

УДК 519.876.5:71(470.53)

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-160-168

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЙОНА ГОРОДА ПЕРМИ ПО ДАННЫМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Артем Сергеевич Зарипов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, магистрант, тел. (952)31-75-022, e-mail: artemiy790@yandex.ru

Целью работы было создание подробной цифровой модели Центрального планировочного района (ЦПР) города Перми. В качестве основного метода была использована аэрофотосъемка с беспилотного летательного аппарата. Уникальность работы заключается в комбинировании двух типов БПЛА в рамках одного проекта. Актуальность исследования обоснована комбинированным использованием двух типов БПЛА, что позволило отснять с высокой детальностью обширную территорию со сложными границами. Объект съемки представлял собой обширную по площади и сложную по структуре городскую территорию. Для повышения качества геопривязки итоговых данных съемка происходила с использованием опорных точек, расставленных на всей площади, покрываемой полетами. Результатом работы стал ортофотоплан с пространственным разрешением 2 см на пиксель, а также цифровая модель местности и объемная трехмерная модель с разрешением 11 и 3 см соответственно. Благодаря использованию опорных точек точность привязки, как плановая, так и высотная, составляет в среднем меньше 3 см и не превышает ни в одной точке 5 см. На геопортале ортофотоплан используется в качестве доступной подключаемой подробной крупномасштабной подложки, а трехмерная модель оптимизирована для просмотра в браузере и доступна для просмотра с любых ракурсов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, аэрофотосъемка, фотограмметрия, цифровая модель поверхности, ортофотоплан, градостроительное планирование.

Введение

В настоящее время происходит беспрецедентный рост популярности применения БПЛА для выполнения самых разных по своей направленности задач [1]. Однако большинство исследований по этой тематике проводятся на достаточно ограниченной по площади территории и только при помощи одного типа БПЛА, в то время как при съемке обширных объектов, таких как, например город, возникает целый ряд дополнительных проблем. Современный уровень развития аэрофотосъемочного оборудования позволяет выполнять достаточно масштабные по своему объему проекты, площадь съемки которых уже сейчас может достигать площади целого города. Обладая необходимым оборудованием для проведения как наземных геодезических, так и аэрофотосъемочных работ, становится возможным создать цифровую модель практически любого населенного пункта.

В данной статье подробно описана методика проведения аэрофотосъемочных работ на сложной и неоднородной территории населенного пункта с использованием опорных точек и двух типов БПЛА. Рассмотрено создание высокодетальной цифровой модели местности (ЦММ) центрального планировочного района города Перми [2].

Основой успешного выполнения работы является грамотное планирование схемы полетов над городом, комбинирование нескольких БПЛА в рамках одного проекта, а также обязательное использование высокоточных геодезических приемников для достижения корректной географической привязки результата в пространстве заданной системы координат.

Подобные проекты успешно реализуются в разных городах России, например, аналогичная работа была выполнена в 2016 г. для территории г. Новосибирска. Также БПЛА применялись для создания ортофотопланов и последующего проведения кадастровых

работ по материалам беспилотной аэрофото- съемки в г. Екатеринбурге [3] и территории учебно-научной базы Предуралья в Пермском крае [4]. Также существует успешный опыт использования БПЛА для трехмерного моделирования городской застройки [5]. В зарубежных странах работы по созданию ортофотопланов и трехмерных цифровых моделей городов выполняются регулярно. Особенности технологии рассмотрены в работах [6, 7] на примере городов Корпус Кристи в США и Куритиба в Бразилии.

Выбор типа БПЛА зависит от цели съемки, для которой он будет применен. Условно можно выделить два основных вида беспилотников: самолетный и коптерный, он же мультироторный. Первый используется для проведения аэрофотосъемки обширных по площади территорий, например, лесных массивов или сельскохозяйственных угодий. При помощи второго чаще снимаются компактно локализованные объекты и различные инженерные сооружения со сложной геометрией, которые необходимо облететь вокруг.

Целью работы было создание цифровой модели местности центральной части г. Перми и оценка ее применимости, характеристик, точности.

Для ее достижения были поставлены и решены следующие задачи:

- деление территории на участки для съемки;
- расстановка опорных точек;
- выполнение основных полетов;
- обработка данных;
- проведение дополнительных корректирующих съемок;
- оценка точности ЦММ на основе опорных точек;
- использование результатов работы для наполнения интернет-портала информационной системы обеспечения градостроительной деятельности города Перми.

