

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.004.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
МИНИСТЕРСТВА ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17 сентября 2025 г. № 12

О присуждении Грицкевичу Ивану Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование и разработка методов реализации и обработки малоконтрастных изображений в условиях ограниченной видимости» по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, принята к защите 14 июля 2025 года, протокол № 11 диссертационным советом 55.2.004.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 61, приказ № 258/нк от 27 марта 2019 года.

Соискатель Грицкевич Иван Юрьевич, 13 декабря 1988 года рождения, работает ведущим инженером в группе №33 отдела №3 в Акционерном обществе «Научно-технический центр ЭЛИНС».

В 2016 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого» с присвоением квалификации магистр. В 2024 году окончил освоение программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича».

Диссертация выполнена на кафедре цифрового телевидения и метрологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича» министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Гоголь Александр Александрович, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», кафедра цифрового телевидения и метрологии, профессор.

Оппоненты: 1. Корнышев Николай Петрович, доктор технических наук, доцент, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого», кафедра радиосистем НПИ, профессор; 2. Мотыко Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, основное место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)», кафедра телевидения и видеотехники, доцент, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Акционерное общество «Научно-исследовательский институт телевидения» (АО «НИИ телевидения»), г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном Цыцулиным Александром Константиновичем, доктором технических наук, профессором, председателем секции №2 НТС и Богдановым Юрием Германовичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, утвержденном Денисовым Андреем Васильевичем, кандидатом технических наук, главным конструктором, заместителем генерального директора по научно-техническому развитию,

указала, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты апробированы при решении актуальных научно-технических задач. Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание; содержание диссертации соответствует пунктам 5, 6, 10 и 12 паспорта научной специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. На основании изложенного ведущая организация считает, что Грицкевич Иван Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 22 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации – 22, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 8, в том числе 5 в изданиях, соответствующих искомой специальности, а также: 2 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 6 результатов интеллектуальной деятельности; 6 статей в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Из них 3 работы опубликованы соискателем без соавторства. Общий объем авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 61 печ.л. из общего количества 88 печ.л. Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Грицкевич И.Ю., Ерганжиев Н.А., Григорьев Д.С. Реализация метода локального контрастирования изображений на ПЛИС // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2019. – № 4. – С. 78-83.

2. Грицкевич И.Ю., Виноградов А.С., Григорьев Д.С., Петров М.Н. Улучшение качества потоковых изображений в реальном времени методом

CLANE // Вестник Новгородского государственного университета. – 2017. – № 6 (104). – С. 20-23.

3. Грицкевич И.Ю., Телина И.С. Оценка алгоритмов управления временем экспозиции // Вестник Новгородского государственного университета. – 2016. – № 7 (98). – С. 6-12.

4. Грицкевич И.Ю., Гоголь А.А. Алгоритм безэталонной оценки качества изображений // Труды учебных заведений связи. – 2024. – Т.10. – №2. – С. 16-23.

5. Грицкевич И.Ю. Гибридный метод локального контрастирования изображений с нейросетевой регулировкой параметров // Труды учебных заведений связи. – 2025. – Т. 11. – № 2. – С. 7-19.

Результаты интеллектуальной деятельности:

6. Тикменов В.Н., Грицкевич И.Ю., Козлитин И.А., Епишин Ю.В. Алгоритм автоматической локальной эквализации зон, окружающих каждый пиксель изображения на языке описания аппаратуры интегральных схем // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021661277, 08.07.2021.

7. Тикменов В.Н., Грицкевич И.Ю., Мичурин Р.А., Филиппов А.В. Программное обеспечение автоматизированного навигационного комплекса с технологией дополненной реальности // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021661328, 08.07.2021.

8. Грицкевич И.Ю., Удальцов В.Е., Мазуров А.С., Осетров А.А. Устройство для получения и стабилизации тепловизионного изображения // Патент на полезную модель RU 199927 U1, 29.09.2020.

9. Грицкевич И.Ю., Малютов А.Г., Гусейнов В.А., Черняк Б.В., Панов Н.А. Устройство электронной обработки тепловизионных изображений // Патент на полезную модель RU 185693 U1, 14.12.2018.

