Отзыв

официального оппонента, к.т.н. Филиппова Дмитрия Викторовича, на диссертационную работу **Орлова Павла Юрьевича** на тему: **«Разработка и исследование методики геоинформационного моделирования трёхмерных динамических сцен околоземного космического пространства»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.35 – «Геоинформатика»

Тема исследуемых вопросов в диссертации, несомненно, носит актуальный характер. С развитием цивилизации, а именно космической отрасли, происходит интенсивное освоение космического пространства за счет вывода на разные орбиты все большего и большего количества искусственных спутников. Это приводит к появлению новых объектов искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве. К таким объектам относятся как отработавшие свой срок космические аппараты, так и элементы ракетоносителей. Наряду с метеоритной угрозой, наличие космического мусора несет актуальные угрозы, как для используемых КА, так и для объектов на Земле.

Отсюда ясно, что фиксирование, моделирование и прогнозирование движения космических объектов в околоземном космическом пространстве является весьма важной и необходимой задачей всего человечества.

Диссертация Орлова Павла Юрьевича посвящена разработке и исследованию методики геоинформационного моделирования трехмерных динамических сцен околоземного космического пространства.

Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения списка сокращений и условных обозначений, списка терминов, списка использованных источников. Объем диссертации 190 страниц печатного текста, включающий 25 таблиц, 65 рисунков и 3 приложения. Список использованных источников включает 123 наименования – 96 на русском языке и 27 на иностранных языках.

Во введении автор диссертации раскрывает актуальность рассматриваемой темы, связанной с увеличением количества космического мусора в околоземном пространстве, а также новизну выполненных исследований. В этом разделе автор обозначил цель своего исследования, и какие в ходе работы были решены задачи. Также во введении автор указывает методологию и методы выполненного исследования, а также формулирует основные положения и результаты, выносимые на защиту.

Первый раздел состоит из трех параграфов и посвящен анализу методов оценки состояния засорения околоземного космического пространства. В разделе проводится

анализ влияния космического мусора на освоение космического пространства, и описываются угрозы, которые несет с собой космический мусор. Автор приводит историческую справку о наиболее крупных чрезвычайных происшествиях, связанных с падением космического мусора на поверхность Земли. **Также в этом разделе** автор приводит обзор методов оценки рисков и нормативно-правовых документов, направленных на урегулирование космической деятельности, в том числе и регламентирующие ответственность за причинение материального ущерба. Автор описывает классификацию космического мусора, определенную Межагентским координационным комитетом по предупреждению образования космического мусора. В этом же подразделе приводится пример шкал для классификации опасных событий, отражающих систему оценки угрозы возможных столкновений Земли с астероидами и кометами – космическими объектами естественного происхождения. **Далее в разделе** автор приводит анализ тематических информационных систем, связанных с исследованием состояния околоземного космического пространства. В этой части автор рассмотрел возможности применения ГИС технологий для решения поставленной задачи. Автор приводит классификацию ГИС по проблематике, назначению и масштабу. Также автором приведен обзор развития геоинформационного программного обеспечения для моделирования околоземного пространства. Необходимо также отметить, что в этом разделе автор уделил внимание обзору состояния нормативно-правовых документов и стандартов, регламентирующих разработку геоинформационных систем.

Во втором разделе данной работы выполнено исследование и оценка инструментальных средств разработки ГИС, источников данных и алгоритмического обеспечения моделирования движения объектов околоземного космического пространства. Раздел состоит из четырех параграфов. **В разделе** выполнен обзор современных библиотек и платформ для разработки web-ГИС. Автор описывает web-ориентированную технологию WebGL, как один из высокоэффективных программных интерфейсов для взаимодействия с графическим аппаратным обеспечением пользователя и достигающий наибольшей производительности на системах, оборудованных современными графическими ускорителями последнего десятилетия. В первой части этого раздела приведен сравнительный анализ библиотек Cesium, Google Earth API и Google Maps API, а также приведен обзор программных продуктов, разработанных на основе альтернативных библиотек и платформ (*WebGL Earth, ArcGIS Earth, ArcGIS API for JavaScript, ScanEx Satellite Orbit Kit, GeoBox 3D, Планета СканЭкс*). **Также в данном разделе выполнен** сравнительный анализ и оценка эффективности графических библиотек для представления орбитальных данных на трехмерных сценах. Анализ

выполнен по 2 базам (Analytical Graphics Inc., What's Up) и четырем сервисам (Solenix, N2YO, SpaceBook, iSat). Тут же автор приводит анализ и оценку информационного обеспечения по вопросам состояния околоземного космического пространства. В разделе определяются критерии для отбора информации при формировании накопительного фонда данных по исследуемой проблеме, а также подробно рассмотрена структура атрибутивных данных, содержащихся в базе данных КА UCS, и приводится их расшифровка. В третьем разделе работы, проведя анализ возможностей существующих ГИС, а также определив предъявляемые требования к уже реализованным геоинформационным системам, и рассмотрев возможные трудности, связанные с ограничениями доступа к данным, автор определил функциональные требования к разрабатываемому прототипу ГИС ОКП. Основываясь на анализе существующих открытых данных об антропогенных объектах околоземного пространства, автором предложена концептуальная модель базы данных космических объектов. Учитывая, что одним из основных требований для ГИС ОКП является возможность прогнозирования и моделирования движения космических объектов, автором рассмотрена возможность применения языка CZML для построения трехмерных сцен ОКП.

Экспериментальные исследования по геоинформационному моделированию околоземного космического пространства, описанные в четвертом разделе, делятся на три этапа: прогнозирование движения космических объектов и формирование на основании выполненного прогноза трехмерной динамической сцены; создание на основе WEB-технологий оболочки и содержимого прототипа ГИС ОКП; разработка алгоритма поиска пересечений трасс космических объектов в околоземном пространстве. Первый этап включает в себя создание программы TLEPropagator, позволяющей извлекать содержимое файлов с двухстрочными наборами элементов TLE, описывающих орбитальные параметры. Затем с помощью инструментальных WEB-средств была реализована оболочка с возможностью загрузки трехмерной динамической сцены и сформировано содержимое прототипа ГИС. И на третьем этапе был разработан алгоритм поиска пересечений трасс космических аппаратов для кросс-калибровки целевой аппаратуры дистанционного зондирования Земли с записью результатов в файл формата *.kml.

Результаты выполненных автором исследований успешно представлены в виде докладов на российских и международных конференциях (семинарах) и в 11 научных публикациях, две из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, а также индексируемых в международной реферативной базе данных и системе цитирования Scopus. Количество опубликованных научных работ и докладов

говорит о высоком научном уровне проведенного исследования. Развитие такого направления, как трехмерные динамические геоинформационные системы, является новым этапом развития геоинформатики в области обеспечения принятия решений и контроля за пространством. Разработанная автором методика геоинформационного моделирования трехмерных динамических сцен околоземного космического пространства, несомненно, несет в себе теоретическую, практическую значимость и новизну. Особенно актуальна данная методика для активно развивающегося сегмента малых космических аппаратов, группировки которых могут насчитывать до нескольких сотен спутников. Результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, представляют большой интерес, как с научной точки зрения для развития геоинформатики, так и с практической для мониторинга околоземного космического пространства.

Представленные в диссертации материалы показывают достаточную научную полноту проведенных исследований. Результаты исследований можно рекомендовать для использования в области мониторинга и развития освоения околоземного космического пространства.

К замечаниям по диссертационному исследованию можно отнести недостаточно полный анализ опыта работы в данном направлении отечественных организаций, занимающихся как проектированием и эксплуатацией космических систем, так и вопросами слежения и безопасности в воздушном и космическим пространстве, а также слишком подробный анализ нормативно-правовой документации по вопросам космического мусора и оценки рисков в параграфе 1.2.

В качестве пожелания можно рекомендовать автору уделить особое внимание рассмотрению вопросов хранения орбитальных данных объектов околоземного космического пространства.

В целом, отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы.

Диссертация Орлова П.Ю. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение важной для геоинформатики научной задачи – разработки методики геоинформационного моделирования околоземного космического пространства.

Считаю, что рецензируемая диссертационная работа по своему содержанию и значимости полученных в ней результатов соответствует пунктам 9 – 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации **Орлов Павел Юрьевич** заслуживает

присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.35 – «Геоинформатика».

Временно исполняющий обязанности директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научного геоинформационного центра Российской академии наук (НГИЦ РАН), кандидат технических наук

25.00.34 – Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия.

Адрес: 119019, Россия, г. Москва, ул. Новый Арбат, 11, стр.1

Тел: 8 (495) 691-27-23

e-mail: Gislab@ngic.ru

_____Филиппов Дмитрий Викторович

«25» ноября 2019 г.

Подпись Филиппова Д.В. заверяю
Начальник отдела кадров НГИЦ РАН Гилева В.А. Гилева
25.11.2019