Методы и материалы

Аэрофотосъемка происходила при помощи двух видов БПЛА – самолетного и мультироторного. Первый использовался для выполнения основных полетов, так как имеет куда большую скорость и полосу захвата, а второй применялся для дополнительной съемки отдельных участков территории, которые было невозможно правильно смоделировать на основе данных, полученных с БПЛА самолетного типа. Более подробно характеристики БПЛА приведены в таблице.

Характеристики БПЛА, используемых в проекте

Типа БПЛА	Фокусное расстояние камеры, мм	Высота полета, м	Скорость полета, км/ч	Ширина полосы охвата, м	Площадь съемки за один полет, м ²	Время в полете, минут
Самолет	70	290	70	До 800	600 000	35
Квадрокоптер	45	150	50	До 300	200 000	25

Первым этапом работ является изучение территории по данным космической съемки. Необходимо получить и установить точные границы территории, на которой планируется аэрофотосъемка. Для этого хорошо подходит открытое ПО SAS Planet, которое позволяет работать с векторными пространственными данными, подгружая растровые подложки из интернета. Затем следует этап разбиения всей снимаемой территории на участки, которые можно будет охватить за один полет на БПЛА. Исходя из общей площади объекта в

16 км², всего таких зон получилось 27, чтобы заснять весь ЦПР г. Перми (рис. 1).

Следующим шагом является расстановка на местности опорных точек – отмеченных либо ярко выраженных объектов на земной поверхности, координаты которых достоверно измерены при помощи высокоточного геодезического оборудования. Общее количество таких отметок зависит от площади снимаемой территории, которая в данном проекте равна 16 км², но достаточной считается плотность, равная 10 опорным точкам

на 1 км². В ходе данной работы при помощи геодезического GPS-ГЛОНАСС приемника марки Sokkia GRX 3 было установлено порядка 200 отметок на местности. Параметры

точности соответствуют 5 мм в плане и 10 мм по высоте. Планирование расстановки опорных точек, как правило, также проходит в ПО SAS Planet.



Рис. 1. Территория ЦПР г. Перми и выделенные зоны для проведения съемки

Далее производилась съемка территории с БПЛА. Так как ее площадь достаточно велика, рационально было применять БПЛА именно самолетного типа, которые имеют более высокую скорость полета и производительность съемки. Как уже было сказано выше, всего было выполнено 25 полетов, при этом 15 из них были при положении камеры строго в надир для фиксации общей ситуации, и еще 10 запусков были сделаны при положении камеры под углом в 30 градусов, для съемки не только крыш домов, но и фасадов зданий. Планирование полета проходило в специализированном программном обеспечении Mission Planner (рис. 2), где задаются и автоматически рассчитываются такие параметры, как высота полета, ширина полосы охвата, фокусное расстояние объектива камеры, требуемое пространственное разрешение.

Дополнительные съемки для уточнения ЦММ проходили при помощи дрона-мультикоптера, так как именно такая конструкция лучше всего подходит для съемки небольших по площади и протяженности участков. Аппарат может быть использован для получения снимков, пригодных для создания и обновления карт и планов местности, формирования ЦММ, 3D-моделей зданий и объектов, тепловизионных карт, проведения панорамной съемки, а также в интересах мониторинга развития чрезвычайных ситуаций (ЧС) [8]. В качестве съемочной аппаратуры использовались бытовые цифровые беззеркальные фотокамеры Sony RX 1 и Olympus Pen-E, которые получили широкое применение в фотограмметрии. По материалам аэросъемок такими камерами оперативно обновляются и создаются планы на локальные участки местности [9].



Рис. 2. Схема основных полетов БПЛА

Общее количество изображений, сделанных за период полевого этапа, составляет порядка 22 000 снимков, выполненных с продольным и поперечным перекрытием 76 и 77 % соответственно. После того, как были выполнены все запланированные вылеты, проходит предварительная обработка изображений. Она состоит из нескольких этапов:

- 1) цветовая коррекция изображений;
- 2) присвоение снимкам привязки в пространстве;
- 3) предварительная фотограмметрическая обработка;
- 4) выявление неточностей и проблемных участков на ЦММ;
- 5) фиксация их на картосхеме, по которой в дальнейшем будет осуществляться до съемка либо пересъемка территории.

