

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**доктора технических наук, доцента Алтынцева Максима Александровича**

на диссертационную работу **Максимовой Софьи Евгеньевны** на тему «Разработка методики геоинформационного моделирования воздушного пространства для построения оптимальных маршрутов беспилотных воздушных судов гражданской авиации», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности

### **1.6.20. Геоинформатика, картография (технические науки)**

#### **1. Актуальность диссертационного исследования**

В условиях ежегодного расширения спектра применения беспилотных воздушных судов (БВС) и увеличения их производства особо актуальной становится задача разработки алгоритмов вычисления оптимальных маршрутов полета. Несмотря на наличие большого количества алгоритмов построения маршрутов перемещения объектов из одной точки в другую, большинство алгоритмов не полностью адаптировано к условиям, в которых перемещаются БВС, и не учитывают различие группы факторов, такие как возможность получения разрешения на полет, особенности застройки территории, метеорологические условия, изменение интенсивности транспортных потоков и т. д.

Планирование полетов требует своевременного получения актуальной геопространственной информации. На основе обработки такой информации и анализа существующих алгоритмов построения маршрутов возможно выполнить разработку методики геопространственного моделирования воздушного пространства, выработать рекомендации по оптимизации деятельности операторов БВС и снижению рисков полетов. Такая методика должна позволить преодолеть противотечения между потребностями транспортной системы в сегменте воздушного пространства и отсутствием адекватного модельно-методического аппарата пространственно-временного представления, анализа и автоматизированного управления.

Актуальность диссертационной работы Максимовой С.Е. не вызывает сомнения. Создание методики геоинформационного моделирования воздушного пространства для построения оптимальных маршрутов БВС гражданской авиации позволит оценивать пространственную обстановку в интересах регулирования специальной БВС-активности и выработать пространственно-содержательные рекомендации. Это содействует развитию беспилотных технологий и их применению в различных сферах.

#### **2. Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов**

Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования обеспечены:

- применением системного подхода, методов и принципов системного анализа в отношении объекта моделирования;
- комплексным учетом факторов, влияющих на результаты исследования;
- корректностью постановки цели и задач исследования, достаточно обоснованной совокупностью ограничений при разработке модельно-методического аппарата;
- соответствия результатов исследования теоретическим основам и гипотезам фундаментальных исследований в области геоинформационного моделирования;
- апробацией результатов исследования на 8 научно-практических конференциях, публикацией основных результатов диссертации в 13 научных работах (из них 5 в изданиях из перечня ВАК), двумя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ, внедрением

результатов в деятельность Акционерного Общества «Урало-Сибирская геоинформационная компания», ООО «Небесная Механика», ООО «Национальный земельный фонд».

### 3. Научная новизна диссертации и результатов, выносимых на защиту

В то время, как существующие геосервисы, содержащие геоинформационные модели воздушного пространства Российской Федерации, поддерживают функцию по просмотру картографической информации, но не предлагают возможности по геоинформационному анализу и синтезу пространственных данных, в том числе пространственно-содержательных рекомендаций, научная новизна диссертационного исследования Максимовой С.Е. заключается в следующем:

– разработанный модельно-методический аппарат адекватного пространственно-временного представления, анализа и автоматизированного управления деятельностью эксплуатанта БВС дополняет существующую модель управления;

– выносимая на защиту **геоинформационная модель воздушного пространства БВС-активности эксплуатанта** в виде взвешенного графа пространственных данных отличается дискретизацией сегмента воздушного пространства и оси времени в сочетании с оригинальным комбинированием различных видов ограничений для полетов БВС и комплексным учетом элементов рискованной активности, что позволяет учитывать разнородную пространственно-временную информацию о геоситуации в информационной единице модели сегмента воздушного пространства и увеличить показатель полноты оперативного представления и анализа ситуации в воздушном пространстве для функционального и операционного пространства БВС-активности на 14% и 19% соответственно;

– выносимая на защиту **методика оценки пространственной обстановки в интересах регулирования специальной БВС-активности и выработки пространственно-содержательных рекомендаций** отличается интеграцией пространственного анализа и планирования с системой ситуационных, технико-технологических, эксплуатационных показателей эффективности функционирования БВС транспортной системы эксплуатанта, что обеспечивает оперативную выработку вариантов содержательно-пространственных рекомендаций по оптимизации БВС-деятельности в условиях быстроменяющейся геоситуации и увеличивает своевременность вычисления оптимального маршрута на 10%;

– предложенная методика геоинформационного моделирования воздушного пространства или его сегмента, а также практические рекомендации по ее реализации направлены на снижение временных затрат эксплуатантов по построению маршрутов БВС из точки старта в точку назначения и увеличение оперативности планирования полетов.

### 4. Значимость для науки и практики результатов диссертации

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования складывается из:

– дополнения процедур планирования использования воздушного пространства эксплуатантом БВС геоконтроллинговой поддержкой посредством разработки модельно-методического аппарата геоинформационного представления и регулирования рискованной БВС-активности;

– адаптации известных моделей, принципов и методов оценки рисков в гражданской пилотируемой и беспилотной авиации к процессу моделирования обстановки в сегменте воздушного пространства с целью анализа разнородной информации и создания риск-ориентированной геоинформационной пространственно-временной модели этого пространства;

– структурирования геоинформационной модели воздушного пространства подмоделями обстановки, учитывающими различные категории ограничений для перемещения БВС и геопространственные мероприятия;

– определения связи оперативности геомодели рискованной БВС-активности в сегменте воздушного пространства с функциональностью и структурой уровней ее регулирования.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в повышении оперативности планирования БВС-деятельности эксплуатанта в пространстве рискованной БВС-активности за счет ее дополнения модельно-методическим аппаратом адекватного пространственно-временного представления и возможностью осуществления автоматизированного управления обстановкой в сегменте воздушного пространства с помощью программ, разработанных на базе геоинформационного программного обеспечения с открытым исходным кодом.

### **5. Соответствие диссертационной работы предъявляемым требованиям**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, четырех приложений. В работе приведены 39 формул, 7 таблиц, 40 рисунков. В список литературы включены 143 наименования.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Структура и оформление диссертации и автореферата выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011. Диссертация и автореферат логично структурированы в соответствии с целью исследования, написаны научным языком, грамотно и аккуратно оформлены. В автореферате достаточно полно отражены выносимые на защиту положения и научные результаты диссертации, содержание соответствует предъявляемым требованиям.

Результаты, изложенные в диссертационном исследовании, опубликованы в научных изданиях, в том числе рецензируемых из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, в достаточном объеме и с необходимой полнотой.

### **6. Замечания по диссертационной работе**

1) Несмотря на то, что в тексте диссертации обосновано моделирование воздушного пространства как сложной системы, функционирование которой регламентировано нормативно-правовыми актами, следовало уделить больше внимания физико-географическим факторам, значимым для функционирования беспилотной авиации.

2) При разработке геоинформационного подхода к оценке рисков пилотирования БВС недостаточно раскрыта связь разработанной методики с процедурами оценки рисков в авиации на основе составления контрольных перечней CFIT и FRAT.

3) Для раскрытия сути геоинформационного моделирования ограничений в воздушном пространстве, обусловленных структурой воздушного пространства, желательно привести характерные примеры на основе конкретных требований соответствующих нормативно-правовых актов.

4) Автором не произведена оценка трудоемкости разработанного методического аппарата.

5) Слабо отражены перспективы развития результатов исследования в контексте стремительно меняющейся ситуации в области использования воздушного пространства.

6) В разделе 3.2 предложена формула анализа распределения значений риска в воздушном пространстве и приведен пример расчета риска полета по ней с указанием точного значения взлетной массы БВС, равной 7 кг и высоты полета 70 м. Не отражено, как именно эти параметры влияют на выбор значений переменных предложенной формулы. Как изменятся значения переменных при другой взлетной массе и высоте?

7) Автор не приводит теоретическое обоснование выбора точных значений баллов при оценке рисов выполнения полетов БВС, приведенных в таблице 4.2, и коэффициентов для них при изменении высоты полета.

Следует отметить, что выявленные недостатки не подвергают сомнению научную новизну, обоснованность, достоверность, теоретическую и практическую значимость научных результатов диссертационного исследования. Вышеперечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации и носят рекомендательный характер

## 7. Заключение о соответствии диссертации паспорту научной специальности и Положению о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Максимовой Софьи Евгеньевны на тему «Разработка методики геоинформационного моделирования воздушного пространства для построения оптимальных маршрутов беспилотных воздушных судов гражданской авиации» является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, соответствует пунктам 2, 7, 11 паспорта научной специальности 1.6.20 «Геоинформатика, картография». Автор продемонстрировал способность решать сложные научно-технические задачи методами геоинформационного моделирования на профессиональном уровне.

Диссертационная работа Максимовой Софьи Евгеньевны «Разработка методики геоинформационного моделирования воздушного пространства для построения оптимальных маршрутов беспилотных воздушных судов гражданской авиации» соответствует требованиям пп.9-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней». Соискатель Максимова Софья Евгеньевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.6.20. Геоинформатика, картография.

Официальный оппонент:  
доктор технических наук, доцент  
«03» марта 2026 г.



Алтынцев Максим Александрович

Адрес места работы официального оппонента:  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Сибирский государственный университет  
геосистем и технологий» (СГУГиТ)  
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10,  
доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.  
+7(383)343-29-55, mnbcv@mail.ru

Шифр научной специальности, по которой была защищена докторская диссертация:  
1.6.19. Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия

Подпись Алтынцева Максима Александровича заверяю:

*Верушкин Евгений Александрович*

*Е.С. Мельникова*