10. Грицкевич И.Ю. Автомат регулировки экспозиции на языке описания аппаратуры интегральных схем // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016611835, 11.02.2016.

Публикации в других изданиях:

11. Zharkov V.I., Petrov M.N., Griskevich I.Yu. Synthesis of a terminal device of a multiplex data exchange channel to FPGA // Journal of Physics: Conference Series. 3. RUS. – 2021. – P. 012056.
12. Gritskevitch, I.Yu., Yerganzhiev N.A. Results of Applying Selective Local Contrasting Parameters for Individual Parts of the Image. // Proceedings of 2019 3rd International Conference on Control in Technical Systems (CTS). – 2019. – P. 212-214.
13. Грицкевич И.Ю., Ерганжиев Н.А., Жарков В.И. Выбор размера области эквализации при локальном контрастировании элементов изображений // Актуальные проблемы информатики телекоммуникаций в науке и образовании. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 113-118.
14. Грицкевич И.Ю., Ерганжиев Н.А. Алгоритм адаптивного контрастирования с учетом локальных сюжетных особенностей изображения // Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий. Материалы V Международной научно-технической конференции, посвященной 140-летию со дня рождения выдающегося физика и создателя первой русской усилительной радиолампы Н. Д. Папалекси. – В 2 частях. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 36-40.
15. Грицкевич И.Ю., Ерганжиев Н.А., Жарков В.И. Адаптивное контрастирование с учетом локальных сюжетных особенностей ИК-изображений // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2020). – Санкт-Петербург, 2021. – С. 65-69.
16. Грицкевич И.Ю., Ерганжиев Н.А. Результаты применения выборочных параметров локального контрастирования для отдельных частей изображения // ПУТС–2019. – Т. 1. – С. 271-274.
17. Грицкевич И.Ю. Методы определения выдержки для светочувствительной матрицы видеокамеры // Молодой ученый. – 2016. – № 17 (121). – С. 1-4.
18. Gritskevitch I.Yu., Yerganzhiev N.A. Results of Applying Selective Local Contrasting Parameters for Individual Parts of the Image. // IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics. – 2020. – № 1. – P. 11.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: ведущей организации АО «НИИ телевидения»; официального оппонента Корнышева Н.П., д-ра техн. наук, доц., профессора кафедры радиосистем Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого; официального оппонента Мотыко А.А., кан. техн. наук, доц., доцента кафедры телевидения и видеотехники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); Коробкова М.А., канд. техн. наук, старшего инженера по разработке СнК ООО «КНС ГРУПП»; Русина В.В., канд. техн. наук, заместителя начальника отдела – начальника сектора Конструкторского бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова; Егорова И.С., заместителя главного конструктора, начальника отдела полигонных систем Филиала АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» в Великом Новгороде; Кулешова С.В., д-ра техн. наук, главного научного сотрудника, заместителя директора по научной работе Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук; Николаева Н.А., канд. техн. наук, ведущего научного сотрудника Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук; Романова А.Ю., д-ра техн. наук, доц., профессора департамента компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ; Тышкунова Н.В., канд. техн. наук, директора Красногорского завода им. С.А. Зверева; Шишкевича А.О., ведущего инженера по программированию ПЛИС (ЦОС) отдела разработки и моделирования алгоритмов беспроводных систем связи департамента «Сеть и радиосвязь» ООО «БЮРО 1440»; Аджемova А.С., д-ра техн. наук, проф., заведующего кафедрой общей теории связи МТУСИ; Кобзева Ю.М., канд. техн. наук, заместителя генерального директора по науке АО «Дизайн Центр «Союз»; Маркушина Г.Н., директора НКБ-СТ, главного конструктора АО «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова»; Осинцевой Н.Д., канд. физ.-мат. наук, младшего научного сотрудника лаборатории 8-1 ИЯФ СО РАН; Тихвинского В.О., д-ра экон. наук, канд. техн. наук, проф., главного научного сотрудника НИЦ Телеком им. М.И. Кривошеева; Хрящева В.В., канд. техн. наук,

доц., доцента кафедры цифровых технологий и машинного обучения ЯрГУ им. П.Г. Демидова; Янаковой Е.С., д-ра техн. наук, доц., начальника отдела интегрированных программных решений АО «Научно-производственный центр «Электронные вычислительные информационные системы».

Все отзывы положительные, но имеются следующие замечания. В разделе о метриках качества недостаточно обоснована концепция безэталонного оценивания искажений сигналов, которые априори не разделены на доминантный сигнал и фон; не формализовано отличие предложенной модифицированной метрики от существующих аналогов; некорректно говорится о разработке нескольких разных метрик, тогда как используется несколько вариантов одной метрики. Постановка задачи обработки малоконтрастных изображений предполагает методы и оценку, в первую очередь, повышения контраста доминантных объектов относительно фона и лишь во вторую очередь – отмечаемое автором изменение количественных характеристик достоверности обнаружения объектов, для корректной оценки которых необходима отсутствующая в работе формализация совокупности их признаков. Средний нормированный контраст и предложенная автором «итоговая оценка качества изображения» содержат введенные без должного обоснования регуляризационные члены. Методика количественной оценки снижения артефактов представлена излишне кратко, нет примеров соответствия между PSNR/SSIM и субъективными оценками. В тексте диссертации и в автореферате в формуле энтропии Шеннона отсутствует знак «минус». Автор злоупотребляет записью математических выражений в форме, принятой в программировании, вместо принятых в научной литературе. В разделе «Степень разработанности темы» (стр. 6) наблюдается ограниченность обзора зарубежных публикаций, в частности, недостаточно подробно отражены современные результаты по нейросетевым архитектурам для задач повышения контрастности. В описании результатов экспериментальной проверки приведен весьма ограниченный набор натуральных сюжетов. В автореферате на рис. 8 б) и г) приведено одно и то же изображение. Имеются ошибки в справочном аппарате: список сокращений содержит повторы, а в списке

литературы имеются неточности в оформлении и объединение разных публикаций под одним номером (например, 65). Текст диссертации и автореферата требует уточнения в части методологии формирования датасета для обучения нейросети. В диссертации отсутствует сравнение разработанного метода с аналогами на основе современных нейросетевых архитектур (в том числе на базе визуальных трансформеров). Что ограничивает полноту анализа эффективности. Экспериментальные результаты на ряде рисунков (рис. 2.7, стр. 61; рис. 3.16, стр. 102; рис. 4.9, стр. 123) не обладают достаточной наглядностью, визуальное преимущество предложенного метода выражено слабо. Теоретический анализ вычислительной сложности компонентов гибридного алгоритма представлен недостаточно подробно, отсутствует количественное сравнение затрат на CNN и основную часть алгоритма. В разделе «степень разработанности темы» (стр. 6) акцент сделан преимущественно на работах отечественных исследователей, при этом вклад зарубежных авторов отражен ограниченно. В диссертации проведено детальное сравнение с классическими алгоритмами и их аппаратными реализациями. Вместе с тем, для более полного позиционирования разработанного гибридного метода в современном научном ландшафте, представлялось бы полезным провести сравнение (хотя бы в качественном аспекте) с последними state-of-the-art методами улучшения изображений, основанными на генеративно-сопоставительных сетях или архитектурах на базе GPT. Для верификации эффективности алгоритмов в более широком контексте и обеспечения воспроизводимости результатов было бы целесообразно провести тестирование на общепринятых публичных бенчмарках для задач улучшения изображений в условиях тумана, низкой освещенности и т.д. В тексте диссертации недостаточно подробно представлен теоретический анализ вычислительной сложности отдельных компонентов гибридного алгоритма, например, было бы интересно увидеть оценку соотношения затрат на работу CNN (предсказание параметров) и на выполнение основной части алгоритма АЛК, что позволило бы глубже понять узкие места системы и потенциал для дальнейшей оптимизации. В работе заявлено впечатляющее «20-кратное уменьшение времени

