УДК 656.025.2, 656.07 DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-114-121

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ РАЗРАБОТКИ ТОЧНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ И УЗЛОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Н. Н. Майоров, А. А. Добровольская, Таратун В. Е.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье решается задача поиска решения для построения цифровой модели транспортной сети или объекта транспортной инфраструктуры. На основе проведенного анализа приводится ограниченность имеющихся решений и фиксируется ограниченное состояние внедрения цифровых моделей при новых модернизациях транспортных систем. В статье приводится общая схема использования документации о состоянии транспортной системы, узлов и элементов и рассматриваются примеры на основе реальных транспортных систем. В работе рассматриваются основные требования к цифровым транспортным моделям и предлагается решение на основе использования беспилотных авиационных систем. Предлагается модель формирования вариантов полетных заданий и, в доказательство актуальности исследования, приводится результаты реального эксперимента. Рассматривается задача модернизации участка транспортной сети города, идентификация состояния участка на основе данных с беспилотной авиационной системы. В статье приводиться решение задачи, обладающее высоким качеством построения цифровой модели и возможностью интеграции в другие информационные системы для мониторинга состояния и прогнозирования развития.

Ключевые слова: транспортная система, цифровая модель поверхности, транспортная инфраструктура, модернизация инфраструктуры, беспилотная транспортная система

***Для цитирования**:*
Майоров Н. Н., Добровольская А. А., Таратун В. Е. Исследование путей разработки точных цифровых моделей для объектов и узлов транспортной инфраструктуры// Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(30), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с.114-121. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-114-121.

RESEARCH OF WAYS TO DEVELOP ACCURATE DIGITAL MODELS FOR OBJECTS AND NODES OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

N. N. Maiorov, A. A. Dobrovolskaya, Taratun V. E.
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article solves the problem of finding a solution for building a digital model of the transport network or transport infrastructure object. On the basis of the analysis, the limitation of available solutions is given and the limited state of implementation of digital models in new modernizations of transport systems is fixed. The paper provides a general scheme of using documentation of the state of the transport system, nodes and elements and considers examples based on real transport systems. The paper examines the basic requirements for digital transport models and proposes a solution based on the use of unmanned aircraft systems. A model of formation of flight task variants is proposed and, as a proof of relevance of the research, the results of a real experiment are given. The task of modernizing a segment of the transport network of the city, the identification of the state of the site on the basis of data from unmanned aircraft system is considered. The article presents a solution to the problem, which has a high quality of building a digital model and the possibility of integration into other information systems for monitoring the condition and forecasting of development.

Key words: transport system, digital surface model, transport infrastructure, infrastructure modernization, unmanned transport system

For citation:
Maiorov N.N., Dobrovolskaia A.A., Taratun V. E. Research of ways to develop accurate digital models for objects and nodes of transport infrastructure// System analysis and logistics.: №4(30), ISSN 2007–5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 –p .114-121. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-114-121.

Введение

Сегодня мы наблюдаем повсеместное внедрение цифровых решений, переход к цифровым сервисам, которые ускоряют передачу информации и автоматизируют основные процессы предприятий. При этом если для цифровизации процессов систем документооборота есть проекты готовых к внедрению решений, то процессы модернизации транспортной инфраструктуры, принятие решений по перестройке улично-дорожной сети, требует не просто

разработки подобных сервисов, но и требует разработки моделей и методов для получения актуальных исходных данных. Полученные данные должны быть обработаны, объединены и преобразованы в цифровые транспортные модели, цифровые двойники транспортных узлов. Необходимо сказать, что до недавнего времени информация о состоянии объектов транспортной инфраструктуры была только в форме чертежей, которые отражают исходное состояние в момент ввода. При выполнении модернизации перестройки системы требовалась повторная разработка чертежной документации и сопутствующих комплексов. Если рассматривать исторически, то после активного внедрения CAD/CAM/ CAE систем начали активно реализовываться проекты по построению 3D моделей участков транспортных систем [1,2].

Одной из актуальных проблем является получение актуальных данных, которые будут детально отражать как настоящее состояние транспортной инфраструктуры, так и детальную инфраструктуру объектов. К примеру, принятие решения по модернизации инфраструктуры должно основываться на реальном состоянии объектов, и систем и не должно основываться на устаревших чертежах и моделях. Ввиду внедрения цифровых сервисов и решений, необходимо решение задачи создания цифровых 3D моделей транспортных систем с последующим их использованием.

При проектировании нового объекта создается не совокупность чертежей и описаний (текстовых, табличных) будущего объекта исследования (реконструкции, ремонта), а его информационная модель, которая выступает в качестве цифрового двойника объекта в виртуальном пространстве, общего ресурса знаний и получения информации об объекте, обеспечивая принятие оптимальных решений на всех этапах его жизненного цикла. В данном случае именно полученная информационная модель выступает в качестве базы данных, в которой консолидируется и интегрируется информация об объекте и содержит 3D модели, сопутствующая документация по комплексу транспортных объектов, входящих в состав объекта, в структурированном и взаимосвязанном виде.

Общая схема принятия решения по модернизации транспортной сети и объектов инфраструктуры представлена на рис.1

Рис. 1. Изменение требований к информационным системам при модернизации объектов транспортной инфраструктуры

Как показано на рисунке 1 при модернизации объектов транспортной инфраструктуры формируется комплект документов и моделей, которые не используются при последующей модернизации, либо используются ограниченно. Возможна ситуация, когда модели, разработанные в прошлых вариантах информационных систем не применимы по формату к

новым, более производительным современным системам [3,4]. На основе представленных анализов в источниках можно выделить следующее:

1. имеет место значительное количество исправлений проектной документации
2. имеет место возможность несоблюдения нормативов
3. при первичном сборе данных о состоянии имеет места неполнота инженерных изысканий и лабораторных испытаний, отсутствие вариантности проектирования
4. сложности в сохранении и использовании данных по объекту (в т. ч. в цифровом виде), полученных на более ранних стадиях разработки модели транспортного узла или процесса;
5. имеет место затрудненность контроля качества проектирования ввиду большого объема бумажной документации.

Получается следующие актуальные вопросы исследования:

1. Как получить необходимые данные для построения цифровой модели транспортной системы с высокой детализацией?
2. Как построить цифровую транспортную модели и реализовать ее итерацию в другие программные системы для решения других исследовательских задач?
3. Как минимизировать ручные расчеты и операции при сборе данных о состоянии транспортной системы или транспортного узла?
4. Возможно ли обеспечить реализацию мониторинга состояния транспортной системы или узла с возможность обновления цифровой модели?

Ответ на данный вопрос сегодня может дать использование беспилотных авиационных систем для решения задач построения цифровой модели участка транспортной системы.

Модели и методы

В настоящее время мировая транспортно-логистическая инфраструктура испытывает на себе влияние глобализационных процессов и активное внедрение цифровых технологий. При принятии решений по оценке и моделировании транспортной инфраструктуры хорошо применим аппарат моделирования процессов и систем [5,6,7]. Он дает хороший результат, имеется возможность изменять данные и исследовать различные сценарии. Ввиду использования различных математических моделей генерации событий, процессов, имеется возможность решать задачу стратегического развития. Внедрение информационного моделирования – это цифровая трансформация транспортной инфраструктуры, переход на новый технический и технологический уровень.

Транспортная система, всегда находиться под влиянием внешней среды. Так получается, что схема, представленная на рис. 1 имеет место быть, так как объекты транспортной инфраструктуры, ввод которых был определен при определенных заданных параметрах в прошлом, сегодня вызывают необходимость модернизации, а значит построения новой модели. Если в прошлом данная модель была на уровне чертежа, то сегодня нужно получить цифровую модель в 3D, чтобы была возможность использовать ее в процессе последующего анализа. Цифровая модель должна обеспечивать кроссплатформенность и мобильность. Рассмотрим в качестве первого примера АО "Пассажирский Порт Санкт-Петербург "Морской фасад". Размеры причалов, заложенные на основе расчетов в 2007 году, сегодня не соответствуют размерам современных паромных крупных судов [8]. Принимая во внимание наметившуюся тенденцию к повышению вместимости круизных судов и увеличению их размеров, АО «ПП СПб МФ» реализовала проект по строительству выносных палов у причала №7. Реализация Проекта предусматривала реконструкцию причала № 7 путем возведения трех выносных швартовных палов с соединительными мостиками и увеличение длины причалов №№ 6 и 7 (причального фронта) на 108,6м. Как мы видим, под влиянием внешней среды, потребовалась перестройка инфраструктуры порта. Сегодня необходимо создание новой

цифровой модели причалов, которые интегрированы в единую информационную систему порта. Ввиду необходимости ответа на последующие изменения со стороны внешней среды, необходимо наличие цифровой 3D модели системы причалов.

Рассмотрим другой пример, применительно к транспортной инфраструктуре города. Рассмотрим внедрение велодорожек в существующие транспортные системы. Для данного решения необходимы данные об актуальном состоянии дорожного покрытия, ширине, дополнительной информации о пересечениях с другими дорогами. Выполнение данной задачи измерительными методами возможно, но это достаточно длительно и не открывается возможность построения цифровой модели всего участка, который подлежит модернизации. Мы видим острую необходимость получения данных с последующим их преобразованием в цифровую транспортную модель.

Рассмотрим основные требования к цифровым транспортным моделям:

1. формат файла проекта;
2. состав и критерии разбиения. Количество слоев в модели, параметры;
3. некоторые нормативные параметры цифровой имитационной модели;
4. позиционирование и ориентация;
5. масштаб и единицы измерения;
6. отсутствие коллизий.

Для получения динамических данных о состоянии системы необходимо использовать беспилотные авиационные системы, дроны. Для исследования объектов транспортной инфраструктуры, узлов транспортных систем не следует использовать беспилотники самолетного типа. Для данных задач необходимо использовать квадрокоптеры. Ввиду возможности зависания над объектом исследования, квадрокоптеры имеют возможность собрать необходимые графические данные. Существующие методы создания цифровых моделей [8]:

- - фотограмметрическая обработка материалов аэросъемки и космической съемки;
- - обработка материалов наземной съемки;
- - оцифровка картографических материалов.

Для сбора данных по транспортному узлу предлагается следующая модель на основе беспилотных авиационных систем (рис. 2)

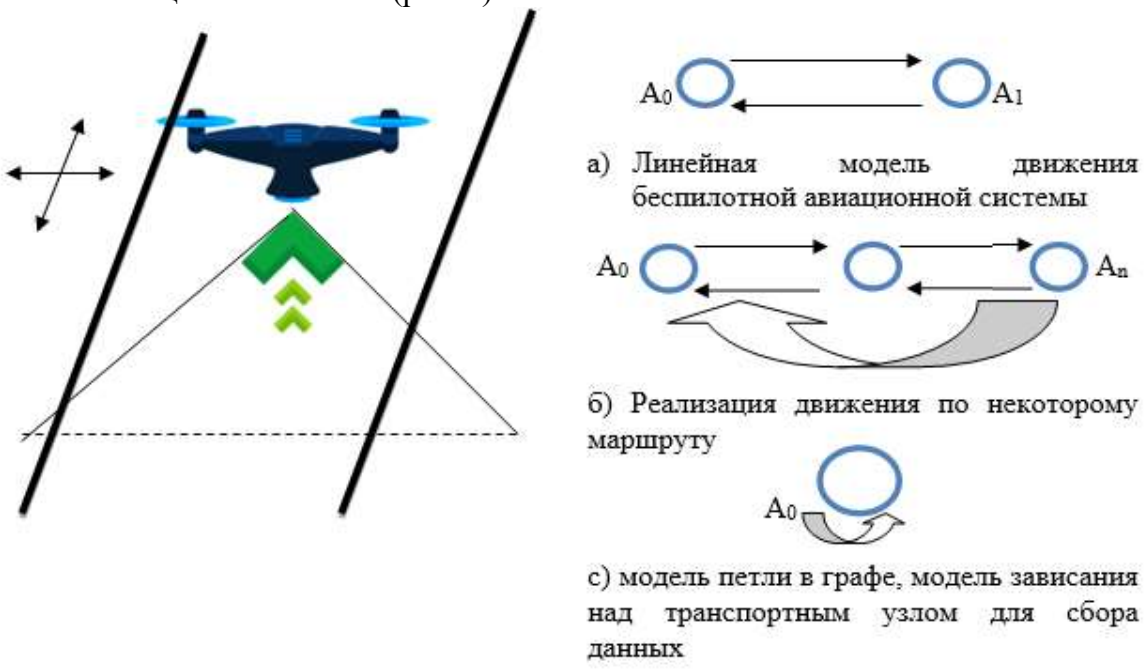

Рис. 2 Модели реализации полетных заданий для построения цифровой модели

Практическая реализация построения цифровой модели транспортной системы и узла

Для построения цифровой транспортной модели использовалась лаборатория беспилотных авиационных систем инженерной школы ГУАП. В состав лаборатории входит исследовательское летное поле. В данном летном поле были размещены Aruco-маркеры [9,10] для навигации беспилотной авиационной системы. В летном поле была построена модель дороги и внесены элементы, которые определяют состояние дорожного покрытия. На летном поле были добавлены внешние препятствия и цветовые маркеры, которые представляли ямы на дороге, их расположение было случайным. Практическая реализация выполнения полетного задания представлена на рис. 3.

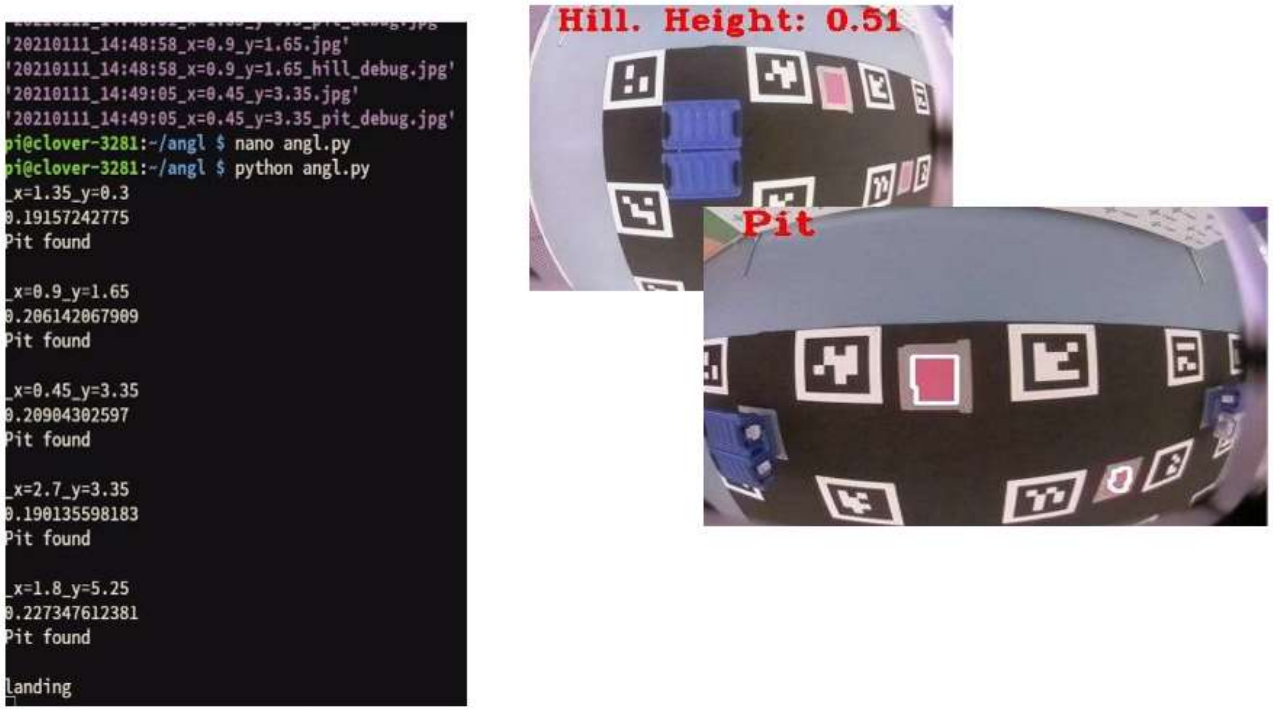

Рис.3. Практическая реализация полетного задания в летном поле лаборатории беспилотных авиационных систем для сбора данных о состоянии транспортной сети

Согласно рис.3 беспилотная авиационная система определила ямы на дороге и определила препятствия.

Следующим шагом необходимо было перейти к анализу полученных фотографий с камеры квадрокоптера. Вводим понятие системы опорных точек. Опорные точки сооружаются на области миссии перед полетом. Координаты опорных точек определяются заранее с высокой точностью в зависимости от пространственного разрешения предполагаемых изображений. При использовании координат опорных точек для задания системы координат, необходимо указать проекции опорных точек на соответствующих изображениях, то есть расставить маркеры на снимках. Программная реализация построения облака изображений и опорных точек в программе Agisoft Metashape [11], приведено на рис. 4.

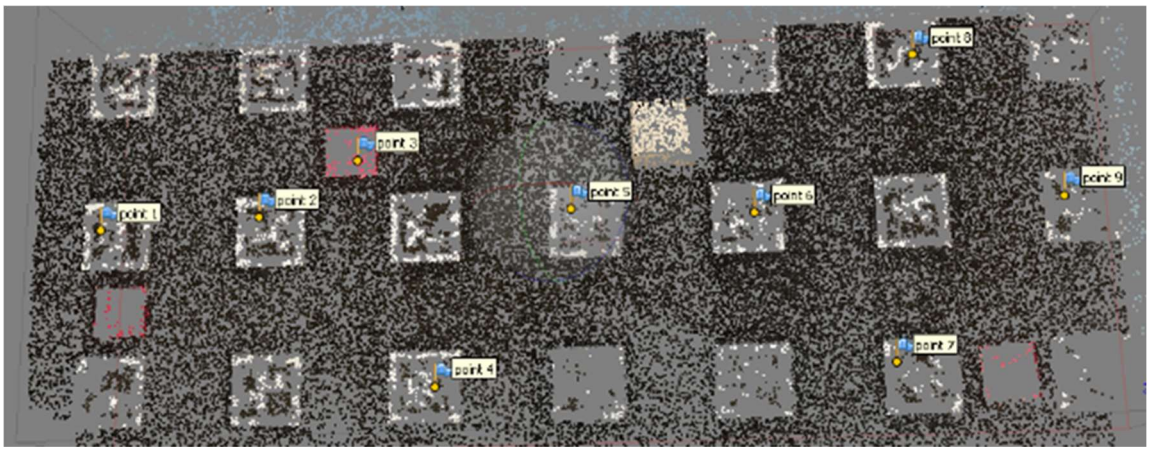

Рис. 4. Расстановка маркеров и опорных точек

Практическая реализация цифровой модели транспортной системы приведена на рис. 5.

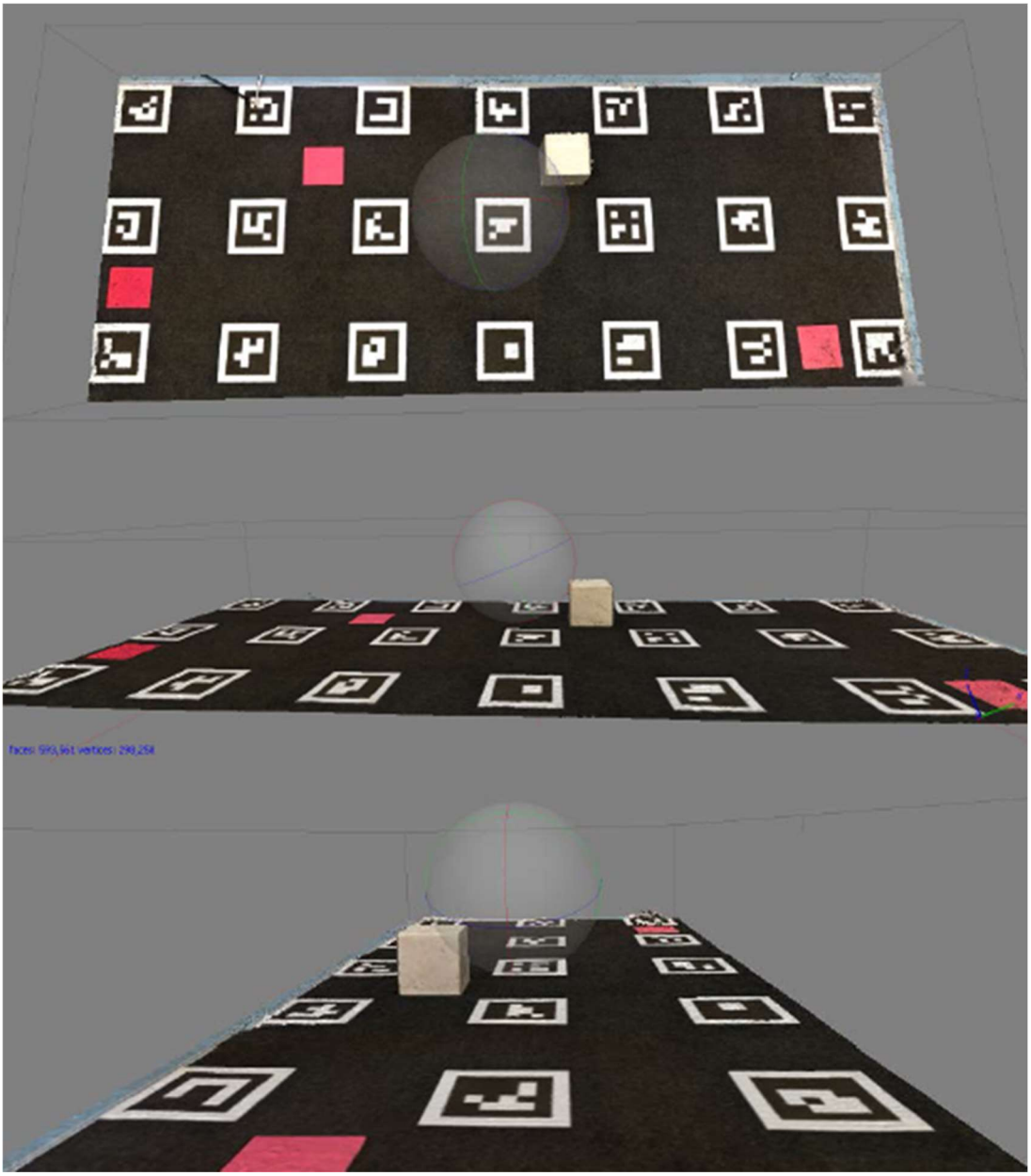

Рис. 5. Трехмерна цифровая модель участка транспортной сети

Данное исследование проводится в ГУАП на базе лаборатории беспилотных авиационных систем Инженерной школы ГУАП при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № FSRF-2020-0004 «Научные основы построения архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств»).

Заключение

На основе представленного исследования выполнено доказательство необходимости разработки, использования и включения в контур принятия решений цифровых моделей транспортных узлов и систем. Выявлено отставание имеющихся форм данных о состоянии транспортных узлов, сетей и элементов, которые были созданы в момент ввода в эксплуатацию, с современными требованиями разработки и использования 3D моделей. На основе проведенного исследования обоснована необходимость получения качественных графических данных, которые отражают современное состояние транспортной сети.

В статье обосновывается эффективность использования беспилотных авиационных систем для решения задачи исследования. На основе теоретического сценария модернизации транспортной инфраструктуры решена задача построения цифровой модели. В результате выполнения полетных заданий в автономном режиме, анализа различных вариантов маршрутов, построена точная цифровая модель участка транспортной сети и обеспечена возможность интеграции в другие информационные системы для реализации задач мониторинга состояния и прогнозирования развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сольницев Р. И. Модели и методы принятия проектных решений / Р. И. Сольницев Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2010. - 67 с.
2. Скворцов А. В., Сарычев Д. С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 4–14.
3. Цифровая модель местности — определение, виды, порядок построения [Электронный ресурс] URL: https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/tsifrovaya-model-mestnosti/ (дата обращения: 30.11.2021).
4. ГОСТ Р 52440–2005. Модели местности цифровые. Общие требования [Электронный ресурс] URL: https://docs.cntd.ru/document/1200044676 (дата обращения: 30.11.2021).
5. Жанказиев С. В. Имитационное моделирование в проектах ИТС: учебное пособие / С. В. Жанказиев, А. И. Воробьев, А. В. Шадрин, М. В. Гаврилюк; под ред. д-ра техн. наук, проф. С. В. Жанказиева. – М.: МАДИ, 2016. – 92 с.
6. Фетисов В. А., Майоров Н. Н. Практические задачи моделирования транспортных систем: учеб. пособие. — СПб.: ГУАП, 2012. — 185 с.
7. Гасников А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / Гасников А. В., Кленов С. Л., Нурминский Е. А., Холодов Я. А., Шамрай Н. Б.; Приложения: Бланк М. Л., Гасникова Е. В., Замятин А. А. и Малышев В. А., Колесников А. В., Райгородский А. М; Под ред. А. В. Гасникова. — М.: МФТИ, 2010. — 362 с.
8. АО "Пассажирский Порт Санкт-Петербург "Морской фасад" [Электронный ресурс] URL: https://www.portspb.ru/O_porte/about/invest_programm (дата обращения: 01.12.2021).
9. Карпова Т. Ю. Эксплуатация беспилотных авиационных систем: учебное пособие / Т. Ю. Карпова, А. С. Костин, Н. Н. Майоров; ред. Н. Н. Майоров. Санкт-Петербург: Изд-во ГУАП, 2021. - 169 с.

10. Bogatov N., Kostin A., Maiorov N. Control and analysis of quadcopter flight when setting a complex trajectory of motion. Journal of Physics: Conference Series 1925 (2021) 012043. doi:10.1088/1742-6596/1925/1/012043
11. Agisoft Metashape.Руководство пользования [Электронный ресурс] URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_ru.pdf (дата обращения: 30.11.2021)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Майоров Николай Николаевич –
доцент, доктор технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: nnm@guap.ru

Добровольская Ангелина Александровна –
Ассистент
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: angd999@gmail.com

Таратун Виталий Евгеньевич –
Старший преподаватель
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maiorov, Nikolai Nikolaevich –
PhD, associate professor, Department of System Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: nnm@guap.ru

Dobrovolskaia, Angelina Alexandrovna –
Assistant of the Department of System Analysis SUAI
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: angd999@gmail.com

Taratun Vitaly Evgenievich –
Senior Lecturer
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia