

УДК 629.783+[528.48:621.24]

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-85-95

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СООТВЕТСТВИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛОЩАДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ПРОЕКТНЫМ РЕШЕНИЯМ

Даниил Валентинович Долгополов

АО «СпейсИнфо Геоматикс», 127490, Россия, г. Москва, ул. Декабристов, владение 51, кандидат технических наук, технический директор, тел. (905)714-13-77, e-mail: daniil.dolgoplov@gmail.com

В статье представлены результаты экспериментальных исследований применения материалов аэрофотосъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для трехмерного моделирования объектов трубопроводного транспорта и построения информационной модели «Как построено». Выполнен эксперимент по трехмерному моделированию объекта строительства на основе данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа, определена точность полученной модели. Целью исследования является разработка методики использования беспилотных летательных аппаратов для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о возможности использовании данных БПЛА для контроля отклонений от рабочей документации при выполнении строительно-монтажных работ (СМР) на объекте. Предложенное решение может быть применено в качестве методической основы для проведения контроля результатов строительства объектов трубопроводного транспорта проектным решениям в рамках проведения СМР.

Ключевые слова: 3D-модель, информационная модель, беспилотные авиационные системы, наземное лазерное сканирование, облако точек, объекты трубопроводного транспорта, пространственная точность, средняя квадратическая ошибка

Введение

В настоящее время в России ведется несколько масштабных проектов по строительству трубопроводных систем, а также в плановом порядке реализуются программы комплексной реконструкции объектов нефтегазового сектора. В рамках выполнения таких работ одной из ключевых задач является контроль отклонения от рабочей документации при выполнении строительно-монтажных работ.

Для анализа отклонений при СМР требуется построить цифровую модель объекта «Как построено», загрузить полученные данные в единое геоинформационное пространство с проектными данными и провести контроль соответствия цифровой модели проектным решениям. Для совместного анализа цифровых моделей, обнаружения отклонений и коллизий, полевые данные, полученные на этапе СМР должны соответствовать

точности рабочей документации. Например, при контроле результатов строительства с планом, выполненном в масштабе 1 : 500, средняя ошибка положения характерных точек объектов объекта строительства не должна превышать величину 0,2 м в соответствии с инструкцией по топографической съемке.

Как правило, для построения цифровых моделей «Как построено» используется технология наземного лазерного сканирования (НЛС) [1–3]. Разработка информационной модели «Как построено» производится на основании облака точек, полученного в процессе НЛС. В то же время процесс по созданию модели на основании облака точек достаточно трудоемкий, альтернативой может служить технология создания цифровых моделей с использованием беспилотных летательных аппаратов, при которой точность построенных 3D-моделей сопоставима с точностью моделей, построенных с использова-

нием технологии наземного лазерного сканирования [4, 5].

Вопросам использования технологий дистанционного зондирования и геоинформационного обеспечения строительства и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса уделяется большое внимание. Методологические и технологические основы дистанционных методов исследования объектов трубопроводного транспорта и формирования геопространства отражены в работах ведущих ученых: В. П. Савиных, В. Г. Бондура, А. П. Карпика, Д. В. Лисицкого, В. А. Мелкого, А. В. Комиссарова, Н. Н. Хренова [6–16] и др.

Особенности формирования геопространства по материалам съемки с использованием беспилотных летательных аппаратов рассмотрены в работах: Е. И. Аврунева, А. П. Гука, С. А. Кандичанского, А. С. Костюк, А. П. Михайлова, В. Н. Никитина, О. А. Опритовой, Т. А. Хлебниковой, А. Г. Чибуничева, Х. К. Ямбаева [17–25] и др.

Вместе с тем, вопросы практики использования беспилотных летательных аппаратов для контроля соответствия результатов строительства объектов трубопроводного транспорта проектным решениям недостаточно рассмотрены в отечественной научной литературе и на сегодняшний день являются актуальной научно-технической задачей.

Цель исследования – провести анализ возможности использования беспилотных летательных аппаратов для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям.

Объект исследования: площадка строительства объекта трубопроводного транспорта площадью 0,611 км², расположенная в Ленинградской области.

Предмет исследования: методика использования беспилотных летательных аппаратов при контроле соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям.

Теоретическая значимость исследования: представленная методика может быть использована при оценке пространственной точности трехмерных моделей объектов тру-

бопроводного транспорта, построенных методом фотограмметрии с использованием материалов БПЛА.