обработки», однако для академической строгости важно четко определить базовую линию для сравнения. Для полноты картины в диссертации было бы полезно привести анализ временных характеристик с указанием критических путей при синтезе проекта в ПЛИС, что позволило бы оценить потенциал для дальнейшего повышения тактовой частоты. Термин «легковесная» является относительным. В автореферате не хватает количественных характеристик предложенной сети: общее число параметров, количество вычислительных операций на инференс. Эти данные позволили бы более объективно оценить ее «легковесность» и сравнить с другими известными компактными архитектурами. Предложенная система является многокомпонентной и, вероятно, содержит ряд собственных гиперпараметров. Хотя в работе представлены отличные результаты, остается открытым вопрос о сложности переноса и настройки данной системы на принципиально новые типы данных. Обсуждение устойчивости системы и процесса ее тонкой настройки добавило бы работе практической глубины. Отсутствует общее сравнение эффективности классических методов обработки изображений с предлагаемыми методами обработки. Отсутствует обоснование оптимальности размера окна в методе многоуровневой обработки. В автореферате упоминается коррекция неоднородности, которая является неотъемлемой частью предобработки в ИК-системах. Было бы интересно увидеть более подробный анализ взаимодействия предложенного гибридного алгоритма с различными методами NUC. В работе не указаны возможные ограничения предложенного гибридного метода, например, его применимость для изображений с экстремально низким контрастом или в условиях сильных шумов. Это могло бы помочь оценить границы применимости разработанных методов. В разделе, посвященном экспериментальной валидации, автор сравнивает предложенный алгоритм с методами CLaNE и MultiScaleRetinex. Однако из автореферата неясно, из каких соображений были выбраны параметры для этих эталонных методов, поскольку их эффективность сильно зависит от настроек. Недостаточное обоснование выбора не позволяет в полной мере оценить объективность полученного сравнения. Выбор локальной энтропии и частотных характеристик в качестве

основы для безэталонной метрики качества требует дополнительного теоретического обоснования. В автореферате не представлен анализ, почему именно эта комбинация признаков является оптимальной для данной задачи, и не рассмотрены альтернативные подходы, основанные на других статистических моделях естественных изображений, например, на анализе градиентов или вейвлет-коэффициентов. Имеются стилистические и погрешности оформления, имеются опечатки в формулах. В работе для демонстрации эффективности метода используются изображения общего характера. Непонятно, проводилась ли апробация алгоритма на специфических научных или технических изображениях, где сохранение тонких деталей и отсутствие артефактов имеет принципиальное значение. На рис. 4 представлена архитектура нейронной сети, однако недостаточно подробно описан процесс ее обучения. В частности неясно, из каких соображений была выбрана функция потерь для обучения регрессионной модели, и как ее выбор влияет на стабильность и точность предсказания параметров обработки. В тексте утверждается, что предложенный метод снижает количество артефактов, однако на приведенных изображениях (рис. 6) сложно провести количественную оценку этого улучшения. Было бы полезно дополнить визуальное сравнение численными данными, характеризующими уровень внесенных искажений. Автор предлагает использовать безэталонную метрику качества, основанную на локальной энтропии и частотных характеристиках. Недостаточно обосновано, почему именно этот набор характеристик является оптимальным для оценки качества в условиях ограниченной видимости и не рассмотрены альтернативные подходы. В автореферате заявлено энергопотребление системы «<5Вт», но не указана используемая методика оценки и не приведено сравнение с альтернативными решениями. При реализации нейронных сетей на ПЛИС одной из ключевых проблем является хранение весов модели. Автор не объясняет, хранятся ли веса на чипе как тогда преодолено ограничение в размере доступных ресурсов, или же во внешней памяти, и как тогда преодолено ограничение в пропускной способности каналов связи. При описании результатов работы автор приводит численные метрики улучшения, но

не всегда указывает, в сравнении с чем достигается «увеличение», «сокращение», «повышается точность» и т.д. В табл. 3 столбец озаглавлен как «Метод_Ali», но нет объяснения что это. Замечания по оформлению (элементы текста находятся далеко от их первого упоминания в тексте). В работе заявлена высокая производительность аппаратной реализации на ПЛИС, однако приведены только усредненные показатели задержки обработки. Целесообразно провести анализ максимальной и гарантированной задержки для одного кадра. Представляется важным оценить устойчивость предложенного алгоритма не только к шумам и естественным возмущениям, но и к резким изменениям условий наблюдения, а также к преднамеренным воздействиям, включая состязательные атаки, способные повлиять на работу нейросетевого модуля. Вопрос энергоэффективности рассмотрен недостаточно подробно. Полезно было бы сопоставить соотношение «производительность/потребляемая мощность» с альтернативными аппаратными решениями (GPU, NVIDIA, Jetson) и специализированными процессорами обработки изображений. В автореферате не приведен анализ предельной тактовой частоты, уровня разветвления маршрутизации и уровня логических путей между регистрами синтезированного проекта на выбранном кристалле ПЛИС. Эта информация является ключевой для оценки потенциала переноса архитектуры на ASIC-технологии и определения достижимой производительности при заданном технологическом процессе. Заявлена утилизация ресурсов на ПЛИС XC7K325T AMD/Xilinx «Менее 70%», но не указана детальная утилизация по ресурсам; заявлено энергопотребление системы «<5 Вт», но не указана методика его оценки и не приведено сравнение с энергопотреблением альтернативных решений. Не освещен аспект выбора разрядности и точности коэффициентов, который имеет ключевую роль при реализации алгоритмов цифровой обработки ПЛИС. Неясно, какая разрядность данных и коэффициентов использовалась, как и с какой эталонной моделью верифицировалась реализация на арифметике с фиксированной точкой. В автореферате не в полной мере обоснована корреляция предложенной безэталонной метрики, используемой в качестве функции потерь, с перцептивным

качеством изображений, что важно для оценки эффективности решения конечных задач. Недостаточно освещены вопросы устойчивости разработанных алгоритмов к различным типам шумов и артефактам сжатия. Требуется дополнительное пояснение реализации нейросетевой архитектуры на ПЛИС, в частности, описание используемых методов квантования и их влияния на итоговую точность вычислений. В работе для аппроксимации функции активации ELU используется разложение по многочленам Чебышева. Неясно, проводился ли анализ альтернативных методов аппроксимации. В работе описана реализация на базе блочной памяти для организации «скользящего окна», однако не раскрыт вопрос масштабируемости данного подхода для изображений сверхвысокого разрешения. Для реализации нейросетевого модуля на ПЛИС критически важна эффективность использования аппаратных умножителей (DSP-блоков). В автореферате не детализирован способ реализации сверточных слоев и не приведена оценка утилизации DSP-ресурсов. В апробации и результатах указана высокая производительность алгоритма, однако отсутствует параметр задержки. Предложенный алгоритм в «полной версии» использует 70% ресурсов ПЛИС, что может существенно ограничивать возможности реализации. В работе не рассматривается одновременная работа алгоритма по видеопотокам разного спектрального состава. В работе не рассматривается работа алгоритма при наличии на исходном изображении остаточного геометрического шума, геометрических и хроматических аберраций. Конкретная количественная оценка качества и в целом результатов работы алгоритма приводится в неявном виде. При оценке качества работы алгоритма используются предложенные в работе метрики, однако не рассматривается влияние результатов работы алгоритма на субъективное восприятие изображения оператором. На рис. 1 приведено изображение скользящего окна по кадру. В тексте указан параметр «размер окна», однако на рисунке не приведены какие-либо обозначения, что несколько затрудняет восприятие изображения. Из автореферата не вполне ясно. Как изменяется латентность обработки при усложнении архитектуры нейросетевого модуля. Анализ компромисса между сложностью нейронной сети и задержкой в

реальном времени был бы полезным дополнением. В автореферате недостаточно освещены аспекты интеграции разработанных решений с современными стандартами видеокодирования, что существенно ограничивает возможности их практического применения в телекоммуникационной инфраструктуре. В тексте автореферата отсутствует детальное сравнение эффективности, предложенной ПЛИС-архитектуры с альтернативными вычислительными платформами, что затрудняет объективную оценку преимуществ выбранного подхода. В автореферате указано, что для обучения нейронной сети использовался датасет из более чем 200 000 изображений, но не приводится обоснование достаточности и репрезентативности данной выборки, а также неясно, какие именно публичные или собственные наборы данных были использованы. В работе основное внимание уделяется повышению контрастности, однако в условиях ограниченной видимости изображения часто подвержены не только снижению контраста, но и воздействию различных видов шумов. В автореферате недостаточно освещен вопрос робастности предложенных алгоритмов к основным моделям шумов. Было бы интересно увидеть в автореферате более подробный анализ обобщающей способности разработанной нейронной сети при работе с другими типами изображений. Предложенный гибридный метод оперирует как пространственными, так и статистическими характеристиками изображения. Представляется важным проанализировать, как предложенный алгоритм влияет на спектральные характеристики обрабатываемого сигнала. В автореферате предложен гибридный алгоритм, где нейросетевой алгоритм выполняет управляющую функцию для классического алгоритма. С точки зрения теории комбинированной обработки такая обработка представляет собой последовательную адаптивную схему. Было бы интересно увидеть в автореферате обоснование выбора именно такой архитектуры в сравнении с альтернативными. В автореферате не в полной мере раскрыто как предложенные методы влияют на итоговые показатели. Разработанные безэталонные метрики основаны на анализе энтропии и частотных характеристик. Однако не представлено анализа их

робастности к различным типам помех и искажений, не связанных с атмосферными явлениями.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты и ведущая организация обладают значительным авторитетом и компетенциями в области радиотехники и телевизионных систем. Д-р техн. наук, доцент Н.П. Корнышев, профессор кафедры радиосистем Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого, является специалистом в области радиотехники, включая системы и устройства телевидения, а его научные интересы охватывают обработку изображений, в том числе применительно к технико-криминалистической экспертизе и многоспектральным оптикоэлектронным системам. Канд. техн. наук, доцент А.А. Мотыко работает в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). Его научные интересы включают компьютерное зрение, видеоаналитику и обработку видеоданных в системах мониторинга. Он является членом международного Института инженеров электротехники и электроники (IEEE). Ведущая организация АО «НИИ телевидения», входящая в состав Государственной корпорации «Ростех», является ведущим предприятием России по созданию современных систем телевизионной техники и мониторинга. Институт занимается разработкой и поставкой инновационных оптико-электронных, радиометрических и видеоинформационных систем для различных, в том числе сложных технических задач. Достижения АО «НИИ телевидения» охватывают широкий спектр областей: от телевизионного оборудования для пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций до систем технического зрения промышленного назначения и телевизионных охранных систем. Отзыв сформирован на научно-техническом совете секции №2; председатель секции №2 – Цыцулин Александр Константинович, д-р техн. наук, профессор – является известным специалистом в области прикладных телевизионных систем (в частности, космического и оборонного назначения), а также методов обработки телевизионных сигналов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработан гибридный метод адаптивного локального контрастирования, в котором параметры классического алгоритма динамически управляются легковесной сверточной нейронной сетью на основе анализа локальных характеристик изображения; оригинальная безэталонная метрика для автоматизированной оценки качества изображений; специализированная параллельная и конвейерная архитектура для реализации предложенных алгоритмов на ПЛИС, обеспечивающая обработку видеопотоков высокого разрешения в реальном времени; легковесная архитектура сверточной нейронной сети, включающая сверточные и полносвязные слои с функцией активации ELU и пропускными соединениями; **предложена** адаптация параметров обработки к локальным и глобальным характеристикам изображения, что позволяет минимизировать артефакты и сохранять мелкие детали; **доказана** перспективность использования гибридного подхода, объединяющего классические методы решения проблем повышения качества изображения с использованием искусственного интеллекта, для задач улучшения изображений в условиях ограниченных вычислительных ресурсов; **введены** новые метрики по безэталонной оценке качества изображений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказана эффективность использования новых методик, вносящих вклад в теорию обработки изображений путем разработки нового метода, объединяющего адаптивную эквализацию и нейросетевое управление; усовершенствована методика безэталонной оценки качества изображений за счет введения метрик, коррелирующих с субъективным восприятием; обоснована применимость легковесных нейросетевых архитектур для регрессии параметров в системах реального времени; **применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** базовые методы исследования, в т.ч. численные методы, экспериментальные методики и т.п.; **изложены** и развиты теоретические положения, идеи и аргументы, касающиеся обработки малоконтрастных

изображений в условиях ограниченной видимости. Рассмотрены методы, такие как эквализация гистограмм (включая адаптивную версию CLANE), которые эффективны, но имеют фундаментальные ограничения (усиление шума, появление артефактов); проанализированы современные подходы на основе сверточных нейронных сетей, которые демонстрируют высокую эффективность, однако требуют больших объемов данных для обучения, значительных вычислительных ресурсов и часто являются «черным ящиком»; **раскрыты** существенные противоречия в теории – такие как несоответствие оценки качества и контраста; раскрыто, что большинство традиционных методов, эффективно повышая контраст, неизбежно усиливают и присутствующий в изображении шум, при этом данное несоответствие особенно критично для ИК-изображений, где уровень шума изначально высок; диссертационное исследование решает это противоречие путем введения адаптивного порога ограничения контраста, который регулируется нейросетью на основе оценки уровня шума в локальной области; **изучены** особенности связи локальной энтропии (мера неопределенности или информационного содержания), служащей надежным индикатором текстурной сложности участка изображения; установлена следующая причинно-следственная связь: высокая энтропия → сложная текстура → требуется меньший размер окна для обработки и выявления деталей изображения; исследовано, как частотные характеристики локальной области, полученные с помощью дискретного косинусного преобразования, связаны с наличием мелких деталей и шума, что позволило установить следующую связь: высокая доля высокочастотных компонент → наличие деталей или шума → требуется изменение порога ограничения контраста; проанализирован процесс возникновения артефактов, и показано, что их причиной является резкое изменение функции преобразования яркости на границах соседних областей в методе CLANE, при этом внутреннее противоречие метода заключается в том, что уменьшение размера областей для лучшей адаптации порождает эффект «блочности»; изучено влияние внешних факторов (условия съемки: туман, низкая освещенность и т.д.) на статистические характеристики изображения и, как

следствие, на необходимость адаптации параметров обработки; **проведена модернизация** модели CLANE: поскольку стандартный алгоритм CLANE основан на двух статических, задаваемых вручную параметрах (размер области («плитки») и порог ограничения контраста), в диссертации предложена его коренная модернизация: динамическое определение размера локальной области: вместо фиксированной сетки «плиток» размер окна обработки становится переменной величиной для каждого пикселя, и его значение в реальном времени вычисляется нейросетью на основе локальной энтропии и частотных характеристик, что превращает статическую модель в динамическую; адаптация параметра ограничения контрастности: порог ограничения также перестает быть константой, и его значение динамически регулируется нейросетью в зависимости от оцененного уровня шума и наличия высокочастотных деталей в данной области изображения; создание новой математической модели (гибридной): в работе создана новая двухуровневая модель обработки; нижний уровень: модифицированный алгоритм локальной эквализации, математически описываемый формулами адаптивного окна и порога; верхний уровень: регрессионная модель на основе CNN, которая преобразовывает локальные статистические характеристики изображения в оптимальные параметры для нижнего уровня.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены новые технологии и методики обработки изображений, доведенные до уровня практической реализации в промышленности: технологии: разработана комплексная технология, включающая гибридный алгоритм адаптивного локального контрастирования и управляющую им легковесную сверточную нейронную сеть, при этом ключевым технологическим решением является эффективная модель параллельной и конвейерной обработки, реализованная на программируемой логической интегральной схеме Xilinx Kintex-7; степень внедрения: разработанные алгоритмы и архитектура на ПЛИС успешно прошли апробацию и внедрены в научно-исследовательские и опытно-конструкторские

работы ряда ведущих предприятий оборонно-промышленного и наукоемкого комплексов России, и внедрение подтверждено четырьмя официальными актами от следующих организаций: АО «ЦКБ «Фотон», АО «КБП им. академика А. Г. Шипунова», АО «НТЦ Элинс», ПАО «Красногорский завод им. С. А. Зверева», что свидетельствует о высокой практической востребованности и завершенности исследования, результаты которого не остались на уровне теории, а использованы для решения конкретных инженерных задач; **определены** практические пределы применения, обусловленные характеристиками созданного программно-аппаратного комплекса: он обеспечивает обработку видеопотока с разрешением 1920×1080 пикселей со скоростью свыше 65 кадров в секунду при потреблении ресурсов ПЛИС менее 70% и энергопотреблении менее 5 Вт, что задает текущие границы производительности для данной аппаратной реализации; перспективы использования технологии чрезвычайно широки: разработанные методы могут применяться в любых системах, где требуется анализ изображений в сложных условиях – системы компьютерного зрения для беспилотных транспортных средств и летательных аппаратов (БПЛА), охранные и наблюдательные комплексы, работающие в реальных условиях (туман, дождь, сумерки и т.д.), могут быть использованы в бортовых оптико-электронных системах промышленного и специального назначения, медицинской диагностике для улучшения визуализации низкоконтрастных снимков; практическая ценность подтверждается значительным улучшением результатов работы последующих алгоритмов анализа (например, детекторов объектов), что открывает перспективы для повышения надежности и точности измерительных систем на базе искусственного интеллекта; **создан** готовый программно-аппаратный комплекс являющийся физическим воплощением и моделью эффективного применения полученных теоретических знаний, который демонстрирует, как гибридный подход может быть реализован на практике в режиме реального времени; сформулированы практические рекомендации для инженеров и разработчиков по настройке и адаптации алгоритма; показано, как параметры (размер окна, порог ограничения контраста) зависят от локальных характеристик изображения

(энтропии, частотных компонент), что позволяет осмысленно подходить к их настройке в различных практических задачах; **представлены** методики проектирования гибридных систем обработки изображений, где легковесная нейросеть используется для управления параметрами классических алгоритмов на ПЛИС, что позволяет создавать высокопроизводительные, энергоэффективные и адаптивные решения; рекомендации по применению: результаты исследования, подтвержденные актами внедрения, служат методической основой для использования подобных систем в реальных изделиях (например, показано, что применение разработанного метода как этапа предобработки увеличивает количество распознаваемых объектов (людей на ИК-изображениях) в 6 раз и ускоряет их поиск в 15 раз, и эти количественные показатели являются прямой рекомендацией к интеграции технологии в системы, где критически важны скорость и точность обнаружения).

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для **экспериментальных работ** результаты получены на реальных видеоданных и стандартных тестовых наборах; **теория** построена на известных положениях теории обработки сигналов и машинного обучения; **идея базируется** на оценке локального контрастирования с адаптивным выравниванием гистограмм по выделенным областям изображения, повышении контрастной чувствительности существующих методов и на адаптивной регулировке эквализации гистограмм; **использованы** сравнения авторских данных и данных, полученных из литературных источников ранее по рассматриваемой тематике; **установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным; **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в том, что основные результаты диссертации получены автором самостоятельно.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1. В диссертации недостаточно полно проработана теоретическая база

по вероятностным характеристикам обнаружения: отсутствует четкое рассмотрение показателя «вероятность пропуска» и его связь с критериями достоверности обнаружения. Терминология в данной части работы требует более строгого определения; 2. В разделе, посвященном теоретическим основам оценки эффективности, отсутствует систематизированное сравнение с положениями теории статистики и теории обнаружения. В частности, не приведено сравнение с альтернативными подходами, традиционно применяемыми в статистической радиотехнике; 3. В работе не выполнено сравнение разработанного метода с современными нейросетевыми архитектурами, в том числе с архитектурами на базе визуальных трансформеров, что ограничивает полноту анализа эффективности предложенного подхода.

Соискатель Грицкевич И. Ю. в ходе заседания ответил на задаваемые ему вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Исследование и разработка методов реализации и обработки малоконтрастных изображений в условиях ограниченной видимости» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 5, 6, 10, 12 паспорта научной специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

На заседании 17 сентября 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Грицкевичу И. Ю. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи разработки и реализации аппаратно-ориентированных методов параллельной обработки изображений на программируемых логических интегральных схемах, обеспечивающих повышение точности распознавания объектов в сложных и нестационарных условиях наблюдения, по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 9 докторов наук по научной специальности рассматриваемой

диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председательствующий диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

Парамонов Александр Иванович

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Владыко Андрей Геннадьевич

19 сентября 2025 г.

