

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертационную работу Виктора Андреевича **ЕРЕМЕЕВА**
АЛГОРИТМЫ АНАЛИТИКО-НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ
ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

На оппонирование представлена диссертационная работа на 146 листах, из которых основной текст составляет 121 лист. Структурно работа организована в виде четырех глав, которым предшествует Введение, а после идут Заключение, Список литературы (134 наименования) и одно приложение.

Работа спланирована как последовательное решение ряда задач.

Цель работы обозначена во Введении как разработка новых алгоритмов аналитико-нейросетевой идентификации искусственных и природных объектов по данным космической гиперспектральной съемки Земли.

В первой главе диссертации «Анализ становления и развития космических систем гиперспектральной съемки Земли» автором на 16 страницах представлен обзор зарубежных и российских систем гиперспектральной съемки Земли и методов наземной обработки поступающей от них информации. Автор подчеркнул, что Россия пока отстает в этой важной области от ряда зарубежных стран, что требует активизации научных исследований и опытно-конструкторских разработок. В этой связи сформулировано пять положений, выносимых на защиту:

- аналитико-нейросетевая модель идентификации объектов земной поверхности по данным систем космической гиперспектральной съемки, основанная на использовании знаний о характеристиках видеотракта этих систем, позволяющая повысить точность идентификации объектов;
- новая кусочно-линейная модель спектральной передаточной характеристики видеотракта систем гиперспектральной съемки Земли;
- алгоритм комплексирования информации от систем гиперспектральной съемки Земли с данными от систем моделирования видеотракта и сети опорных полигонов;
- алгоритм выделения границ объектов по гиперспектральным снимкам, на основе их структурно-частотного анализа;
- алгоритм радиометрической калибровки гиперспектрометра, основанный на априорных знаниях о коэффициентах спектральной передачи звеньев сквозного видеоинформационного тракта.

Во второй главе «Аналитико-нейросетевой подход к идентификации объектов Земли по данным гиперспектральной съемки» (21 стр.) сформулированы основные положения по организации аналитико-нейросетевого подхода к идентификации объ-

ектов Земли по данным гиперспектральной съемки. Разработаны кусочно-линейная модель видеотракта систем гиперспектрального наблюдения Земли и алгоритм комплексирования информации от систем гиперспектральной съемки Земли с данными от систем моделирования этого процесса и опорных полигонов.

Третья глава «Алгоритмы нейросетевой идентификации объектов по данным гиперспектральной съемки Земли» (41 стр.) посвящена обоснованию целесообразности использования сверточных нейронных сетей для реализации аналитико-нейросетевого подхода к идентификации объектов Земли по данным гиперспектральной съемки, рассмотрены варианты их структуры. Проанализирована возможность сокращения избыточности гиперспектральных данных с использованием метода главных компонент, с использованием гиперспектральной информации от системы «Ресурс-П» и авиационного гиперспектрометра «AVIRIS» определено необходимое число главных компонент. Показано, что при использовании данных о спектрах наблюдаемых объектов повышает достоверность идентификации по сравнению с использованием только структурной информации.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования по подтверждению эффективности положений, выносимых на защиту» (27 стр.) представлены численные оценки эффективности выдвинутых на защиту Положений, полученные на основе информации от российской космической системы «Ресурс-П», информационных ресурсов моделирующей системы «6S» и результатов многолетних съемок опорных полигонов системы «RadCalNet».

Актуальность темы. Космические системы дистанционного зондирования Земли имеют важное значение при решении народно-хозяйственных и оборонных задач страны. Одной из важных задач этих систем является оперативная высокоточная оценка коэффициентов спектрального отражения наблюдаемых объектов земной поверхности, которые характеризуют их энергетические, спектральные и другие физические свойства. Перспективным, активно развиваемым направлением, является гиперспектральная съемка Земли. Она основана на разделении лучистой энергии, поступающей на Землю от Солнца, а также излучения от земной поверхности, на сто и более спектральных поддиапазонов. В результате формируется, так называемый гиперкуб, каждая точка которого определяет дискретный спектр наблюдаемого объекта. Это создает новые возможности для решения сложной задачи идентификации объектов интереса наблюдаемой сцены. Однако знания о спектре объектов даются ценой снижения пространственного и радиометрического разрешения гиперкуба, поскольку поступающая энергия расщепляется на множество спектральных поддиапазонов (каналов), а шум сенсоров, работающих в этих каналах, остается практически неизменным. Поэтому возникает вопрос об эффективности гиперспектральной съемки Земли по сравнению с традиционной панхроматической и спектрально-зональной при идентификации наблюдаемых объектов. Аспектам решения этого актуальной проблемы и посвящена диссертация Еремеева В.А.

Новыми научными положениями диссертации, представляющими наибольший интерес, являются:

- аналитико-нейросетевая модель идентификации объектов земной поверхности по данным систем космической гиперспектральной съемки, основанная на использовании при нейросетевой обработке знаний о характеристиках видеотракта этих систем и позволяющая повысить точность идентификации объектов;

- алгоритм комплексирования информации от систем гиперспектральной съемки Земли с данными от систем моделирования видеотракта и сети опорных полигонов, позволяющий обеспечить лучшее при данной исходной информации спектральное разрешение гиперкуба при идентификации объектов интереса;

- алгоритм выделения границ объектов по гиперспектральным снимкам с использованием их структурно-частотного анализа;

- алгоритм радиометрической калибровки гиперспектрометра, основанный на априорно известных коэффициентах спектральной передачи звеньев сквозного видеоинформационного тракта.

Обоснованность научных положений и выводов. Предложенные в диссертационном исследовании решения имеют хорошее теоретическое обоснование и не противоречат существующим решениям других авторов. Достоверность проведенных исследований подтверждается результатами экспериментов на реальных данных от системы «Ресурс-П» и авиационного гиперспектрометра «AVIRIS». Достоверность и обоснованность полученных в работе научных результатов, положений и выводов подтверждается 16 докладами Еремеева В.А. на международных и всероссийских научно-технических конференциях, 9 статьями, 6 из которых в изданиях из списка ВАК, и 4-мя свидетельствами на регистрацию программ для ЭВМ.

Значимость результатов диссертации для науки и практики

К результатам и выводам диссертационной работы, имеющим теоретическую значимость, можно отнести разработку новой аналитико-нейросетевой модели идентификации объектов земной поверхности по данным систем космической гиперспектральной съемки, основанной на использовании при нейросетевой обработке знаний о характеристиках видеотракта этих систем, позволяющей существенно повысить точность идентификации объектов, а также алгоритм выделения границ объектов, основанный на структурно-частотном анализе гиперспектральных снимков, направленный на увеличении вероятности правильной идентификации границ по сравнению с известными операторами структурного анализа

К результатам и выводам диссертационной работы, имеющим практическую значимость, следует отнести алгоритмы комплексирования информации от систем гиперспектральной съемки Земли с данными от систем моделирования видеотракта и сети опорных полигонов, позволяющий выбрать единую дискретную сетку частот и обеспечить, исходя из имеющихся данных, лучшее спектральное разрешение гиперкуба при аналитико-нейросетевой идентификации наблюдаемых объектов и радиометрической калибровки гиперспектрометра, основанный на априорных данных о ко-

эффициентах спектральной передачи звеньев сквозного видеоинформационного тракта и позволяющий в процессе летной эксплуатации снизить погрешность измерений гиперкуба, а также способ аппроксимации спектральной передаточной характеристики видеотракта систем гиперспектральной съемки Земли в области зон поглощения.

Практическая значимость подтверждается и использованием результатов исследования в рамках темы «Ресурс-П», определенной Федеральной космической программой на 2016-2025 годы (ОКР 7-17 и ОКР 5-24), а также внедрением в Ракетно-космическом центре «Прогресс» и Корпорации «Российские космические системы».

Считаю, что исследования по теме диссертации могут быть продолжены и развиты, в том числе в сотрудничестве с теми же организациями, где результаты уже использованы.

Соответствие автореферата диссертации. Автореферат соответствует диссертации и в достаточной мере отражает результаты и выводы диссертационной работы.

Основные положения, выносимые на защиту, обсуждались на научных конференциях и достаточно широко опубликованы.

Мнение о работе в целом. В работе сформулирована и решена актуальная задача комплексного использования аналитических и нейросетевых моделей для идентификации искусственных и природных объектов на гиперспектральных космических изображениях Земли. Для решения поставленной задачи предложены аналитико-нейросетевые модели идентификации объектов земной поверхности по данным космической гиперспектральной съемки, способ аппроксимации спектральной передаточной характеристики видеотракта систем гиперспектральной съемки Земли в области зон поглощения, разработаны и программно реализованы алгоритм комплексирования информации от систем моделирования процесса переноса солнечного излучения с данными от реальных систем гиперспектральной съемки, алгоритм радиометрической калибровки гиперспектральной аппаратуры, алгоритм выделения границ природных объектов на основе структурно-частотного анализа.