Практическая значимость исследования: рассматриваемая в работе методика может применяться для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям на разных стадиях строительства и реконструкции объектов трубопроводного транспорта.

Методы и материалы

В рамках исследования проведены работы по созданию трехмерной модели участка строительства площадного объекта трубопроводного транспорта, показаны возможности сравнения полученных результатов с материалами проектной документации, а также определены точностные характеристики полученной цифровой модели объекта строительства.

Аэрофотосъемка выполнялась с использованием БПЛА мультироторного типа DJI Phantom 4 Pro v2.0. Для определения координат опорных пунктов использовался двухчастотный, двухсистемный GNSS-приемник PrinCe i50.

Технические параметры используемого БПЛА:

- вес в сборе: 1 375 г;
- размер по диагонали без пропеллеров: 350 мм;
- максимальная высота полета над уровнем моря: 6 000 м;
- максимальное время полета: 30 мин;
- диапазон рабочих температур: от 0° до 40 °С;
- системы позиционирования: GPS/ГЛОНАСС;
- наличие модуля RTK.

БПЛА оснащен цифровой фотокамерой DJI FC 6310 с механическим затвором, фокусным расстоянием 8,8 мм и размером кадра 4 864 × 3 648 пикселей.

Управление БПЛА во время аэрофотосъемки выполнялось в автоматическом режиме с помощью автопилота Map Pilot for DJI. Параметры аэрофотосъемки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры аэрофотосъемки

Параметр	Значение
1. Высота съемки, м	59,1
2. Разрешение, см/пиксель	1,48
3. Площадь покрытия, км ²	0,611
4. Количество снимков, шт.	1 596

Для фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки использовалось программное обеспечение Agisoft Metashape pro (версия 1.5.3), далее – Agisoft Metashape [26].

Создание трехмерной модели эталонного полигона в Agisoft Metashape выполнялось в четыре этапа.

1. На первом этапе производится построение грубой модели объекта строительства. На этом этапе определяются общие точки на перекрывающихся снимках, а также производится расчет координат центров фотографирования и элементов взаимного ориентирования снимков. Схема позиций камеры и перекрытия снимков приводится на рис. 1.

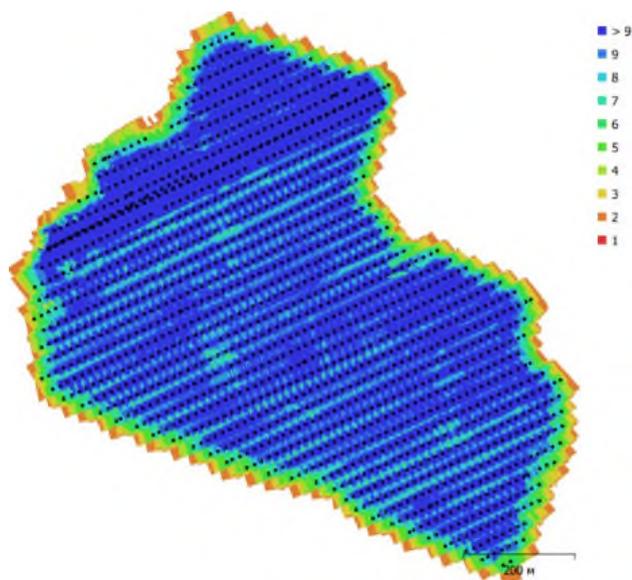


Рис. 1. Схема позиции камеры и перекрытия изображений

2. На втором этапе была произведена привязка полученной модели к внешней системе координат и уравнивание всех параметров системы, в том числе координат центров фотографирования и наземных опорных точек, углов ориентирования снимков, параметров оптической системы с использованием параметрического метода уравнивания. При уравнивании в качестве весовых коэффициентов использовали погрешности определения координат точек съемки (рис. 2).

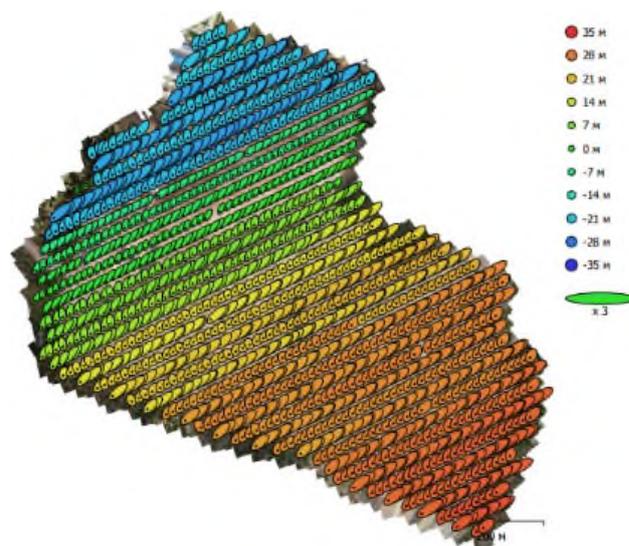


Рис. 2. Позиции съемки и оценка ошибок. Ошибка по Z отображается цветом эллипса. Ошибки в плане отображаются формой эллипса

3. На третьем этапе производилось построение полигональной модели объекта строительства на основе определенных на предыдущем этапе параметров (рис. 3). В программном обеспечении Agisoft Metashape реализован механизм, заключающийся в триангуляции только общих точек, полученных на первом этапе, и более точные способы обработки, заключающиеся в определении пространственного положения для каждого элемента изображения.

4. На заключительном этапе выполнены текстурирование полигональной модели, создание ортофотоплана и получена матрица высот (рис. 4–6).



Рис. 3. Полигональная модель объекта строительства, построенная по результатам съемки с использованием БПЛА



Рис. 4. Текстурированная полигональная модель объекта строительства



Рис. 5. Ортофотоплан площадки строительства площадочного объекта трубопроводного транспорта

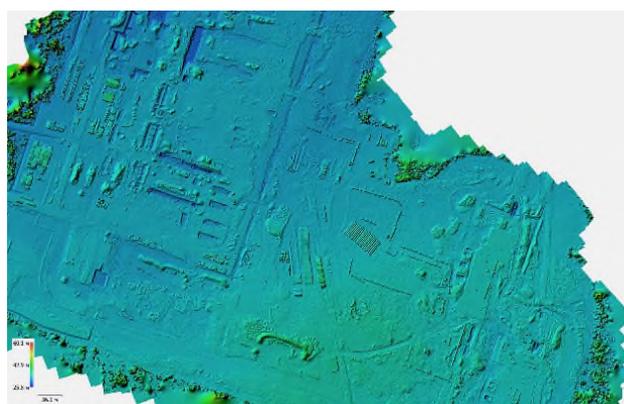


Рис. 6. Фрагмент матрицы высот объекта строительства

Оценка точности цифровой модели

Оценка точности фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки выполнялась по пунктам планово-высотного обоснова-

ния на втором этапе при уравнивании параметров системы.

Схема расположения пунктов съёмочного обоснования на территории площадки строительства приведена на рис. 7.



Рис. 7. Схема опорных знаков на территории площадки строительства

Определение координат пунктов планово-высотного обоснования выполнено в соответствии с требованиями инструкции по развитию съёмочного обоснования с применением глобальных навигационных спутниковых систем [27].

Точность построенной 3D-модели объекта строительства трубопроводного транспорта приведена в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 2, позволил сделать вывод о соответствии СКО определения планового положения характерных точек границ (координат пунктов планово-высотного обоснования эталонного полигона) требованиям точности топографической съёмки масштаба 1 : 500.

Таким образом, полученная модель полностью удовлетворяет требованиям, а представленная методика может быть использована для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям.

Таблица 2

СКО цифровой модели местности

Кол-во	Ошибка, X, см	Ошибка, Y, см	Ошибка, Z, см	Ошибка, XY, см	Общая ошибка, см
42	1,50	1,66	2,06	2,23	3,04

Анализ соответствия результатов строительства проектным решениям

Контроль соответствия результатов строительства проектным решениям производился путем сравнения пространственных данных проектной документации и цифровой модели в едином геоинформационном пространстве в программном обеспечении ПО Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 (рис. 8).

Наиболее существенные отклонения были выявлены при контроле высоты отсыпки площадки строительства проектным решениям, отклонения превышали в ряде случаев 1,5 м. Контроль соответствия уровня отсыпки проектным решениям – одна из наиболее важных задач при мониторинге строительства объектов трубопроводного транспорта, особенно в условиях избыточного увлажнения.

Контроль положения подъездных дорог не выявил отклонений (рис. 9).

Контроль соответствия размещения элементов свайного фундамента проектным решениям показал отклонение от проектных решений до 40 см и необходимость внесения изменений в рабочую документацию. На рис. 10 синим цветом обозначено проектное положение свай на ортофотоплане, наглядно видно расхождение их планового и фактического положений.

На основании полученных результатов сделано заключение о целесообразности использования беспилотных летательных аппаратов для формирования информационных моделей «Как построено», отображающих фактическое расположение и габариты смонтированных конструкций на объекте и контроля соответствия результатов строительства проектным решениям.

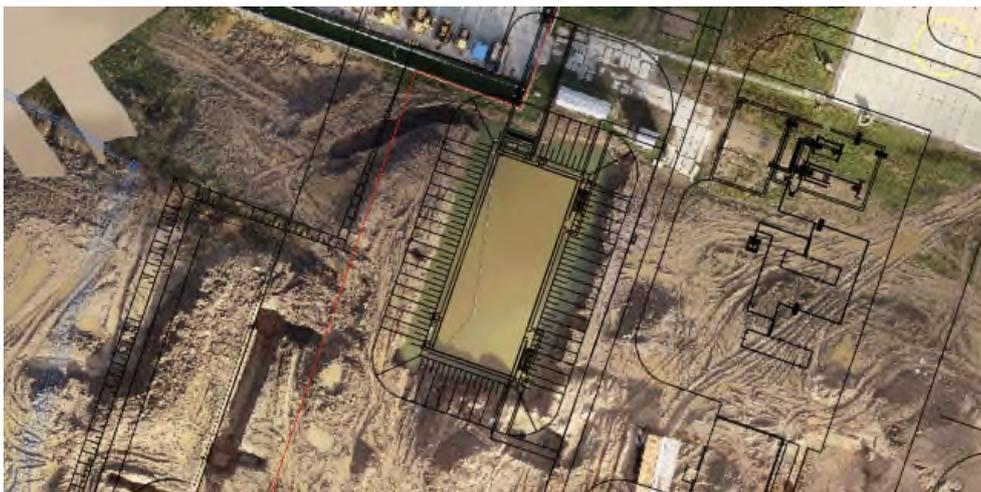


Рис. 8. Объединение проектных данных и данных аэрофотосъемки в едином геоинформационном пространстве



Рис. 9. Контроль положения подъездных дорог



Рис. 10. Контроль соответствия размещения элементов свайного фундамента проектным решениям

По результатам сравнения цифровых моделей «Как спроектировано» и «Как построено» необходимо сформировать перечень выявленных отклонений, на основании которого в дальнейшем произвести актуализацию модели «Как построено».

Заключение

В результате проведенного исследования были получены следующие результаты.

1. На основании работ, проведенных на тестовой площадке строительства, разработана методика использования беспилотных авиационных систем для контроля соответствия результатов на разной стадии строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям.

2. Оценка точности полученной трехмерной цифровой модели показала, что точность

ее параметров составляет соответственно 2 см в плане и 2 см по высоте.

3. Формирование методики мониторинга объектов строительства при выполнении СМР на основании данных, полученных с использованием БПЛА, является актуальным для ускорения процесса получения цифровой модели «Как построено» и может стать хорошей альтернативой построению цифровых моделей по данным наземного лазерного сканирования и технической документации.

4. Для повышения эффективности методики требуется проведение дальнейших исследований с использованием БПЛА, оснащенных камерой более высокого разрешения, с использованием беспилотных авиационных систем разных типов, а также с комплексным использованием БПЛА и технологии НЛС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевченко Г. Г., Гура Д. А., Акопян Г. Т. Применение наземного лазерного сканирования в строительстве и BIM технологиях // Научные труды КубГТУ. – 2018. – № 2. – С. 251–260.
2. Середович В. А., Комиссаров Д. В. Состояние, проблемы и перспективы применения технологии наземного лазерного сканирования // ГЕО-Сибирь-2005. Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 1, ч. 1. – С. 193–196.
3. Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование. – Новосибирск : СГГА, 2009.
4. Аврунев Е. И., Ямбаев Х. К., Опритова О. А., Чернов А. В., Гоголев Д. В. Оценка точности 3D-моделей, построенных с использованием беспилотных авиационных систем // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 211–228.
5. Вербная В. П., Хорошилов В. С., Комиссаров А. В. Оптимальный метод выбора лазерного сканера для различных видов инженерно-технических работ // Интерэкспо Гео-Сибирь-2015. Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (г. Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 204–208.
6. Аэрокосмический мониторинг нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса. Реальности и перспективы // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. академика В. Г. Бондура. – М., 2012. – С. 15–37.
7. Бондур В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 6. – С. 3–17.
8. Бондур В. Г., Воробьев В. Е. Технологии обработки аэрокосмических изображений при мониторинге объектов нефтегазовой отрасли // Материалы Международной научно-технической конференции «Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе». – М. : ООО «Издательство "Нефть и газ"», 2009. – С. 59–60.
9. Аврунев Е. И., Карпик А. П., Мелкий В. А. Принципы формирования единого геопространства территорий // Проблемы геологии и освоения недр : сборник трудов XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина : в 2 т. Т. 1. – 2019. – С. 428–429.
10. Лисицкий Д. В., Осипов А. Г., Савиных В. Н., Кичеев В. Г., Макаренко Н. Н. Геоинформационное пространство: реальный мир и дополненная реальность // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Между-

нар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геопространство в социогуманитарном дискурсе» : сб. материалов (г. Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 31–37.

11. Комиссаров А. В., Радченко Л. К. Геоинформационная модель мониторинга технического состояния трубопроводов нефтегазового комплекса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 44–48.

12. Корниенко С. Г., Хренов Н. Н., Василенко П. А. Развитие научных основ аэрокосмического мониторинга и обеспечения безопасности геотехнических объектов при освоении нефтегазовых месторождений Арктики и Субарктики // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. – 2013. – № 1 (7). – С. 15.

13. Хренов Н. Н. Оценка состояния газопровода на Ямале в период строительства // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 4. – С. 67–70.

14. Хренов Н. Н. Аэрокосмические методы в комплексе исследований по оценке технического состояния северных трубопроводов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 3. – С. 55–59.

15. Хренов Н. Н. Диагностика состояния газопроводных геотехнических систем на основе сочетания дистанционного зондирования и наземных методов // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 36–40.

16. Хренов Н. Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок : монография. – М. : Газоил пресс, 2003. – 352 с.

17. Горбачева А. А., Аврунев Е. И. Применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении комплексных кадастровых работ // Проблемы геологии и освоения недр : сборник трудов XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина в 2-х томах. Т. 1. – 2019. – С. 436–437.

18. Гук А. П., Шляхова М. М. Некоторые проблемы построения реалистических измерительных 3D-моделей по данным дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 51–60.

19. Кадничанский С. А. Обоснование допустимой высоты фотографирования при стереотопографической съемке рельефа // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 31–35.

20. Костюк А. С. Особенности аэрофотосъемки со сверхлегких беспилотных летательных аппаратов // Омский научный вестник. – 2011. – № 1 (104). – С. 236–240.

21. Костюк А. С. Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 4, ч. 1. – С. 83–87.

22. Михайлов А. П., Чибуничев А. Г. Фотограмметрия / Под общ. ред. А. Г. Чибуничева. – М. : МИИГАИК, 2016. – 292 с.

23. Никитин В. Н., Семенцов А. В. Опыт построения ортофотоплана по данным крупномасштабной аэрофотосъемки, выполненной с использованием неметрической цифровой камеры // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 12–17.

24. Хлебникова Т. А., Опритова О. А. Экспериментальные исследования построения и использования плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019. XV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 9 т. (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 2. – С. 213–220.

25. Хлебникова Т. А., Опритова О. А., Аубакирова С. М. Экспериментальные исследования точности построения фотограмметрической модели по материалам БПЛА // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 1. – С. 32–37.

26. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf.

27. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемки ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – М. : ЦНИИГАиК, 2002.

Получено 17.02.2020

© Д. В. Долгополов, 2020

POSSIBILITIES OF USING UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS TO CONTROL COMPLIANCE OF CONSTRUCTION RESULTS OF PIPELINE TRANSPORT FACILITIES WITH DESIGN SOLUTIONS

Daniil V. Dolgoplov

JSC SpaceInfo Geomatics, 51, Dekabristov St., Moscow, 127490, Russia, Ph. D., Technical Director, phone: (905)714-13-77, e-mail: daniil.dolgoplov@gmail.com

The article presents the results of experimental studies of the use of aerial photography materials using unmanned aviation systems for three-dimensional modeling of pipeline transport facilities and the construction of the information model "How Built." An experiment was performed on three-dimensional modeling of the construction object on the basis of data obtained with the help of unmanned aircraft systems, accuracy of the obtained model was determined. The aim of the study is to develop a methodology for using unmanned aviation systems to control compliance of the results of construction of pipeline transport facilities with design solutions. The results of the pilot studies show that it is possible to use these unmanned aircraft systems to monitor deviations from the working documentation during construction works on the site. The proposed solution can be used as a methodological basis for monitoring the results of construction of pipeline transport facilities by design solutions within the framework of construction works.

Keywords: 3D model, information model, unmanned aerial system, land laser scanning, point cloud, objects of a pipeline transport, accuracy spatial, mean square error

REFERENCES

1. Shevchenko, G. G., Gura, D. A., & Akopyan, G. T. (2018). Application of ground laser scanning in construction and bim technologies. *Nauchnye trudy KubGTU [Scientific Works of the Kuban State University]*, 2, 251–260 [in Russian].
2. Seredovich, V. A., & Komissarov, D. V. (2005). Status, problems and prospects of ground laser scanning technology. In *Sbornik materialov Geo-Sibir'-2005: T. 1, ch. 1 [Proceedings of GEO-Siberia-2005: Vol. 1, Part 1]* (pp. 193–196). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
3. Seredovich, V. A., Komissarov, A. V., Komissarov, D. V., & Shirokova, T. A. (2009). *Nazemnoe lazernoe skanirovanie [Terrestrial laser scanning]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 261 p. [in Russian].
4. Avrunev, E. I., Yambaev, Kh. K., Opritova, O. A., Chernov, A. V., & Gogolev, D. V. (2018). Accuracy evaluation of 3d models by using unmanned aerial system. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 211–228 [in Russian].
5. Verbnaya, V. P., Khoroshilov, V. S., & Komissarov, A. V. (2015). Optimal method of selecting a laser scanner for different types of engineering work. In *Sbornik materialov Interexpo Geo-Sibir'-2015: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 204–208). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
6. Bondur, V. G. (Ed.). (2012). Aerospace monitoring of oil and gas-bearing territories and objects of the oil and gas complex. Realities and perspectives. In *Aerokosmicheskiy monitoring ob'ektov neftegazovogo kompleksa [Aerospace Monitoring of Oil and Gas Facilities]* (pp. 15–37). Moscow [in Russian].
7. Bondur, V. G. (2010). Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas-bearing territories and objects of the oil and gas complex. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa [Earth Exploration from Space]*, 6, 3–17 [in Russian].
8. Bondur, V. G., & Vorobyev, V. E. (2009). Technologies for processing aerospace images for monitoring oil and gas facilities. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Aerokosmicheskiye tekhnologii v neftegazovom komplekse [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference: Aerospace Technologies in the Oil and Gas Industry]* (pp. 59–60). Moscow: LLC "Oil and Gas" Publ. [in Russian].
9. Avrunev, E. I., Karpik, A. P., & Melkiy, V. A. (2019). Principles of formation of the united geospatial territories. In *Sbornik trudov XXIII Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvyashchennogo 120-letiyu so dnya rozhdeniya akademika K. I. Satpaeva, 120-letiyu so dnya rozhdeniya professora K. V. Radugina: Problemy geologii i osvoeniya nedr [Proceedings of the 22th*

International Scientific Symposium of Students, Postgraduates and Young Scientists devoted to the 120th anniversary of Academician K. I. Satpaev and 120th anniversary of Professor K. V. Radugin: Problems of Geology and Subsurface Development] (pp. 428–429). Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publ. [in Russian].

10. Lisitskiy, D. V. Osipov, A. G. Savinykh, V. N. Kicheyev, V. G., & Makarenko, N. N. (2018). Geoinformation space: real world and augmented reality. In *Sbornik materialov Interekspo Geo-Sibir'-2018: T. 6. Geoinformatsionnoye prostranstvo: realnyy mir i dopolnennaya realnost [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia 2018: Vol. 6. Geo-Information Space: Real World and Augmented Reality]* (pp. 31–37). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

11. Komissarov, A. V., & Radchenko, L. K. (2014). Geoinformation model for monitoring the technical condition of oil and gas pipelines. In *Sbornik materialov Interekspo Geo-Sibir'-2014: T. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 44–48). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

12. Kornienko, S. G., Khrenov, N. N., & Vasilenko, P. A. (2013). Development of scientific bases of the aerospace geoecological monitoring and security of geotechnical objects at exploitation of oil and gas deposits of the arctic and subarctic region. *Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika [Georesources. Geoenergy. Geopolitics]*, 1, P. 15 [in Russian].

13. Khrenov, N. N. (2011). Assessment of Yamal pipeline during construction. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 67–70 [in Russian].

14. Khrenov, N. N. (2009). Aerospace methods in the complex of studies to assess the technical condition of Northern pipelines. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 3, 55–59 [in Russian].

15. Khrenov, N. N. (2009). Diagnostics of gas pipeline geotechnical systems based on a combination of remote sensing and ground-based methods. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 5, 36–40 [in Russian].

16. Khrenov, N. N. (2003). *Osnovy kompleksnoy diagnostiki severnykh truboprovodov. Aerokosmicheskie metody i obrabotka materialov s'emok [Fundamentals of complex diagnostics of Northern pipelines. Aerospace methods and processing of survey materials]*. Moscow: Gazoil Press Publ., 352 p. [in Russian].

17. Gorbacheva, A. A., & Avrunev, E. I. (2019). The use of unmanned aerial vehicles when performing complex cadastral works. In *Sbornik trudov XXIII Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvyashchennogo 120-letiyu so dnya rozhdeniya akademika K. I. Satpaeva, 120-letiyu so dnya rozhdeniya professora K. V. Radugina: Problemy geologii i osvoeniya nedr [Proceedings of the 22th International Scientific Symposium of Students, Postgraduates and Young Scientists devoted to the 120th anniversary of Academician K. I. Satpaev and 120th anniversary of Professor K. V. Radugin: Problems of Geology and Subsurface Development]* (pp. 436–437). Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publ. [in Russian].

18. Guk, A. P., & Shlyakhova, M. M. (2015). Several aspects of metric realistic 3D models creation remote sensing data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(32), 51–60 [in Russian].

19. Kadnichansky, S. (2013). Substantiation of permissible photographing height for stereo topographic survey. *Izvestiya vuzov. geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 3, 31–35 [in Russian].

20. Kostyuk, A. S. (2011). Features aerial photographs by ultra-light unmanned aerial vehicles. *Omskiy Nauchnyy Vestnik. Seriya Obshchestvo. Istoriya. Sovremennost' [Omsk Scientific Bulletin. Series Society. History. Modernity]*, 1(104), 236–240 [in Russian].

21. Kostyuk, A. S. (2010). Calculation of the parameters and evaluation of quality with UAV aerial photography. In *Sbornik materialov Geo-Sibir'-2010: T. 4, ch. 1 [Proceedings of GEO-Siberia 2010: Vol. 1, Part 1]* (pp. 83–87). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

22. Mikhaylov, A. P., & Chibunichev, A. G. (2016). *Fotogrammetriya [Remote sensing]*. Moscow: MIIGAiK Publ. [in Russian].

23. Nikitin, V. N., & Sementsov, A. V. (2013). Experience of orthophoto construction by large-scale aerial photographs taken with nonmetric digital camera. In *Sbornik materialov Interekspo Geo-Sibir'-2013: T. 1. Distantionnyye metody zondirovaniya zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geokologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia 2013: Vol. 1. Earth Remote Sensing and Photogrammetry, Environmental Monitoring and Geoenvironmental Ecology]* (pp. 12–17). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

24. Khlebnikova, T. A., & Opritova, O. A. (2019). Experimental studies of the dense digital model accuracy by using UAV. In *Sbornik materialov Interekspo Geo-Sibir'-2019: T. 4, no. 2 [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: Vol. 4, No. 2]* (pp. 213–220). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
25. Khlebnikova, T. A., Opritova, O. A., & Aubakirova, S. M. (2018). Experimental studies of photogrammetric model accuracy by UAV. In *Sbornik materialov Interekspo Geo-Sibir'-2018: T. 1, no. 4 [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia 2018: Vol. 1, No. 4]* (pp. 32–37). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
26. Agisoft Metashape Professional Edition. User Guide. (n. d.). Retrieved from https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf [in Russian].
27. *Instruksiya po razvitiyu s"emochnogo obosnovaniya i s"emki situatsii i rel'efa s primeneniem global'nykh navigatsionnykh sputnikovykh sistem GLONASS i GPS [Instructions for developing the survey justification and shooting the situation and terrain using global navigation satellite systems GLONASS and GPS]*. (2002). Moscow: CNIIGAiK Publ. [in Russian].

Received 17.02.2020

© D. V. Dolgoplov, 2020