ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА **24.2.375.01**,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16.09.2026 № 12

О **присуждении** Егину Максиму Михайловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Математическое и алгоритмическое обеспечение обработки данных площадной съёмки от высокодетальных систем ДЗЗ» по специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 17.06.2026 г. (протокол заседания № 10) диссертационным советом 24.2.375.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина» (РГРТУ) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1 (приказ о создании диссертационного совета от 11.04.2012 г. № 105/нк).

Соискатель Егин Максим Михайлович, 15 ноября 1997 года рождения, в 2025 г. окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина» по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Работает младшим научным сотрудником в НИИ «Фотон» РГРТУ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в НИИ «Фотон» – структурном подразделении РГРТУ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Кузнецов Алексей Евгеньевич, первый заместитель директора НИИ «Фотон» РГРТУ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

– Селезнева Мария Сергеевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технологии приборостроения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»;

– Старков Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой 604 «Системный анализ и управление» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (г. Москва) **в своем положительном отзыве**, подписанном секретарём НТС, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником, заместителем заведующего отделом «Технологии спутникового мониторинга» Мазуровым Алексеем Анатольевичем и утверждённом директором, академиком Российской академии наук Петруковичем Анатолием Алексеевичем, **указала**, **что** диссертация вносит значимый вклад в развитие технологий обработки данных материалов площадной съёмки от оптических систем дистанционного зондирования Земли, обладает высокой актуальностью, новизной и практической значимостью, соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор

достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Соискатель имеет 33 опубликованные работы по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях – 5 работ, в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, – 4 работы. Кроме того, соискателем получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые работы:

1. Демидова, Л. А. Гибридная интеллектуальная технология классификации данных / Л. А. Демидова, М. М. Егин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 56–68. *(Егиным М. М. реализован алгоритм настройки параметров классификатора на основе метода окна Парзена с применением генетического алгоритма и проведены вычислительные эксперименты на стандартных наборах данных).*

2. Пошехонов, В. И. Оценка точности аппроксимации строгой модели космической съёмки рациональными полиномами / В. И. Пошехонов, А. Е. Кузнецов, М. М. Егин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2023. – № 83. – С. 95–101. *(Егиным М. М. выполнена практическая реализация математического обеспечения оценки точности аппроксимации строгой модели космической съёмки рациональными полиномами, экспериментальная апробация на реальных данных от КА серии «Ресурс-П», выработка практических рекомендаций к использованию модели на основе рациональных полиномов).*

3. Геометрический синтез мозаичных снимков с использованием рациональных полиномов / М. М. Егин [и др.] // Цифровая обработка сигналов. – 2025. – № 3. – С. 10–16. *(Егиным М. М. разработан численно-устойчивый алгоритм блочного уравнивания снимков с двухкомпонентной поправкой к модели на основе рациональных полиномов, устраняющей остаточные невязки*

в одноимённых точках, и выполнена его апробация на данных площадной и стереосъёмки с КА «Ресурс-П»).

4. Методическое обеспечение оценки точности координатной привязки изображений земной поверхности в системах ДЗЗ высокого пространственного разрешения / М. М. Егин [и др.] // Цифровая обработка сигналов. – 2025. – № 3. – С. 95–97. *(Егиным М. М. реализованы расчётные соотношения для непараметрической оценки точности координатной привязки изображений по группе снимков опорных полигонов, и выполнена их программная апробация на материалах космической системы ДЗЗ «Ресурс-П»).*

5. Алгоритм оценки качества совмещения мозаичных изображений земной поверхности / М. М. Егин [и др.] // Цифровая обработка сигналов. – 2026. – № 1. – С. 32–37. *(Егиным М. М. разработан алгоритм автоматической оценки качества совмещения мозаичных изображений земной поверхности, основанный на совместном анализе индекса структурного сходства и предложенного индикатора насыщения границы вдоль линии пореза с применением одноклассового классификатора на основе алгоритма опорных векторов).*

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара. Отзыв подписал профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника», доктор технических наук Мятов Геннадий Николаевич.

2. Акционерное общество «Московский научно-исследовательский институт „Агат“», Московская область, г. Жуковский. Отзыв подписал помощник генерального директора, начальник научно-технического отдела, ученый секретарь НТС, кандидат технических наук Потапов Михаил Владимирович и утвердил технический директор – заместитель генерального директора Подкидов Валерий Викторович.

