

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»

ул. Артёма, д. 118Б, г. Донецк, Донецкая Народная Республика, 283048
тел.: (856) 311-34-24, e-mail: gu_ipii@mail.ru; http://guiaidn.ru
ОКПО 99649438; ОГРН 1229300155182; ИНН/КПП 9309021845/930901001

14.07.2026 № 206/01-01

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора

ФГБНУ «Институт проблем
искусственного интеллекта»

С.Б. Иванова

2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт проблем искусственного интеллекта» (ФГБНУ ИПИИ) на диссертацию Чепиги Андрея Александровича «**Модель и алгоритмы определения оптимальных условий дистанционного обслуживания пространственно-распределённых групп воздушных объектов**», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)».

Актуальность темы диссертации

Развитие транспортной инфраструктуры Российской Федерации, характеризующейся значительной протяжённостью территорий и неравномерной транспортной доступностью ряда регионов (Сибирь, Дальний Восток, Заполярье), выдвигает применение беспилотных летательных аппаратов

(БПЛА) в число ключевых направлений совершенствования логистических и промышленных систем. При этом дальность и продолжительность автономного полёта БПЛА объективно ограничены, что обуславливает необходимость создания сети наземных комплексов дистанционного обеспечения (КДО), поддерживающих полёт пространственно-распределённых групп воздушных объектов (ПРГВО).

Эффективность применения таких комплексов напрямую определяется качеством алгоритмов целераспределения и управления поворотным устройством, обеспечивающим наведение и удержание диаграммы направленности на подвижных объектах. Как показывает выполненный автором анализ отечественных и зарубежных источников (работы А.А. Галяева, В.Ю. Тугаенко, Т. Нугента, Д. Каре и др.), существующие подходы недостаточно полно учитывают особенности пространственного распределения групп воздушных объектов в динамике полёта, что снижает эффективность обслуживания по критерию минимума времени. Соискателем корректно сформулировано практическое противоречие между потребностью в применении КДО и низкой эффективностью действующих алгоритмов их функционирования, а также вытекающие из него научные противоречия.

С учётом изложенного тема диссертации, направленная на разработку модели и алгоритмов определения оптимальных условий функционирования КДО, является **актуальной** и практически востребованной как для гражданских, так и для специальных приложений.

Научная новизна и основные результаты

В диссертации получены результаты, обладающие признаками научной новизны:

1. **Алгоритм формирования оптимальной траектории** перемещения поворотного устройства КДО, отличающийся построением пространственной

траектории из этапов с минимальными угловыми расстояниями между кластерами воздушных объектов и наличием вложенного алгоритма сортировки объектов по приоритету обслуживания (критический уровень потребности, максимум одновременно покрываемых объектов, минимум угла поворота), что позволяет увеличить число одновременно обслуживаемых объектов и сократить время обхода.

2. Алгоритм адаптивного управления поворотным устройством, реализующий кусочно-непрерывный закон ПИД-регулирования с коррекцией коэффициентов регулятора в зависимости от изменения момента инерции азимутального привода при изменении угла места. Учёт установленной зависимости момента инерции от положения угломестной оси обеспечивает инвариантность динамических характеристик системы и минимизацию времени перемещения.

3. Модель определения оптимальных условий функционирования КДО на основе многослойной нейронной сети прямого распространения, аппроксимирующей зависимость количества обслуженных воздушных объектов от дальности расположения КДО и угловых характеристик диаграммы направленности и позволяющей определять области рационального размещения комплекса.

Совокупность предложенных решений формирует целостное математическое и алгоритмическое обеспечение системы управления КДО. Заявленная научная новизна соответствует содержанию положений, выносимых на защиту, и пунктам 2, 3 и 4 паспорта научной специальности 2.3.1.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Обоснованность полученных результатов в целом обеспечивается:

– корректным применением апробированного математического аппарата теории множеств, теории графов, теории автоматического управления, математической статистики и методов машинного обучения;

– значительным объёмом вычислительного эксперимента (20 172 имитационных эксперимента при варьировании дальности размещения КДО в области до 4000×4000 м с дискретностью 100 м и ширины диаграммы направленности от $0,5^\circ$ до $6,5^\circ$);

– применением статистического критерия Пирсона для проверки адекватности модели и сравнительным анализом предложенного гибридного алгоритма с классическими методами (Greedy Set Cover, k-means, DBSCAN, иерархическая кластеризация).

Вместе с тем ряд использованных обоснований – процедура проверки адекватности нейросетевой модели, результаты сравнительного анализа (таблица 1), соответствие аналитической модели момента инерции экспериментальной характеристике (рисунок 5), а также ссылка на натурные эксперименты – требует дополнительного подтверждения и уточнения. Соответствующие вопросы подробно изложены в разделе замечаний.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методов системного анализа применительно к задаче обслуживания пространственно-распределённых воздушных объектов: формализована задача многокритериальной оптимизации траектории обслуживания с учётом приоритета критических объектов и располагаемого времени полёта, разработан адаптивный закон управления приводом, компенсирующий переменность момента инерции нагрузки, предложена нейросетевая модель определения границ области эффективного функционирования КДО.

Практическая значимость подтверждается количественными результатами: сокращением времени перемещения поворотного устройства на 35–40 % в зависимости от угла поворота; увеличением количества обслуженных воздушных объектов в среднем на 16 % (максимум – до 35 %) по сравнению с ручным управлением оператора; повышением общей эффективности функционирования КДО в среднем на $23,095 \pm 0,735$ %. На основе разработанных моделей и алгоритмов создан комплекс проблемно-ориентированных программ для системы управления КДО.

Результаты диссертации внедрены и использованы: в АО НПК «Барл» и ООО ЦИТМ «Экспонента» (г. Москва) в рамках разработки беспилотных летательных систем; в ООО «Парус электро» (г. Москва) при проектировании солнечных электростанций «Полевая» и «Луговая» в Забайкальском крае; в учебном процессе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» и ФГБОУ ВО «ДонНТУ».

Рекомендации по использованию результатов. Полученные модели, алгоритмы и программное обеспечение целесообразно использовать в научно-исследовательских и проектных организациях, занимающихся разработкой наземных комплексов дистанционного обеспечения и энергетической поддержки групп БПЛА, систем управления опорно-поворотными устройствами и антенными постами, а также в учебном процессе технических вузов по направлениям, связанным с системным анализом и управлением. Результаты представляют интерес для профильных предприятий, в частности ПАО «НПО «Алмаз» (г. Москва), АО «НПП «Рубин» (г. Пенза), ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» (г. Королёв).

Оценка структуры, содержания и публикаций

Диссертация изложена на 133 страницах машинописного текста, включает введение, три главы, заключение, список из 115 источников и приложения на 30

листах, содержит 26 рисунков и 7 таблиц. Структура работы логична и соответствует поставленным задачам: первая глава посвящена анализу предметной области и постановке научной задачи, вторая – разработке алгоритмов формирования траектории и управления поворотным устройством, третья – модели определения оптимальных условий функционирования КДО и экспериментальной проверке разработанных решений.

Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в 11 научных работах, в том числе в 5 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК при Минобрнауки России; результаты защищены патентом на изобретение (Патент РФ № 2863150) и подтверждены 4 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы прошли апробацию на 3 научно-технических конференциях и семинарах всероссийского и международного уровня. Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает её основные положения.

Замечания и дискуссионные положения

Наряду с положительной в целом оценкой работы ведущая организация считает необходимым указать на ряд существенных замечаний, часть которых имеет принципиальный характер и требует пояснений соискателя в ходе защиты.

1. В работе не приведён сравнительный анализ вычислительной сложности и времени работы разработанного гибридного алгоритма (Фаза 1 + Фаза 2) относительно алгоритмов-аналогов (Greedy Set Cover, k-means, DBSCAN, иерархическая кластеризация). Приведены только метрики качества решения (K_1 – K_4), но не показано, во сколько раз может увеличиться время вычислений при росте числа воздушных объектов N , что важно для применения алгоритма в реальном времени в составе КДО.

2. В диссертации при формировании описательной функции (стр. 76) в качестве архитектуры используется многослойная нейронная сеть прямого распространения с фиксированной (эмпирически подобранной) размерностью скрытых слоёв (6×3 , 3×6). В работе не приведено сравнение с иными вариантами архитектуры (иным числом нейронов/слоёв), что не позволяет судить об оптимальности выбранной структуры сети с точки зрения баланса точности аппроксимации и переобучения.

3. Формула перераспределения времени обслуживания кластеров (стр. 61) построена на основе пропорционального распределения оставшегося времени $T_{remaining}$ относительно величины $(\eta_{base,j} - \eta_{min,j})$. В работе не приведено математическое обоснование выбора пропорционального принципа распределения по сравнению с альтернативными вариантами (например, распределением, гарантирующим равные относительные потери времени обслуживания для всех кластеров), а также не рассмотрено влияние выбранного принципа на итоговое качество обслуживания некритических объектов.

Заключение

Диссертационная работа Чепиги Андрея Александровича «Модель и алгоритмы определения оптимальных условий дистанционного обслуживания пространственно-распределённых групп воздушных объектов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача определения условий эффективного функционирования комплекса дистанционного обеспечения пространственно-распределённых групп воздушных объектов в условиях динамического изменения их пространственного положения.

Работа характеризуется актуальностью, научной новизной, теоретической значимостью и практической ценностью результатов. К наиболее значимым достижениям автора следует отнести:

– **комплексность решения** – разработан математический аппарат, охватывающий как формирование рациональной последовательности обслуживания пространственно-распределённых кластеров воздушных объектов, так и адаптивное управление приводом поворотного устройства с учётом переменности момента инерции нагрузки;

– **самостоятельный алгоритмический вклад**, защищённый Патентом РФ № 2863150, – алгоритм формирования траектории перемещения поворотного устройства, обеспечивающий приоритетное обслуживание критических объектов и максимальное покрытие ПРГВО за минимальное время;

– **методологическую полноту** – работа охватывает полный цикл решения задачи: от формирования пространственных кластеров и построения траектории обхода до реализации адаптивного закона управления и определения границ эффективного функционирования КДО;

– **практическую применимость** – результаты прошли апробацию и внедрение, что подтверждает их востребованность для развития отечественных технологий беспилотных летательных систем и комплексов дистанционного обеспечения.

Высказанные замечания носят характер, устранимый в рамках дальнейшей работы, и не снижают итоговой положительной оценки диссертации. По актуальности, научной новизне, обоснованности результатов и уровню их практической реализации диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук пунктом 9 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а её автор – **Чепига Андрей Александрович** – заслуживает присуждения **учёной степени кандидата технических наук** по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)».

Отзыв рассмотрен и утверждён на заседании учёного совета (научно-технического семинара) ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта», протокол № 8 от «14» июня 2026 г.

Отзыв подготовил:

Старший научный сотрудник, заведующий лабораторией интеллектуальных систем и анализа данных, кандидат технических наук
ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта»

 / Я.С. Пикалёв /

Подпись составителя отзыва заверяю:

И.о. директора  С.Б. Иванова

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта».

Адрес: ул. Артёма, д. 118Б, г. Донецк, Донецкая Народная Республика, 283048.
Тел.: (856) 311-34-24. E-mail: gu_ipii@mail.ru . Сайт: <http://guiaidn.ru/>.