

*А. А. Копылов<sup>1\*</sup>, Л. Н. Чилингер<sup>1</sup>, Н. В. Гатина<sup>1</sup>*

## **Создание цифрового двойника Центра учебных геологических практик ТПУ с использованием беспилотных воздушных средств**

<sup>1</sup>Национально-исследовательский томский политехнический университет, г. Томск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: aak295@tpu.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматривается создание цифрового двойника Центра учебных геологических практик ТПУ с применением беспилотных воздушных средств и использованием современных геоинформационных систем. С помощью БВС производилась воздушная съёмка, а на базе ГИС реализован цифровой двойник. В качестве БВС использовался DJI Phantom 4 Pro с дополнительным оборудованием, результатом работы которого стали растровые изображения. После обработки полученных снимков с помощью специализированного программного обеспечения, был получен ортофотоплан полигона. Объекты, расположенные на рассматриваемой территории, оцифровывались в программном обеспечении MapInfo, а геоинформационная система QGIS стала площадкой для реализации цифрового двойника. Данная работа показывает, что реализация цифровых двойников возможна с использованием беспилотных воздушных средств и современного программного обеспечения.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, беспилотное воздушное средство, геоинформационные системы

*A. A. Kopylov<sup>1\*</sup>, L. N. Chilinger<sup>1</sup>, N. V. Gatina<sup>1</sup>*

## **Creation of a digital twin of the TPU Center for Educational Geological Practices using unmanned aerial vehicles**

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation  
\* e-mail: aak295@tpu.ru

**Abstract.** This article discusses the creation of a digital twin of the Center for Educational Geological Practices of TPU using unmanned aerial vehicles and the use of modern geographic information systems. Aerial photography was carried out using a UAV, and a digital twin was implemented based on GIS. A DJI Phantom 4 Pro with additional equipment was used as a UAV, the result of which was raster images. After processing the received images using specialized software, an orthophotomap of the landfill was obtained. Objects located in the territory under consideration were digitized in MapInfo software, and the QGIS geographic information system became a platform for the implementation of a digital twin. This work shows that the implementation of digital twins is possible using unmanned aerial vehicles and modern software.

**Keywords:** digital twin, unmanned aerial vehicle, geographic information systems

### ***Введение***

В настоящее время разработка цифровых двойников является перспективным направлением для развития отраслей экономики и социальной сферы в Российской Федерации. Интеграция цифровых технологий в бизнес-процессы, поз-

волит не только перейти на новый уровень развития, но управлять и принимать технологические решения на предприятии дистанционно.

Представление цифрового двойника предприятия позволяет взаимодействовать с визуальными производственными элементами и обмениваться данными о работе в условиях эксплуатации предприятия. Цифровой двойник предприятия может обнаруживать аномалии в производственных процессах и достигать различных целей, таких как управление в реальном времени, аналитика, проверка работоспособности, предиктивное обслуживание, оптимизация управления процессом и анализ больших данных.

В рамках данного исследования предметом разработки являлся Центр учебных геологических практик ТПУ. Центр, входящий в состав Инженерной школы природных ресурсов, обеспечивает организацию и комплексное оснащение учебных геологических практик.

Целью разработки цифрового двойника Центра учебных геологических практик ТПУ является эффективное управление всеми объектами, находящимися на территории центра, планирование новых объектов, необходимых для проведения летней практики студентов, в том числе эксплуатации хозяйственных построек.

### *Методы и материалы*

Для разработки цифрового двойника Центра учебных геологических практик ТПУ была произведена аэрофотосъемка с целью получения ортофотоплана территории. Съёмка выполнялась с применением беспилотного воздушного судна (БВС DJI Phantom 4 Pro). Данный аппарат оснащен камерой с пространственным разрешением 20 мегапикселей на гиростабилизирующем трехосевом подвесе, что обеспечивает высокое качество съемки [1].

БВС Phantom 4 Pro обладает функциональностью автоматического распознавания объекта и его слежения, что позволяет квадрокоптеру постоянно удерживать объект в кадре, а также подстраивать свою скорость для более точной съемки [2].

Съемка производилась по заранее созданному полетному плану (рис. 1), для создания которого использовались веб-сайты fly.teofly.com и flylitchi.com.



Рис. 1. Полетный план, на flylitchi.com

По данному плану выполнялась съёмка, результат которой обрабатывался в специализированном программном обеспечении Agisoft Metashape Professional [3]. По окончании обработки был получен высоко качественный ортофотоплан местности (рис. 2).



Рис. 2. Ортофотоплан местности

Данный ортофотоплан местности Центра учебных геологических практик ТПУ служит основой для создания его цифрового двойника. Дальнейшая работа велась с применением геоинформационных систем (ГИС). Для реализации целей создания цифрового двойника было выбрано специализированное программное обеспечение MapInfo и QGIS.

Для создания цифровой модели местности на первоначальном этапе был разработан классификатор, который имеет следующие возможности:

- организация единых требований к структуре, классификации, оформлению и представлению геоданных;
- оперативный доступ к всему набору картографической информации предприятия;
- централизованное хранение цифровых карт и планов производственной инфраструктуры предприятия.

Классификатор имеет следующую структуру:

- общие пояснения и требования к формированию атрибутивных полей;
- общий план. Классификационные коды, признаки и структура атрибутивных таблиц объектов.

В программном обеспечении MapInfo были созданы слои, имеющие атрибутивную информацию (рис. 3).



MapInfo Pro - [Модули\_жилые Список]

Файл Правка Программы Объекты Запрос Таблица Настройки Список МИ-Сервис Окно Справка

Управление слоями

Дороги, проезды, ... 1 Карта

- Косметичес
- Дороги\_пр
- Коммуника
- Игровая\_зо
- Камеральн
- Коммуника
- Модули\_вс
- Модули\_жи
- Полигон
- Фундамент
- .1

Наименование	Инвентарный номер	Адрес	Размер	Внутренняя высота	Площадь_кв_м	Количество человек	Мебель
Модуль на 6 человек		5/7	3000x6000x2900	2500	18	2	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		5/6	3000x6000x2900	2500	18	1	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		5/5	3000x6000x2900	2500	18	2	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		5/4	3000x6000x2900	2500	18	2	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		5/3	3000x6000x2900	2500	18	1	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		5/2	3000x6000x2900	2500	18	1	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		5/1	3000x6000x2900	2500	18	2	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 4 человек		4/6	3000x8000	2200	24	2	дверь входная - 1 шт., окно - 2 шт., кровать - 4 шт. 2000x1 000 мм, стол - 2 шт., табурет
Модуль на 4 человек		4/5	3000x8000	2200	24	2	дверь входная - 1 шт., окно - 2 шт., кровать - 4 шт. 2000x1 000 мм, стол - 2 шт., табурет
Модуль на 4 человек	101010000074/001	4/4	3000x8000	2200	24	2	дверь входная - 1 шт., окно - 2 шт., кровать - 4 шт. 2000x1 000 мм, стол - 2 шт., табурет
Модуль на 4 человек		4/3	3000x8000	2200	24	2	дверь входная - 1 шт., окно - 2 шт., кровать - 4 шт. 2000x1 000 мм, стол - 2 шт., табурет
Модуль на 4 человек		4/2	3000x8000	2200	24	2	дверь входная - 1 шт., окно - 2 шт., кровать - 4 шт. 2000x1 000 мм, стол - 2 шт., табурет
Модуль на 4 человек		4/1	3000x8000	2200	24	1	кровать 2 шт
Модуль на 6 человек		3/8	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		3/7	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		3/6	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		3/5	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		3/4	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		3/3	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		3/2	3000x6000x2900	2500	18	1	кровать 1 шт
Модуль на 6 человек		2/6	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		2/5	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		2/4	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		2/3	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		2/2	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		2/1	3000x8000x2900	2500	24	8	кровать 8 шт
Модуль на 6 человек		1/6	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		1/5	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		1/4	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		1/3	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап
Модуль на 6 человек		1/2	3000x6000x2900	2500	18	6	Кровать 2-х ярусная - 3 шт., стол - 1 шт., табурет - 3 шт., стол-угловой - 1 шт., шкаф нап

1 слой выбран

записи 1 - 31 из 42

Рис. 3. Таблица атрибутов слоя «Жилые модули»

Были оцифрованы следующие объекты: игровая зона (футбольная и волейбольная площадки, камеральные помещения, линейные коммуникации ()), площадные коммуникации ()), вспомогательные модули, жилые модули, границы самого полигона и фундамент, оставшийся после пожара в 2015 году.

По завершению оцифровки слои были выгружены в ПО QGIS. В данном программном обеспечении были отредактированы созданные слои, а также дописана информация об объектах в соответствующие атрибутивные таблицы.

### Результаты

Результатом работы стала цифровая двойник Центра учебных геологических практик ТПУ (рис. 4).



Рис. 4. Цифровой двойник Центра учебных геологических практик ТПУ

Для каждого представленного объекта на цифровом двойнике заполнена необходимая информация в атрибутивной таблице (рис. 5).

Наименование	Инвентарный_номер	Адрес	Размер	Внутренняя_высота	Площадь	Мебель	Окна	Оборудование	Статус_объекта	Дата_изменения	ФИО
Камералка	1010020000107		6000x18000x2900	2500	108	Стол - 24 шт.: ...	6		Существующий	NULL	Гатина Н.В., Чи...
Камералка	101020000106		6000x18000x2900	2500	108	Стол - 24 шт.: ...	6		Существующий	NULL	Ананьев Ю.С., ...
Камералка	101020000104		6000x18000x2900	2500	108	Стол - 24 шт.: ...	6		Существующий	NULL	Шамина М...

Рис. 5. Отображение атрибутов выбранного объекта

### *Обсуждение*

Результат, полученный на данном этапе реализации проекта, соответствует заявленной цели. Данный цифровой двойник является простым в использовании и редактировании, что облегчает работу с ним. Главным элементом, отличающим данный цифровой двойник от подобных работ – это добавление горизонталей, для удобства проектирования новых объектов на полигоне.

### *Заключение*

Цифровой двойник предприятия может существовать на протяжении всего жизненного цикла и может использовать аспекты виртуальной среды (высокая точность, мультифизические возможности, внешние источники данных и т. д.), вычислительные методы (виртуальное тестирование, оптимизация, прогнозирование и т. д.), а также аспекты физической среды (динамика показателей производительности, отзывы клиентов, стоимость и т. д.) для улучшения элементов всей системы (конструкции, поведения, технологичности и т. д.) [4], [5].

Полученные результаты в ходе создания цифрового двойника Центра учебных геологических практик ТПУ не являются финальными. Программное обеспечение QGIS показало себя в качестве удобного инструмента для реализации рабочего цифрового двойника.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусева, Наталья Владимировна. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов при осуществлении муниципального земельного контроля на территории г. Томска / Н. В. Гусева, Л. Н. Чилингер, А. Г. Бирулина // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 4. – С. 334–50.

2. Бирулина, Анна Георгиевна. Беспилотные летательные аппараты: опыт применения технологий для мероприятий муниципального земельного контроля = Unmanned aerial vehicles: experience in applying technologies for municipal land control measures / А. Г. Бирулина, Л. Н. Чилингер // Инженерные системы и городское хозяйство материалы IV Региональной

научно-практической конференции – магистерские слушания, 21-25 марта 2022, Санкт-Петербург. – СПб: СПбГАСУ, 2022. – С. 139-142.

3. Гатина, Наталия Владимировна. Пути развития государственных геоинформационных систем для решения задач территориального управления в едином информационном пространстве / Н. В. Гатина, М. В. Козина // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса материалы национальной научно-практической конференции, Хабаровск, 15–17 Октября 2019: девятнадцатые научные чтения памяти профессора М. П. Даниловского: / Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ) . – Омск: Изд-во ТОГУ, 2019. – С. 295–299.

4. Гебрусова А.Е., Лянтин И.С., Мазия С.И., Федоренко Е.С. Применение ГИС-технологий для мониторинга подконтрольных объектов на базе ГИС // развитие современных технологий: теоретические и практические аспекты. Сборник статей II Международной научно-практической конференции. БУ ВО «Сургутский государственный университет» Петрозаводск: Изд-во Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Иванова И.И.), 2022. – С. 44–53.

5. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В., Марусева В.М., Кулемин В.Ю. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // вестник восточно-сибирской открытой академии. – 2019, №32. – С. 2.

© А. А. Копылов, Л. Н. Чилингер, Н. В. Гатина, 2024