3. АО НТЦ «Модуль», г. Москва. Отзыв подписал заместитель директора по цифровой обработке сигналов и изображений, кандидат технических наук Глазов Виктор Николаевич.

4. Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Хабаровск. Отзыв подписал старший научный сотрудник лаборатории информационных и вычислительных систем, руководитель ЦКП «Центр данных ДВО РАН», кандидат технических наук Мальковский Сергей Иванович.

5. АО «Новый старт», г. Москва. Отзыв подписал начальник отдела комплексов целевой аппаратуры, кандидат технических наук Юдаков Антон Александрович.

6. Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы»), г. Москва. Отзыв подписал главный конструктор направления – заместитель начальника отделения создания целевой аппаратуры ДЗЗ, кандидат технических наук Гектин Юрий Михайлович.

7. Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук, Московская область, г. Фрязино. Отзыв подписал ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории инструментальных и информационных методов исследования окружающей среды средствами дистанционного зондирования, кандидат физико-математических наук Саворский Виктор Петрович.

8. Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации „Исследовательский центр имени М. В. Келдыша“», г. Москва. Отзыв подписал начальник сектора, кандидат технических наук Никулин Антон Геннадиевич.

В отзывах указаны следующие **замечания**: двухкомпонентная поправка (7) включает компоненту, аппроксимирующую остаточные невязки методом, аналогичным одномерному методу резинового листа; при этом в автореферате не рассмотрен риск переобучения такой поправки на локальных ошибках одноимённых точек и не указано, как контролируется её поведение между узлами аппроксимации; оценка доли ложных соответствий (1,5 % и 2,1 %) приведена для двух наборов натурных данных; неясно, как формировалась эталонная («истинная») разметка соответствий, относительно которой вычислялись эти доли; автореферат не содержит сведений о поведении алгоритма оценки качества линии пореза на территориях с естественными протяжёнными контрастными границами (береговые линии, дорожная сеть), где возможны ложные срабатывания детектора дефектных границ; в списке основных публикаций работы [3] и [5] опубликованы в одном номере журнала, поэтому целесообразно было бы более равномерно представить результаты в различных изданиях; не раскрыт способ назначения порога точности совмещения в исследованном автором эволюционном подходе и в итоговом трёхэтапном алгоритме; следовало бы уточнить, при каких условиях получены приведённые в автореферате разноречивые оценки точности совмещения изображений площадной съёмки – «1–2 пикселя» и «субпиксельное совмещение»; не рассмотрена возможность применения предложенной автором технологии обработки панхроматических изображений для мультиспектральных мозаичных данных ДЗЗ; при описании экспериментальной апробации не указаны характеристики используемой цифровой модели рельефа, от которых зависят результаты фильтрации одноимённых точек, блочного уравнивания и ортотрансформирования; в автореферате не указано, по каким правилам определяется количество и расположение виртуальных опорных точек, а также как назначаемая им погрешность влияет на баланс между устойчивостью решения и точностью совмещения; экспериментальная база натурных данных ограничена двумя парами маршрутов от аппаратов серии «Ресурс-П»; основной объём испытаний выполнен на смоделированных

данных, в связи с чем желательно подтвердить полученные показатели на большем числе реальных маршрутов площадной съёмки; не описаны состав и объём обучающей выборки для свёрточной нейронной сети U-Net, формирующей маску рассогласований, а также не оценена способность сети к обобщению на данные от аппаратов с иными характеристиками съёмочной аппаратуры; правило назначения меток классов (5) опирается на пороги апостериорной вероятности, выбранные эмпирически, в связи с чем читатель лишён возможности оценить диапазон допустимых значений этих порогов и степень деградации результата классификации за его пределами; полупрозрачный переход на основе нормализованного евклидова расстояния, применяемый для снижения визуального эффекта остаточных искажений в области линии пореза, может маскировать реальные дефекты совмещения при последующем дешифрировании, при этом допустимость такого сглаживания для измерительных продуктов в автореферате не обосновывается; из текста неясно, как разработанная технология поведёт себя при съёмке территорий с малым числом устойчивых ключевых точек (водные поверхности, снежные покровы, пустыни), где формирование надёжного множества одноимённых точек затруднено; рисунок 1 воспринимается несколько перегруженным: обе его части содержат мелкие наклонные надписи, часть которых нанесена поверх изображения близкой яркости, при чёрно-белой печати ключевые детали – область стыка маршрутов и деформация высотного здания – различаются не сразу, желателен больший масштаб правой части рисунка; признаковое описание пары ключевых точек включает двенадцать компонент, объединённых в пять групп, однако оценка информативности отдельных признаков групп не приводится, неясно, не является ли часть из них избыточной, что важно как для быстродействия, так и для устойчивости классификатора; в тексте автореферата и в формулировке цели исследования используется оборот «изображения земной поверхности расширенной полосы захвата», однако полоса захвата является аппаратной характеристикой съёмочной системы и при площадной съёмке физически не изменяется –

расширяется лишь совокупная зона покрытия территории за счёт объединения нескольких маршрутов, в связи с чем более точной представляется формулировка «расширенная зона покрытия» либо оговорка о том, что под расширенной полосой захвата понимается эффективная полоса, достигаемая средствами наземной обработки при синтезе мозаичного снимка; вычислительная сложность алгоритма фильтрации одноимённых точек оценена как $O(B^2)$, однако не приведены данные о фактическом времени работы алгоритма при характерных для площадной съёмки объёмах множества ключевых точек, что важно для заявленной оперативности технологии; в автореферате практически не затронуты вопросы радиометрического выравнивания фрагментов мозаики, хотя выходной продукт заявлен как радиометрически согласованный; утверждение о снижении числа пересечений высотных объектов линией пореза «в среднем на 80 %» не сопровождается в автореферате указанием объёма и характера выборки, используемой для этой оценки, что затрудняет суждение о её статистической обоснованности; не раскрыт способ выбора весового коэффициента a в комбинированной стоимостной функции (10) и не указано, требуется ли его настройка под конкретный тип территории или аппаратуры; в методике оценки точности координатной привязки установлено требование к минимальному числу разновременных изображений (не менее 15), однако обоснование именно этого значения в автореферате отсутствует; в автореферате не отражено влияние точности используемой цифровой модели рельефа на качество блочного уравнивания и на надёжность признаков, вычисляемых с привлечением модели съёмки; показано, что для снимков уровня L1 аппаратуры «Геотон» RPC-модель (Rational Polynomial Model, модель на основе рациональных полиномов) не обеспечивает высокоточной аппроксимации из-за высокочастотных искажений, вызванных угловым движением спутника, и предложена фрагментация маршрутов на условные кадры, однако в автореферате не приведены рекомендации по выбору размеров таких кадров и величины их перекрытия; в описании программного комплекса отсутствуют количественные

характеристики производительности (время формирования мозаичного снимка по маршрутам типовой протяжённости), что не позволяет в полной мере судить о достижении заявленной оперативности.

Все отзывы на автореферат положительные и содержат вывод о том, что диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их достижений в данной области науки, наличием публикаций по тематике диссертации, что позволяет им определить теоретическую и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработано математическое и алгоритмическое обеспечение формирования бесшовных мозаичных изображений земной поверхности по материалам площадной съёмки от высокодетальных космических систем дистанционного зондирования Земли, основанное на использовании унифицированных функций геопривязки в виде моделей на основе рациональных полиномов и позволяющее автоматически совмещать объединяемые изображения с субпиксельной точностью при отсутствии опорной информации;

предложены: алгоритм отбраковки одноимённых точек, основанный на предобработке их областей с привлечением модели съёмки и гибридной интеллектуальной технологии классификации данных; математическая модель блочного уравнивания с двухкомпонентной поправкой к уравнениям геопривязки рациональными полиномами и численно устойчивый за счёт виртуальных опорных точек алгоритм поиска её параметров; модифицированный алгоритм проведения линии пореза, использующий

комбинированную стоимостную функцию на основе морфологического градиента и маски рассогласований; критерии оценки качества мозаичных снимков: критерий обнаружения дефектных границ и критерий определения корректности геометрической обработки;

доказана эффективность моделей, алгоритмов и критериев при решении задачи оперативного формирования и оценки качества мозаичных изображений по материалам площадной съёмки от высокодетальных космических систем дистанционного зондирования Земли;

введены понятие виртуальных опорных точек, обеспечивающих численную устойчивость блочного уравнивания групп снимков площадной съёмки при отсутствии опорной информации, и мера насыщения границы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано повышение точности геометрической обработки и качества синтеза мозаичных изображений, формируемых по материалам площадной съёмки от высокодетальных космических систем дистанционного зондирования Земли, с применением предложенных моделей и алгоритмов при отсутствии опорной информации;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы системного анализа, цифровой обработки изображений, математической статистики, фотограмметрии, оптимизации, машинного обучения и искусственного интеллекта;

изложены принципы построения унифицированного математического и алгоритмического обеспечения обработки данных площадной съёмки, основанные на представлении строгой модели съёмки моделью на основе рациональных полиномов, новые алгоритмы геометрической обработки, синтеза и оценки качества мозаичных изображений, обеспечивающие повышение точности совмещения объединяемых снимков;

раскрыты методологические принципы построения алгоритмов, сочетающих фотограмметрическую обработку, структурный анализ

изображений и методы машинного обучения, что позволило учесть особенности режима площадной съёмки;

изучены закономерности аппроксимации строгой модели съёмки высокодетальных космических аппаратов унифицированной моделью на основе рациональных полиномов для уровней обработки L1 и L2A, установлена связь между остаточными невязками одноимённых точек и параметрами моделей поправок при блочном уравнивании групп снимков площадной съёмки;

проведена модернизация алгоритмов блочного уравнивания и проведения линии пореза при формировании мозаичных изображений по данным площадной съёмки.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены модели, алгоритмы и методика в виде специального программного обеспечения в опытно-конструкторских работах НИИ «Фотон» РГРТУ, выполняемых в рамках Федеральной космической программы и Гособоронзаказа, а также в акционерном обществе «Ракетно-космический центр „Прогресс“» (г. Самара) и в акционерном обществе «Научно-производственная корпорация „Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы“ имени А. Г. Иосифьяна» (г. Москва);

определены показатели и численные оценки эффективности разработанных алгоритмов геометрической обработки, синтеза и оценки качества мозаичных изображений;

создана методика оценки точности координатной привязки мозаичных изображений на основе вероятностных статистических показателей;

представлены результаты экспериментальных исследований предложенных алгоритмов на натурных данных от космических аппаратов серии «Ресурс-П» и на модельных данных перспективных космических аппаратов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ применены статистически представительные натурные данные площадной съёмки от действующих отечественных космических аппаратов высокого пространственного разрешения, обоснованы численные критерии эффективности предложенных алгоритмов обработки;

теория построена на методах системного анализа, цифровой обработки изображений, математической статистики, оптимизации, фотограмметрии и искусственного интеллекта и согласуется с результатами математического и имитационного моделирования, а также экспериментальных исследований;

идея базируется на системном анализе задачи обработки материалов площадной съёмки высокодетальных систем дистанционного зондирования Земли и на представлении геометрической модели съёмки коэффициентами рациональных полиномов;

использованы известные алгоритмы поиска и фильтрации одноимённых точек, блочного уравнивания и проведения линии пореза для сравнения с предложенными автором алгоритмами;

установлено, что результаты, полученные автором, не противоречат известным решениям аналогичных задач, а предлагаемые алгоритмы превосходят их по эффективности;

использованы численные оценки эффективности разработанных автором алгоритмов.

Личный вклад соискателя состоит в разработке математических моделей, алгоритмов и методик геометрической обработки, синтеза и оценки качества мозаичных изображений по данным площадной съёмки от высокодетальных систем дистанционного зондирования Земли, их программной реализации в составе программного комплекса обработки данных площадной съёмки, проведении экспериментальных исследований на натурных данных от космических аппаратов серии «Ресурс-П» с получением численных оценок эффективности, обосновании преимущества предложенных решений по сравнению с известными аналогами, внедрении разработанных алгоритмов в

наземные комплексы приёма, обработки и распространения данных предприятий ракетно-космической отрасли.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что согласно п. 9 Положения о присуждении ученых степеней диссертация Егина М. М. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки в области обработки данных площадной съёмки от высокодетальных систем дистанционного зондирования Земли, имеющие существенное значение для развития страны.

В ходе защиты диссертации **критические замечания** высказаны не были. Соискатель Егин М. М. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привёл собственную аргументацию.

На заседании 16.09.2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Егину М. М. ученую степень кандидата технических наук за изложенные в диссертации новые научно обоснованные технические решения и разработки в области обработки данных площадной съёмки от высокодетальных систем дистанционного зондирования Земли, имеющие существенное значение для развития страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 12 докторов наук по специальности 2.3.1, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета,
д-р техн. наук, профессор Клочко Владимир Константинович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д-р техн. наук, доцент Пруцков Александр Викторович

16.09.2026 г.