В качестве **недостатков и замечаний** по работе следует отметить следующие.

1. Цель работы сформулирована некорректно. Целью работы является, на мой взгляд, повышение эффективности идентификации искусственных и природных объектов на гиперспектральных космических изображениях Земли за счет совместного использования аналитических и нейросетевых подходов. А разработка новых алгоритмов ... — это инструмент для достижения этой цели.

2. У спектральной передаточной характеристики видеотракта систем гиперспектральной съемки Земли не может быть модели (п. 2 положений, выносимых на защиту). Модель может быть у видеотракта систем гиперспектрального наблюдения (как сформулировано в параграфе 2.3). По сути, соискателем предложен способ коррекции спектральной передаточной характеристики видеотракта систем гиперспектральной съемки Земли в области зон поглощения для корректной оценки коэффициентов спектрального отражения наблюдаемых объектов.

3. Формулировка: «использование точных аналитических описаний отдельных звеньев СИТ и приближенных описаний других звеньев для аналитико-нейросетевой идентификации объектов земной поверхности» в основных результатах диссертации неудачная, поскольку точное аналитическое описание СИТ, вообще говоря, невозможно. Речь видимо идет об аналитическом описании звеньев сквозного информационного тракта с различной степенью достоверности.

4. В обзорной части первой главы соискатель пишет: «Уже сегодня существуют действующие образцы ГСА, обеспечивающие съемку с высоким пространственным разрешением (до 10 м и выше)». При этом во введении указано 8 м (для космических аппаратов «GHOST»), также эта информация отсутствует в табл. 1.1.

5. Для выделения границ с использованием структурно-частотного анализа гиперспектральной информации использован математический аппарат классического оператора Собела. При этом нет обоснования почему, детектор Собела не самый эффективный из известных детекторов выделения границ. Также без обоснования для извлечения информации о структуре наблюдаемой сцены был выбран текстурный признак Харалика.

6. Соискатель пишет: «установлено, что для нейросетевой идентификации объектов достаточно пяти главных компонент». При этом аргументация не сопровождается численным обоснованием, говорится только, что при использовании первых трех компонент показатель превышает на 10%, а при использовании двадцати компонент — на 22%. В частности, рис. 3.4 (изменение F-меры в зависимости от числа компонент) такой категоричный вывод не подтверждает.

7. Доказательству факта аналитической связи среднеквадратической и корреляционной мер подобия вряд ли стоило уделять внимание (в диссертации формулы (3.1) и (3.2)) и автореферате (формулы (7)), поскольку он известен. Представляло бы интерес рассмотреть в качестве меры подобия взаимную информацию, в частности, Реньи. Автор пишет, что в выражениях (3.1), (3.2) и (3.3) «детектором сходства $B1$ и $B2$ является степень их корреляции», при этом он, видимо, имел ввиду ковариацию.

8. При рассмотрении влияния электронного шума, возникающего в процессе формирования гиперспектрального и панхроматического изображения шумов в каналах считаются независимыми, но на практике они коррелированы.

9. В тексте автореферата есть ссылка на рис. 3, но рисунка с таким номером в нем нет. Вероятно, номера рисунков 2 и 3 должны были быть исправлены на 1 и 2. В диссертации и автореферате не расшифрованы некоторые сокращения и обозначения, в частности, СПЭЯ, СКО (в автореферате).

Отмеченные замечания не влияют на значимость и достоверность теоретических и практических результатов диссертации, выносимых на защиту. Анализ работы позволяет сделать вывод, что диссертация В.А. Еремеева является законченным оригинальным научно-квалификационным исследованием. Представленный в автореферате и диссертации материал хорошо структурирован и аккуратно оформлен, изложение соответствует научным стандартам и подкреплено соответствующим иллюстратив-

Заключение. В диссертационной работе В.А. Еремеева «Алгоритмы аналитико-нейросетевой идентификации объектов по данным космической гиперспектральной съемки Земли» решена научно-техническая задача комплексного использования аналитических и нейросетевых моделей для идентификации искусственных и природных объектов на гиперспектральных космических изображениях Земли. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (пп. 4, 5 и 12), работа по форме и содержанию соответствует требованиям пп. 9, 10, 11, 13, 14 действующей редакции «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Еремеев Виктор Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

01.09.2025

Директор департамента
образовательной
деятельности  А.В.Тамьяров

С отзывом ознакомлены 08.09.2025