Исходными данными, полученными в процессе аэрофотосъемки, являются фотографии и данные об их местоположении в момент спуска затвора камеры. Изображения были сохранены в формат RAW-файлов, которые используются при съемке сложных объектов, а также во время продолжительных полетов, так как условия освещения в процессе съемки меняются, что влияет и на качество изображений. Цветокоррекция была выполнена средствами ПО Adobe Lightroom.

Следующим этапом было присвоение снимкам пространственной привязки. Это является необходимым условием для того,

чтобы программы для фотограмметрической обработки смогли с ними работать. Процедура была вручную выполнена в той же программе, в которой происходило планирование полетного задания – Mission Planner. Таким образом была получена таблица, в которой напротив каждой записи с именем фотографии прописаны координаты в заданной системе координат, как правило, WGS-84.

Обработка данных проходила в программе Agisoft Metashape – это программное обеспечение для фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки, позволяющее создавать 3D-модели, ортофотопланы и ЦММ. У программного обеспечения нет ограничений на количество изображений, т. е. это зависит только от мощности компьютера [10]. Процесс работы с материалами аэрофотосъемки включал в себя следующие шаги.

1. Загрузка данных в проект.

На этом этапе были добавлены и упорядочены все исходные данные (фотографии и таблицы с информацией о привязке снимков и опорных точек).

2. Выравнивание.

После того как изображения были загружены в Metashape, необходимо определить положение и ориентацию камеры для каждого кадра и построить разреженное облако точек. Эти операции выполняются на этапе выравнивания.

3. Расстановка опорных точек.

Точки используются для выполнения более точной пространственной привязки готового ортофотоплана и ЦММ в заданной системе координат. Координаты опорных точек определены в городской системе координат г. Перми, в которой и были зафиксированы точки. Данная система координат – локальная, с центром в центральной части города и используется для проведения кадастровых и геодезических работ строго на территории г. Перми. Сама опорная точка представляет собой отмеченный либо характерный объект на земной поверхности, точные координаты которого зафиксированы при помощи высокоточного геодезического GPS-приемника.

4. Построение плотного облака точек.

Основываясь на рассчитанных положениях камер, были построены плотные облака точек, которые затем использовались для построения полигональной модели, карты высот или тайловой модели.

5. Построение карты высот.

Agisoft Metashape позволяет отображать модель поверхности в виде регулярной сетки значений высоты, то есть создавать карту высот (DSM).

6. Построение ортофотоплана.

Ортофотоплан строится на основании исходных снимков (что позволяет создавать результирующее изображение высокого разрешения) и реконструированной модели.

7. Построение тайловой модели.

Формат иерархических тайлов полезен при создании моделей объектов большой площади (например, городов), так как позволяет визуализировать большие 3D-модели с высоким разрешением и детализацией (рис. 3). Тайловая модель построена на основании плотного облака точек, а текстура – из исходных фотографий [11].

После завершения фотограмметрической обработки производился поиск артефактов, которые всегда возникают ввиду сложности городского ландшафта. Наиболее часто встречались ошибки, связанные со сложной геометрией зданий или с неправильным наложением текстуры на фасады домов. Исправить это можно, лишь совершив дополнительную съемку вокруг интересующего строения или целого квартала с помощью квадрокоптера. Затем полученные в процессе дополнительной съемки данные были совмещены с первоначальными.



Рис. 3. Приближенные фрагменты тайловой модели

Результаты

Результатом выполненной работы является ортофотоплан, трехмерная модель г. Перми и ЦММ с пространственным разрешением 2, 3 и 11 см на пиксель соответственно.

Первые два продукта интегрированы в качестве пространственных данных для web-приложения ИСОГД (информационной системы обеспечения градостроительной дея-

тельности) [12]. Ортофотоплан можно подключить в качестве крупномасштабной высокодетальной подложки (рис. 4), а тайловая модель отвечает за трехмерное отображение.

Благодаря использованию опорных точек удалось достигнуть высокого качества пространственной привязки итоговых данных. Точность, как плановая, так и высотная, составляет в среднем меньше 3 см и не превышает ни в одной опорной точке 5 см. В совокупности с ошибкой 5 см, которую может

давать используемый геодезический GPS-ГЛОНАСС-приемник при измерении координат, можно говорить о том, что ортофото-

план, так же, как и ЦММ, можно использовать при решении задач градостроительного планирования (рис. 5).



Рис. 4. Ортофотоплан ЦПР г. Перми



Рис. 5. ЦММ центральной части г. Перми

Оценка точности ЦМП выполнена по величине невязки между 193 опорными точками в программе Agisoft Metashape. Среднее значение ошибки составило 2,945 см, минимальное значение 1,874 см, максимальное – 4,857 см. В качестве контрольных точек использовались те, которые не применялись для привязки ортофотоплана и ЦММ. Всего таких было 10 штук, средняя ошибка относительно которых составляет 1,578 см, минимальное значение 0,823 см, максимальное – 3,995 см. Дальнейшая процедура наложения координат опорных точек на ортофотоплан также не показала расхождений между местоположением опорной точки на снимке и ее фактическими визуализированными координатами.

Обсуждение и заключение

Современный уровень развития аэрофотосъемочного оборудования позволяет выполнять достаточно масштабные по своему объему проекты для крупных населенных пунктов. В настоящей работе было рассмотрено создание высокодетальной ЦММ и трехмерной модели центральной части г. Перми, что подтверждает эффективность использования БПЛА в качестве альтернативы принятым методам наземных геодезических изысканий. Созданная ЦМП по своей геометрической точности и детальности является одной из лучших в России. Уникальность выполненного проекта заключается в следующих аспектах:

- методика комбинирования двух типов БПЛА при съемке сложной по своей структуре городской территории;
- масштабность проекта, который включал в себя съемку территории площадью 16 км²;
- использование опорных точек в количестве около 200 штук на всей площади съемки, что позволило создать топологически

корректную и геометрически точную модель пространства;

– интеграция данных с интернет-порталом информационной системы обеспечения градостроительной деятельности.

К недостаткам можно нести высокие временные затраты на проведение съемки и обработку данных, а также несовершенство самого алгоритма аэрофотосъемки, из-за чего могут возникать проблемы со съемкой сложных ландшафтов, некоторых зданий, строений, и сооружений по типу мостов, дамб и эстакад.

Применение аэрофотосъемки значительно расширяет привычные возможности для исследования пространства и получения информации о нем. Так, воздушное фотограмметрическое сканирование позволяет в сжатые сроки создавать объемные трехмерные реалистичные модели объектов реального мира достаточно высокого качества. Большой детальности можно добиться только при помощи лазерного сканирования, однако на сегодняшний день лидарная съемка менее доступна для массового использования по причине высокой стоимости. Весьма перспективным и все более активно применяемым на практике является совместное использование данных наземного и воздушного лазерного сканирования (локации) и цифровой аэрофотосъемки [13]. Такой подход особенно эффективен при обследовании объектов, включающих сложные инженерные сооружения, например, электрические подстанции [14].

Благодарности

Выражаем признательность администрации г. Перми за предоставленное право пользоваться воздушным пространством и финансирование проекта. Также благодарим компанию «FPV-Пермь» за содействие в проведении съемок и доступ к необходимому оборудованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Choudhary M. What are popular uses of drones? [Electronic resource]. – Geospatial World. – Mode of access: <https://www.geospatialworld.net/article/what-are-popular-uses-of-drones> (дата обращения 29.02.2020).

2. Генеральный план города Перми (2001–2020 гг.) [Электронный ресурс] : решение Пермской городской думы от 17.12.2010 № 205. – Доступ из справ.-правовой системы «ГАРАНТ».

3. Пация А. М. Анализ применения аэрофотосъемки с БПЛА для выполнения сплошного межевания населенных пунктов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.) – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 2. – С. 125–133.
4. Бузмаков С. А., Санников П. Ю., Андреев Д. Н. Подготовка и применение материалов аэрофотосъемки для изучения лесов // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук – 2016. – № 2. – С. 313–316.
5. Оприцова О. А. Исследование возможностей применения беспилотных авиационных систем для моделирования объектов недвижимости // Вестник СГУГИТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 248–257.
6. Corpus Christi, Texas Steps into 3D GeoDesign and Emerges a Winner / Mai Ward [Electronic resource]. – 2012. – