \in A_2 \\ > \\ \leq \\ A_0 \in A_1 \end{cases} d_{02}. \quad (4)$$

Согласно алгоритму (4) эффективность такого подхода определяется контрастностью признакового пространства, которая определяется абсолютной разностью значений  ${}^1V_m$  и  ${}^2V_m$ . Следовательно, необходимо использовать такие параметры изображений, которые при прочих равных условиях позволят получить наибольшую контрастность между альтернативными классами  $A_1$  и  $A_2$ .

Сформулированы выводы по первой главе.

**Во второй главе** представлен результат разработки модели представления обрабатываемых изображений в виде векторов признаков, инвариантных к изменениям интенсивности светового фона подстилающей водной поверхности в приборах и средствах экологического контроля и диагностики. Решена задача формализации изображений для их последующей обработки, обоснован переход к полутоновым форматам изображений и представлен порядок выбора данных для формирования первичных векторов признаков. Приведены этапы разработки модели формализации изображений, инвариантной к изменениям интенсивности светового фона, в рамках которых исследована устойчивость параметров гистограмм, характеризующих распределения значений компонент яркости, в зависимости от освещенности изображений и получено аналитическое представление разработанной модели. Представлены результаты оценки эффективности технических решений по разработке модели для систем диагностики и экологического контроля.

Обоснован переход к полутоновым изображениям. Доказано, что наилучшую контрастность векторов признаков для тестируемых изображений обеспечивают первичные

векторы, сформированные на основе их гистограмм распределения яркости пикселей. Однако структура и положение гистограмм на оси яркости для одного и того же изображения может изменяться в зависимости от уровня его освещенности. Для примера, на рис. 1 представлено исходное тестовое изображение, на рис. 2 – после изменения освещенности на 20% (фото в свободном доступе по состоянию на 11.05.2024 в сети Интернет <https://gazetanovoros.ru/wp-content/uploads/2021/10/more.jpg>). На рис. 3 и 4 представлены соответствующие им гистограммы распределения яркости. Значения различий, согласно формуле (2), приведены в табл. 3.



Рисунок 1 – Исходное тестовое изображение



Рисунок 2 – Тестовое изображение с изменением освещенности на 20%

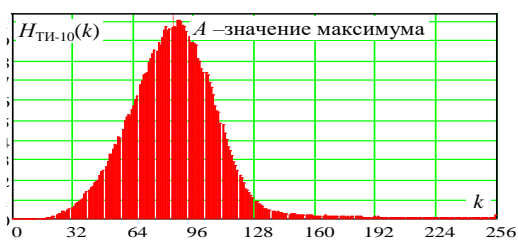


Рисунок 3 – Гистограмма исходного тестового изображения

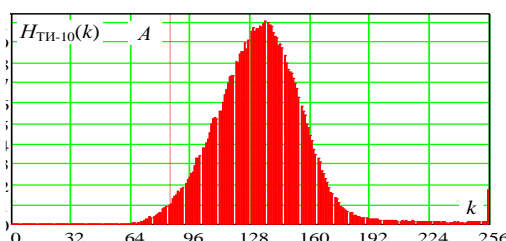


Рисунок 4 – Гистограмма изображения с изменением освещенности на 20%

Таблица 3 – Оценка чувствительности признаков к изменению освещенности

$\Delta\epsilon$	1%	2%	5%	10%	15%	20%
$d_v$	88,3	192,6	524	1046	1463	1791

Для понимания механизма изменений выражение (2) преобразовано к виду

$$d_{V_{x,y}}(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |Vx_i - Vy_i|. \quad (5)$$

На рис. 5 показан график зависимости функции накопления различий  $d_v(N)$ , см. выражение (5) между векторами первичных признаков. А на рис. 6 – функция изменения динамики модуля разности векторов  $Vx_k$  и  $Vy_k$ , рассчитанная как

$$\Sigma_d(k) = |Vx_k - Vy_k|. \quad (6)$$

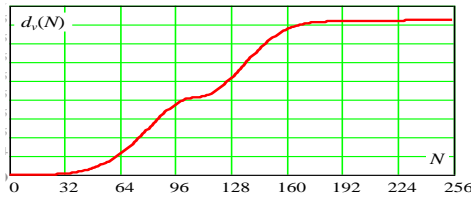


Рисунок 5 – Функция накопления различий  $d_v(N)$

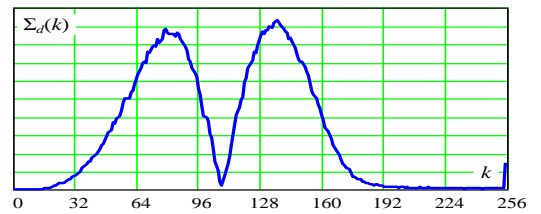


Рисунок 6 – Функция изменения динамики модуля разности векторов  $Vx_k$  и  $Vy_k$ .

Анализ полученных результатов указывает на то, что структура векторов  $Vx_k$  и  $Vy_k$  совпадает. Поэтому предложено гистограммы перед сравнением приводить к начальному значению на оси яркости. Программа реализации такого представлена на рис. 7. А на рис. 8 – алгоритм переназначения.

$$K := \begin{cases} Y \leftarrow 0 \\ \text{for } k \in 0..255 \\ \quad \begin{cases} T \leftarrow k \text{ if } V_k = \max(V) \\ Y \leftarrow V_k \end{cases} \\ K \leftarrow T \end{cases}$$

Рисунок 7 – Алгоритм поиска аргумента максимального значения гистограммы яркости изображения

$$V1_k := \begin{cases} V1_k \leftarrow V_{k+r} \text{ if } k < 255 - r \\ V1_k \leftarrow 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

Рисунок 8 – Алгоритм переназначения гистограммы с учетом совмещения ее максимума с заданным значением

Найденные разницы значений аргументов гистограмм (векторов), которым соответствуют максимальные значения, рассчитанные согласно выражению

$$r = (k \rightarrow \max Vx_k) - (k \rightarrow \max Vy_k). \quad (7)$$

В табл. 4 представлены значения  $r$ , рассчитанные в соответствии с (7), применительно к тестируемым изображениям.

Таблица 4 – Различия максимумов гистограмм по оси яркости, в зависимости от освещенности изображений

$\Delta\varepsilon$	1%	2%	5%	10%	15%	20%
$r$	2	5	12	25	37	50

Моделирование с 200 изображениями различных акваторий подтвердило правильность выводов, что структуризация гистограмм распределений, соответствующих одному из классов, снижает различия их векторов признаков. Но высокая динамика, обусловленная волнением водной поверхности, ведет к снижению достоверности обнаружения аномалий изображений, в виде разливов нефтепродуктов. Поэтому необходима обработка признаков распознавания изображений, для повышения контрастности признаков пространств.

Сформулированы выводы по второй главе.

**В третьей главе** представлен научный результат по разработке методики контроля и диагностики разливов нефтепродуктов, как аномалий в обрабатываемых изображениях, обеспечивающей повышение достоверности их обнаружения в результате вторичной кратномасштабной обработки в базисах вейвлетов. Обоснована необходимость поиска подходов к снижению вариативности гистограмм изображений, характеризующих один и тот же распознаваемый объект. Представлены этапы выбора порождающей функции для построения матриц масштабно-временных преобразований и обоснование размерности для форми-

рования на их основе векторов признаков. Исследованы свойства декоррелирующих преобразований в интересах снижения вариативности гистограмм изображений, характеризующих один и тот же распознаваемый объект. Приведены результаты анализа, проведенного в интересах выбора формирующей вейвлет-функции. Показан механизм ее применения для последующей реализации процедур кратномасштабного преобразования (КМП) над гистограммами обрабатываемых изображений. Обоснован выбор размерности матрицы КМП для построения векторов признаков. Описана и раскрыта сущность основных этапов методики контроля наличия разливов нефтепродуктов за счет повышения контрастности векторов признаков посредством их вторичной кратномасштабной обработки в базисах вейвлетов.

Сформулированы выводы по третьей главе.

Значительная вариативность гистограмм изображений акваторий, характеризующих один и тот же альтернативный класс, не позволяет получить высокую достоверность обнаружения аномалий. Оценка дисперсии по формуле (8) для наиболее типовых изображений, позволила выявить ее размах, рис. 9.

$$\Delta r [\%] = \frac{|Vx - Vy|}{\sum_{k=0}^{255} Vx_k} \times 100\%, \quad \Delta r = |Vx - Vy|. \quad (8)$$

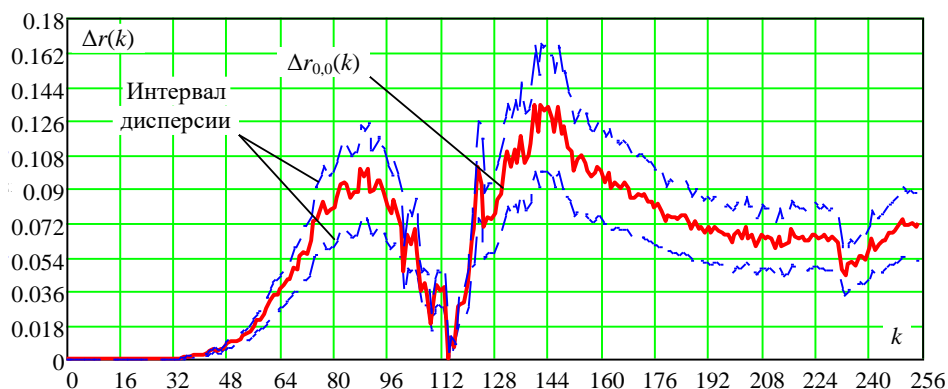


Рисунок 9 – График функции различий средних значений в границах его дисперсии

На рис. 9  $\Delta r_{0,0}(k)$  – усредненная функция различий.

Одной из причин высокой вариативности гистограмм тестовых изображений является изначальная избыточность обрабатываемых изображений. Поэтому была выдвинута гипотеза: применение декоррелирующих преобразований к гистограммам распределения яркости, позволит снизить их вариативность.

В ходе исследования была обоснована целесообразность выбора КМП, формирующего двумерную матрицу значений.

$$W(k, n) = \frac{1}{\sqrt{k}} \int_0^{N-1} x(t) \psi\left(\frac{t-n}{k}\right) dt, \quad (9)$$

где  $n$  и  $k$  – переменные сдвига и масштаба;  $\psi(t)$  – формирующий вейвлет.

В исследовании рассматривались вейвлеты Хаара (Х), рис. 10, Добеши (Д), дуальные (Дв), биортогональные (Б), Гаусса 1-го (Г1), рис. 11, и 2-го порядков (Г2). Предложено, в качестве новых векторов признаков использовать усредненные значения матриц КМП. Так как матрицы КМП имеют две координаты по оси  $k$  и оси  $n$ , то исследование проведено для обоих случаев. В табл. 5 и 6 приведены разности векторов базового и тестового изображений, сформированных в различных базисах вейвлет-функций, см. формуле (8). Анализ результатов показал, что меньшую дисперсию обеспечивают векторы, сформированные усреднения КМП по оси временных сдвигов  $n$ . При этом наилучший результат обеспечивает разложение гистограмм в базисе вейвлета Гаусса 1-го порядка.

Так как целью работы является не только снижение дисперсии векторов, но и повышение общей контрастности признакового пространства, было проведено исследование, по формированию векторов путем усреднения матриц КМП, сформированных с избыточностью декомпозиции, т.е. при  $k = 16, 32, 64$  и  $128$ .

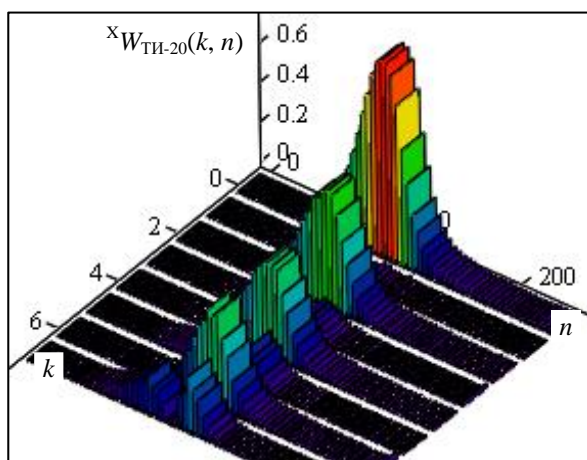


Рисунок 10 – Трехмерная матрица КМП гистограммы изображения на основе вейвлета Хаара

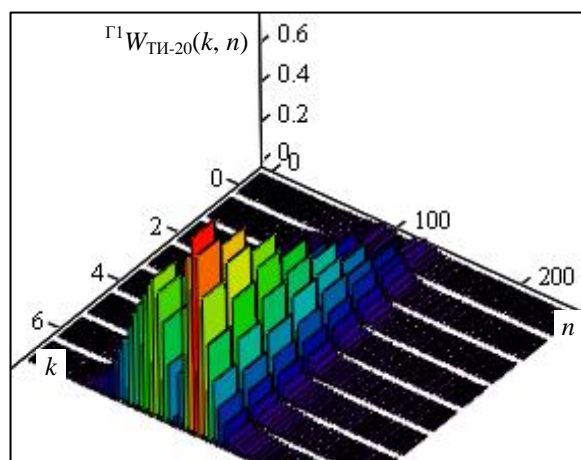


Рисунок 11 – Трехмерная матрица КМП гистограммы изображения на основе вейвлета Гаусса 1-го порядка

Таблица 5 – Разность векторов признаков тестовых изображений, полученных усреднением матрицы КМП гистограммы по оси

	(X)	(Г1)	(Г2)	(Д)	(Б)	(Дв)	(Г1) – (X)
$\Delta r$	2,586	2,972	3,179	2,365	2,963	2,704	4,533
$\Delta r, \%$	6,3	6,0	8,0	9,9	8,5	9,8	9,5

Таблица 6 – Разность векторов признаков тестовых изображений, полученных усреднением матрицы КМП гистограммы по оси  $k$

	(X)	(Г1)	(Г2)	(Д)	(Б)	(Дв)	(Г1) – (X)
$\Delta r$	1,649	0,204	0,33	1,423	1,575	1,506	0,536
$\Delta r, \%$	37,7	4,0	8,2	28,2	37,4	36,6	10,5

Для оценки контрастности векторов использовалось выражение

$$\delta_k = \frac{\Delta r_{\text{ТИ-20,ТИ-25}}}{\Delta r_{\text{ТИ-20,ТИ-22}}}, \quad (10)$$

где  $\Delta r_{\text{ТИ-20,ТИ-25}}$  и  $\Delta r_{\text{ТИ-20,ТИ-22}}$  – расчетные значения разности векторов признаков базового изображения ТИ-20 и изображений: чистой акватории ТИ-25 (с наибольшей дисперсией), и загрязненной ТИ-22 (с наименьшей дисперсией).

Результаты расчетов значений  $\delta$  представлены в табл. 7.

Таблица 7 – Оценка контрастности векторов признаков для различных  $k$

	для $k = 8$	для $k = 16$	для $k = 32$	для $k = 64$	для $k = 128$
$\delta_k$	1,77	1,93	3,4	3,27	2,08

Наилучшую контрастность и наименьшую дисперсию обеспечили векторы признаков, полученные усреднением по оси временных сдвигов матриц КМП размерностью  $256 \times 32$ , на основе вейвлетов Гаусса 1-порядка, что увеличило точность обнаружения разливов нефтепродуктов.

Сформулированы выводы по третьей главе.

**В четвертой главе** представлено методическое обеспечение способа обнаружения разливов нефтепродуктов, для его реализации в приборах и средствах экологического контроля окружающей среды, на основе выявления аномалий в обрабатываемых изображениях. Приведены результаты обоснования алгоритма, реализующего способ обнаружения аномалий с позиций оценки различий векторов признаков обрабатываемых изображений. Осуществлена формализация задачи обнаружения аномалий с позиций выявления различий обрабатываемых кадров изображения. Представлена оценка работоспособности алгоритма и рассмотрен порядок реализации основных этапов способа обнаружения разливов нефтепродуктов, с позиций выявления различий обрабатываемых кадров изображения. Представлен подход вероятностной оценки способа обнаружения разливов нефтепродуктов, для чего разработана аналитическая основа вероятностной оценки работы алгоритма обнаружения аномалий и получены аналитические выражения вероятностной оценки правильного обнаружения аномалий с учетом коэффициента повышения контрастности.

Альтернативным решением для реализации способа обнаружения разливов нефтепродуктов видится применение алгоритма классификации, в котором изображение текущего кадра сравнивается с изображением предыдущего кадра.

$$\left( \sum_{n=0}^{N-1} {}^0V_n \right)^{-1} \left| \begin{matrix} \overline{{}^0V - {}^1V} \\ \leq \\ \Gamma_0 \end{matrix} \right| \begin{matrix} > \\ \leq \\ \Gamma_1 \end{matrix} d_{\Pi}, \quad \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} | {}^0V_n - {}^1V_n | \begin{matrix} > \\ \leq \\ \Gamma_0 \end{matrix} d_{\Pi}, \quad (11)$$

где  $d_{\Pi}$  – порог принятия решения в пользу варианта  $\Gamma_1$  – на обрабатываемом изображении присутствуют аномалии ( $\Gamma_0$  – на обрабатываемом изображении отсутствуют аномалии);  ${}^1V_m$  и  ${}^0V_m$  есть векторы признаков текущего и предыдущего изображения.

Для проверки работоспособности алгоритма (11), тестовое изображение ТИ-04, см. рис. 12 (фото в свободном доступе по состоянию на 14.03.2024 в сети Интернет из библиотеки NOWPAP MERRAC: Official website. Web. 14 March 2024 [http://merrac.nowpap.org/merrac/work/nowpap\\_region/](http://merrac.nowpap.org/merrac/work/nowpap_region/)) представлено непересекающимися кадрами ТИ-041, ТИ-042, ТИ-043, ТИ-044. Кадры сдвинуты так, чтобы охватывать 90% общего фона. На изображениях ТИ-042 разливы нефтепродуктов занимают менее 1%; на ТИ-043 около 4%, а на ТИ-044 порядка 16% от общей площади кадра.

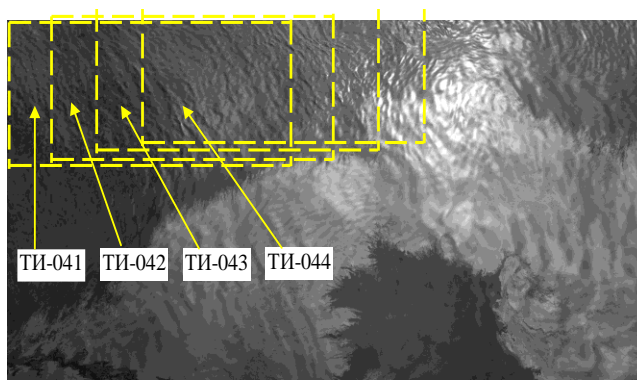


Рисунок 12 – Изображение ТИ-04 с сегментированными кадрами

Результаты работы алгоритма обнаружения (11) сведены в табл. 8.

Работоспособность алгоритма (11) оценивалась по 200 изображениям как с чистой

поверхностью воды, так и разливами нефтепродуктов. Каждый последующий кадр формировался таким образом, чтобы он содержал не менее 75% изображения предыдущего кадра. На кадрах с разливами нефтепродуктов площадь загрязнения от 3% до 50% общей площади изображения. Алгоритм (11) показал 192 правильных исходов при априорном значении порога  $d_{\Pi} = 0,02$ .

Таблица 8 – Результаты работы алгоритма обнаружения аномалий

	$\Gamma^1 V_{\text{ТИ-041}} - \Gamma^1 V_{\text{ТИ-042}}$	$\Gamma^1 V_{\text{ТИ-042}} - \Gamma^1 V_{\text{ТИ-043}}$	$\Gamma^1 V_{\text{ТИ-043}} - \Gamma^1 V_{\text{ТИ-044}}$
Расчетное значение $d'_{\Pi}$	0,018	0,037	0,029
Соответствие варианту $\Gamma_0$	+	–	–
Соответствие варианту $\Gamma_1$	–	+	+

Проведенный анализ показал, что основными параметрами, определяющими качество обнаружения аномалий, являются относительные размеры объекта распознавания, к общему размеру кадра изображения. А также параметры, характеризующие вариативность структуры окружающего идентифицируемый объект фона. А условная вероятность правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  определяется текущим отношением сигнал/шума  $h_2$  на входе решающего устройства

$$P_{\text{по}} = \begin{cases} 0,5 [1 + \Phi(h - G_0)], & h \geq G_0; \\ 0,5 [1 - \Phi(G_0 - h)], & h < G_0. \end{cases} \quad (12)$$

Здесь  $G_0$  – нормированный порог обнаружения;  $\Phi(*)$  – функция Крампа.

С позиций задачи обнаружения аномалий предложено  $h^2$  рассматривать как предполагаемое отношение размеров аномалии к общему размеру кадра.

$$h^2 = \frac{\delta_A}{\sigma_p^2 - \delta_A}, \quad (13)$$

где  $\delta_A \in [0; 1]$  – относительны размеры объекта распознавания (аномалии)  $S_A$  к общей площади кадра изображения  $S_K$ ,  $\sigma_p^2$  – дисперсия различий векторов признаков текущего и базового изображений.

Различия между векторами признаков любых двух изображений определяются граничными условиями, характеризуемыми значением дисперсии вектора признаков самого базового изображения  $\sigma_{\text{э}}^2$ . Следовательно, значение нормированного порога обнаружения будет определяться как  $G_0 = \sigma_{\text{э}}$ . В свою очередь дисперсию различий векторов признаков можно рассчитать как

$$\sigma_p^2 = \frac{1}{N-1} \times \sum_{n=0}^{N-1} \left[ \left( {}^T V_n - {}^{\text{э}} V_n \right) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( {}^T V_n - {}^{\text{э}} V_n \right) \right]^2, \quad (14)$$

где  ${}^T V$  и  ${}^{\text{э}} V$  – векторы признаков текущего и базового изображений.

Для учета контрастности, обусловленную применением процедур КМП, предложено ввести коэффициент повышения контрастности  $K_{\text{ПК}}$ , как отношение векторов разности, сформированных на основе гистограмм распределения яркости, к отношению векторов признаков после их кратномасштабной обработки

$$K_{\text{ПК}} = \frac{d_{H_{\text{э}}, H_{\text{T}}}}{d_{V_{\text{э}}, V_{\text{T}}}}, \quad (15)$$

где  $d_{H_{\text{э}}, H_{\text{T}}}$  – разность первичных векторов признаков базового и текущего (обрабатываемого) изображения на основе гистограмм, до процедур КМП;  $d_{V_{\text{э}}, V_{\text{T}}}$  – разность векторов признаков базового и текущего (обрабатываемого) изображения после кратномасштабной обработки гистограмм.

Результатирующее выражение для оценки вероятности правильного обнаружения аномалий с учетом коэффициента повышения контрастности запишем как

$$P_{\text{по}} = \begin{cases} 0,5 \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\delta_A K_{\text{пк}} - \sigma_{\text{Э}}^2}{\sigma_{\text{р}}^2} \right) \right], & \frac{\delta_A K_{\text{пк}}}{\sigma_{\text{р}}^2} \geq \sigma_{\text{Э}}^2; \\ 0,5 \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\sigma_{\text{Э}}^2 - \delta_A K_{\text{пк}}}{\sigma_{\text{р}}^2} \right) \right], & \frac{\delta_A K_{\text{пк}}}{\sigma_{\text{р}}^2} < \sigma_{\text{Э}}^2. \end{cases} \quad (16)$$

На рис. 13 функции вероятности правильного обнаружения, в зависимости от размеров площади аномалии на кадре изображения, при условии  $\sigma_{\text{р}}^2 = 0,3$ .

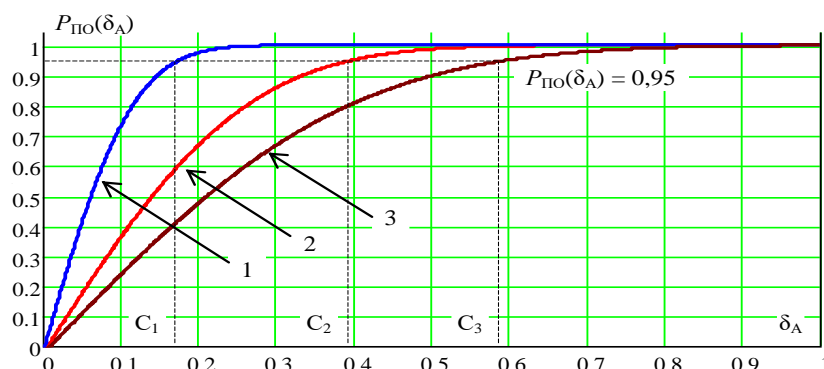


Рисунок 13 – Зависимость вероятности правильной идентификации (обнаружения) аномалии, в зависимости от ее размеров, по отношению к площади кадра, при различных значениях коэффициента повышения контрастности: 1 – соответствует значению  $K_{\text{пк}} = 3,4$ ; 2 – соответствует значению  $K_{\text{пк}} = 1,5$ ; 3 – соответствует значению  $K_{\text{пк}} = 1$

На рис. 13: 1 – соответствует значению  $K_{\text{пк}} = 3,4$ ; 2 – соответствует значению  $K_{\text{пк}} = 1,5$ ; 3 – соответствует значению  $K_{\text{пк}} = 1$ . Отметим, при  $K_{\text{пк}} = 1,5$   $P_{\text{по}} = 0,95$  обеспечивается при снижении размера аномалии в 1,5 по отношению к  $K_{\text{пк}} = 1$ . Повышение контрастности до  $K_{\text{пк}} = 3,4$ , позволит обнаруживать аномалии в 3,3 раза меньшего размера с той же вероятностью идентификации, что повышает точность обнаружения разливов нефтепродуктов и эффективность экологического контроля.

Результаты моделирования с 50 кадрами для каждой градации аномалий, с размерами от 1% до 20% общей площади изображения, подтвердили работоспособность способа обнаружения разливов нефтепродуктов, основанного на выявлении аномалий обрабатываемых изображений, см. табл. 9.

Таблица 9 – Результаты оценки работоспособности способа обнаружения разливов нефтепродуктов

$\delta_A$	Размеры аномалии по отношению к общей площади кадра							
	1%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%
Расчетное значение $P_{\text{по}}$	0,68	0,8	0,9	0,94	0,96	0,98	1,0	1,0

Сформулированы выводы по четвертой главе.

**В заключении** даны сформулированные основные выводы:

1. Модель представления обрабатываемых изображений в виде векторов признаков, инвариантных к изменениям интенсивности светового фона подстилающей водной поверхности в приборах и средствах экологического контроля и диагностики позволяет более чем в 100 раз снизить объем передаваемых данных без существенной потери качества изображения и увеличивает достоверность экологического контроля. Такой подход открывает воз-

возможность решения задач обнаружения разливов нефтепродуктов непосредственно в приборах и средствах экологического контроля и диагностики.

2. Методика контроля и диагностики разливов нефтепродуктов, обеспечивает повышение достоверности их обнаружения в результате вторичной кратномасштабной обработки в базисах вейвлетов, в приборах и средствах экологического контроля и диагностики при выявлении разливов нефтепродуктов повышает эффективность экологического контроля в 1,92 раза.

3. Оценка методического обеспечения способа обнаружения разливов нефтепродуктов для его реализации в приборах и средствах экологического контроля окружающей среды, способом, используемым при обнаружении сигнала с неизвестной амплитудой, показала повышение достоверного распознавания с 0,95 до 0,98 и позволила обнаруживать аномалии в 3,3 раза меньшего размера с той же вероятностью идентификации, что повышает точность обнаружения разливов нефтепродуктов и эффективность экологического контроля.

Определены направления дальнейшего исследования.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованный ВАК, по научной специальности 2.2.8:**

1. Васильева Д.В. Алгоритм обнаружения загрязнений поверхности океана по результатам обработки изображений с систем видеонаблюдения // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2024. Т. 22. № 4. С. 6-16.

2. Васильева Д.В. Исследование чувствительности векторов признаков, сформированных на основе кратномасштабных преобразований обрабатываемых изображений // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2024. Т. 27. № 3. С. 20-29.

3. Васильева Д.В., Дворников С.В. Структуризация первичных признаков изображений систем мониторинга окружающей среды // Радиотехника. 2024. Т. 88. № 8. С. 5-17.

4. Васильева Д.В., Дворников С.В., Дворников С.С. Обоснование структуры форматов изображений для решения задач распознавания образов при экологическом мониторинге // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2024. Т. 27. № 5. С. 118-128.

**Публикации в изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus:**

5. Дворников С.В., Васильева Д.В., Маслова А.А. Вероятностная оценка помехозащищенности составных радиопередач видео в условиях взаимных помех // Информатика и автоматизация. 2025. Т. 24. № 4. С. 1182-1205. DOI 10.15622/ia.24.4.7.

6. Дворников С.В., Васильева Д.В. Повышение достоверности выявления аномалий на изображениях при формировании их векторов признаков в базисах вейвлетов // Информатика и автоматизация. 2024. Т. 23. № 6. С. 1698-1729.

**Публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованный ВАК:**

7. Васильева Д.В., Дворников С.В., Дворников С.С. Многмасштабная сегментация изображений в решении задач обнаружения разливов нефтепродуктов на основе сверточных нейронных сетей // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Т. 19. № 6. С. 16-24.

8. Дворников С.В., Дворников С.С., Васильева Д.В. Автоматизация процедур обнаружения нефтяных разливов на водной поверхности // Информация и космос. 2024. № 1. С. 126-132.

9. Васильева Д.В., Дворников С.С., Дворников С.В., Москалец Г.Н. Обоснование аналитического аппарата для автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров //

Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2024. № 1. С. 44-54.

10. Васильева Д.В., Дворников С.С., Москалец Г.Н., Федосова А.А., Дворников С.В. Радиолокационное обнаружение малоразмерных объектов // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2024. № 1. С. 48-51.

11. Васильева Д.В., Якушенко С.А., Дворников С.С., Погорелов А.А., Дворников С.В. Обнаружение морских дронов в оптическом диапазоне // Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 90-92.

12. Васильева Д.В., Дворников С.С., Дворников С.В. Обоснование технических требований к рлс обнаружения малоразмерных объектов // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2023. № 4. С. 97-104.

13. Васильева Д.В., Дворников С.С., Толстуха Ю.Е., Обрезков П.С., Дворников С.В. Формирование векторов признаков для систем видеонаблюдения // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2023. № 4. С. 62-68.

14. Васильева Д.В., Дворников С.В., Якушенко С.А., Дворников С.С. Автоматизация процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2023. № 4. С. 47-58.

**Публикации в других изданиях и сборниках научных конференций (симпозиумов и т.п.):**

15. Васильева Д.В., Дворников С.В. Обоснование и выбор структуры форматов изображений для решения задач видового контроля при экологическом мониторинге // XXVIII Международная научная конференция «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы», Санкт-Петербург, 2025. С. 100-104.

16. Дворников С. В., Васильева Д. В. Якушенко С. А. Повышение вероятности распознавания объектов мониторинга по результатам обработки изображений // XXVIII Международная научная конференция «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы», Санкт-Петербург, 2025. С. 123-127.

17. Васильева Д.В., Дворников С.В. Результаты обоснования выбора показателей в задачах поиска объектов на изображениях // Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации. Сборник докладов Шестой Всероссийской научной конференции. Санкт-Петербург, 2025. С. 76-78.

18. Дворников С.В., Васильева Д.В. Обоснование выбора исходных данных для решения задач обработки изображений на основе статистических показателей // Завалишинские чтения'25. Сборник докладов XX Международной конференции по электромеханике и робототехнике. Санкт-Петербург, 2025. С. 33-36.

19. Васильева Д.В., Дворников С.С., Дворников С.В., Якушенко С.А. Предложения по снижению уровня дисперсии в процедурах оценивания временных параметров сигналов // Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Сборник статей VII Международного форума. Санкт-Петербург, 2025. С. 103-106.

20. Васильева Д.В., Дворников С.В. Обоснование аналитического аппарата для автоматизации процедур обнаружения лесных пожаров // Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации. Сборник докладов Пятой Всероссийской научной конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 100-104.

21. Васильева Д.В., Дворников С.С., Лифанова О.Н. Анализ результатов распознавания объектов экологического мониторинга // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве. Сборник тезисов докладов IV Международного форума. В 2-х частях. Санкт-Петербург, 2024. С. 163-165.

22. Васильева Д.В., Селиванов С.В., Дворников С.С., Дворников С.В. Аналитический аппарат оценки энергетических параметров сигналов vsat // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве. Сборник тезисов докладов IV Международного форума. В 2-х частях. Санкт-Петербург, 2024. С. 204-206.

23. Васильева Д.В., Дворников С.С., Дворников С.В. Форматы представления данных для моделирования технических процессов обработки изображений // Радиопизика, фотоника и исследование свойств вещества. Тезисы докладов III Российской научной конференции. Омск, 2024. С. 85-87.

24. Дворников С.В., Васильева Д.В. Нивелирование результатов обработки изображений в измерительных системах // Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Сборник статей VI Международного форума. Санкт-Петербург, 2024. С. 423-424.

25. Васильева Д.В., Дворников С.В., Дворников С.С. Автоматизация процедур обнаружения нефтяных разливов на водной поверхности // Технологии информационного общества. Сборник трудов XVIII Международной отраслевой научно-технической конференции. Москва, 2024. С. 138-141.

26. Дворников С.В., Васильева Д.В. Алгоритмы для обучения искусственного интеллекта при решении проблемы мониторинга окружающей среды // Интеллектуальные технологии в эргономике и когнитивных науках. Сборник материалов всероссийской научно-практической онлайн-конференции с международным участием. Брянск, 2024. С. 24-27.

27. Дворников С.В., Васильева Д.В. Предложения по выбору вида вейвлета при формировании векторов признаков из кратномасштабных представлений видеоизображений // Завалишинские чтения'24. Сборник докладов XIX Международной конференции по электромеханике и робототехнике, посвященной 300-летию Российской академии наук. Санкт-Петербург, 2024. С. 38-42.

28. Vasilyeva D.V., Dvornikov S.V., Yakushenko S.A., Dvornikov S.S. Automation of detection procedures based on the results of processing images from video surveillance systems // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве. Сборник тезисов докладов III Международного форума. В 2-х частях. Санкт-Петербург, 2023. С. 157-158.

#### **ПАТЕНТЫ:**

29. Свидетельство о гос. регистрации патента на полезную модель: «Способ распознавания изображений» / Васильева Д.В. Дворников С.С, Дворников С.В. / Свидетельство о регистрации патента на полезную модель RU 234284 C1, 26.05.2025. Заявка № 2024133681 от 11.11.2024.

30. Свидетельство о гос. регистрации патента на изобретение: «Способ распознавания изображений» / Васильева Д.В. Дворников С.С., Погорелов А.А., Лапин С.П., Дворников С.В./ Свидетельство о регистрации патента на изобретение RU 2839560 C1, 06.05.2025. Заявка № 2024118407 от 02.07.2024.

31. Свидетельство о гос. регистрации патента на изобретение: «Способ обнаружения разливов нефтепродуктов» / Васильева Д.В., Дворников С.В., Дворников С.С. / / Свидетельство о регистрации патента на изобретение RU 2842584 C1, 30.06.2025. Заявка № 2024132771 от 31.10.2024.

32. Свидетельство о гос. регистрации патента на изобретение: «Способ распознавания сигналов» / Дворников С.С., Дворников С.В., Обрезков П.С., Гудков М.А., Дворников А.С., Васильева Д.В./ Свидетельство о регистрации патента на изобретение RU 2809021 C1, 06.12.2023. Заявка № 2023117573 от 04.07.2023.