

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента кандидата технических наук Чемоданова Владимира Борисовича на диссертацию Нгуен Тхань Конг «Алгоритмизация маршрутизации и видеомониторинга при групповом патрулировании протяженных территорий беспилотными летательными аппаратами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

### **Актуальность темы исследования**

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) востребованы в различных сферах человеческой деятельности благодаря их очевидным преимуществам по сравнению пилотируемыми ЛА: малой стоимости, экономичности, простоте в эксплуатации, возможности работать в опасных и труднодоступных местах, в сложных условиях и др.

В диссертации исследуются вопросы применения БПЛА для воздушного патрулирования протяженных территорий, информационного обеспечения беспилотных авиационных систем (БАС), навигации и контроля параметров полета, решаются задачи оптимальной маршрутизации полетов БПЛА, оперативного видеонаблюдения зон патрулирования.

Эффективность воздушного патрулирования территорий напрямую зависит от качества алгоритмов планирования маршрутов и мониторинга районов патрулирования, так что предлагаемые в диссертации решения представляют теоретический и практический интерес.

Анализ существующих научных публикаций показывает, что вопросы группового применения беспилотников для патрулирования приграничных территорий недостаточно глубоко изучены, так что имеется потребность в проведении новых исследований для восполнения этих пробелов.

В данной диссертационной работе при решении поставленных задач автор применяет передовые методы анализа и обработки данных: генетические алгоритмы, методы кластерного и вейвлет-анализа, технологии машинного обучения и компьютерного зрения.

### **Цель работы**

В диссертации указано, что ее целью является разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации и видеомониторинга полета БПЛА в задачах группового патрулирования протяженных территорий.

### **Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке новых подходов и алгоритмов для решения задач группового патрулирования протяженных территорий средствами БАС.

Автором предложена концепция прокладки маршрута на основе интеграции ГИС-технологий с методами сплайн- и нейросетевой интерполяции траектории. Разработаны новые методы оптимального планирования полетов группы БПЛА: для вытянутых территорий с одним депо на основе математического аппарата целочисленного линейного программирования и генетической оптимизации, а также для территорий общего вида - на основе геопространственной кластеризации зон патрулирования. Им получены новые и оригинальные результаты также в области видеомониторинга района патрулирования: в разработан алгоритм обнаружения надводных объектов в условиях плохой видимости, модифицирующего модель YOLOv8 на основе механизма внимания и вейвлет-преобразования изображений (применение сверточной сети Wavelet-Attention).

### **Структура диссертационной работы**

Диссертация изложена на 142 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 123 наименований, 3 приложений, содержит 32 рисунки, 5 таблиц.

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, анализируется степень ее разработанности. Дана формулировка решаемых научных задач.

В первой главе приведен аналитический обзор современных исследований в области архитектуры системы навигации, наведения и управления малыми БПЛА, информационного обеспечения оператора БПЛА при воздушного патрулирования территорий и видеомониторинга полета. Отмечается необходимость применения в разрабатываемых алгоритмах методов и технологий вычислительного интеллекта.



Во второй главе изложены алгоритмические аспекты применения ГИС-технологий, причем внимание акцентируется на геоинформационной системе QGIS и возможности ее использования для решения задач для навигации и маршрутизации полета БПЛА. Изложены методы прокладки маршрута полета БПЛА и построения траектории полета: с использованием машины Дубинса, сплайн- и нейросетевой интерполяции траекторий на основе радиальных базисных функций (RBF).

В третьей главе рассматривается задача оптимального планирования маршрутов патрулирования для группы БПЛА. Дается ее формализации как множественной задачи коммивояжера (Multiple Traveling Salesman Problem, MTSP). Разработаны два метода ее решения. В одном предполагается, что патрулируемая территория имеет вытянутую форму и образует цепочку смежных зон (примером может служить приграничная полоса государства), причем рассматривается вариант одного депо. В этом случае решаемая задача сводится к задаче целочисленного линейного программирования (ЦЛП), Во втором методе рассматривается территория общего вида с несколькими депо и в основе предлагаемого решения задачи лежит идея геопространственной кластеризации зон патрулирования.

В четвертой главе решается задача обнаружения надводных объектов по данным наблюдения, полученным с бортовой видеокамеры. Разработан и исследован модифицированный алгоритм детекции объектов на основе архитектуры YOLO v8. с применением сверточной нейронной сети Wavelet Attention.

В заключении изложены основные результаты, полученные в диссертационной работе. Приводится список литературы и приложений.

В приложении 1 представлен листинг Программы оптимизации маршрутов полета БПЛА при групповом патрулировании территории с одним депо. В приложении 2 - листинг Программы геопространственной кластеризации зон патрулирования. В приложение 3 приведен акт внедрения результатов диссертации.

### **Достоверность и обоснованность научных результатов**

Достоверность результатов диссертации обеспечивается корректными математическими постановками решаемых задач и использованием общепризнанных математических методов. Правильность выводов

теоретических исследований подтверждена данным компьютерного моделирования и вычислительных экспериментов.

### **Значимость результатов, полученных автором**

В работе содержатся новые постановки научных задач, изложены результаты исследований по теме диссертации. Автором предложен ряд новых решений в области алгоритмизации задач маршрутизации и видеомониторинга при патрулировании протяженных территорий беспилотниками. Значимость полученных результатов подтверждается публикациями автора в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, а также в трудах российских и международных конференция, свидетельством о регистрации программ для ЭВМ. Подтверждением практической ценности полученных в диссертации результатов служит акт внедрения результатов работы.

Содержание автореферата, в целом, соответствует идеям, тексту и выводам диссертации.

Тема и содержание диссертации соответствуют пунктам паспорта научной специальности 2.3.1: п.1. «Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»; п.2. «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»; п.3. «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»; п.4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации».

На основе проведенного анализа содержания данной работы следует сделать заключение, что все поставленные в диссертации задачи решены автором.

### **Замечания по работе**

1. В гл. 3 (стр. 63) выдержка из текста «Рассмотрим сценарий постоянного воздушного мониторинга заданной территории группой БПЛА. Предполагается, что все доступные БПЛА однотипны». Закономерен вопрос: насколько данное допущение принципиально для последующих выкладок, в



частности, для предлагаемой в п. 3.3.2 математической формализации задачи патрулирования?

2. В п. 2.6 излагаются основные положения концепция прокладки маршрута полета БПЛА на основе ГИС-технологий. В частности, указывается, что посредством цифровой топографической карты определяются маршрут патрулирования и маршрутные точки, через которые должна проходить траектория полета БПЛА. Отметим, что автор не дает конкретных рекомендаций по построению маршрутных точек, что важно в случаях извилистой территории, характерной для речных долин, береговых линий и ландшафтов.

3. В главе 3 обсуждается применение алгоритма генетической оптимизации с использованием математического пакета MATLAB. Однако, автор не поясняет работу самого генетического алгоритма, хотя это важно для обоснованного выбора опций алгоритма: размера популяции, максимального количества поколений, условий остановки и др.

4. При визуальном поиске объектов посредством БПЛА его полет целесообразно выполнять на определенных (в том числе малых) высотах и допустимым снижением скорости полета, тем более, в условиях плохой видимости, причем не исключена необходимость неоднократного облета зоны поиска. Данные вопросы важны и органичны для темы диссертации, однако не рассматриваются автором.

5. Тема компьютерного зрения на основе механизма внимания (Attention Mechanism) и сверточных сети Wavelet-Attention практически не рассматривается в отечественных публикациях. В то же время, она недостаточно обстоятельно освещается и автором в диссертации (пп. (4.2.5.), (4.3) на стр. 106-117), хотя и является ключевой для представленного диссертационного исследования.

### **Заключение**

Диссертация Нгуен Т.К. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решаются актуальные задачи планирования, контроля видеомониторинга полетов БПЛА при патрулировании протяженных территорий. Результаты его исследований опубликованы в 4 статьях в журналах из перечня ВАК, в трудах международных и всероссийских конференций. Тематика и содержание

работы полностью соответствует заявленной специальности. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, критериям положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Нгуен Тхань Конг, заслуживает присуждения ему научной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Официальный оппонент,  
начальник научно-исследовательского отдела  
кафедры «Системы автоматического и  
интеллектуального управления» МАИ, доцент

10.10.2025г



Чемоданов В.Б.

Подпись официального оппонента Чемоданова В.Б.,

ЗАВЕРЯЮ:

Директор института №3 ФГБОУ ВО Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет), МАИ,  
Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия.



Следков Ю.Г.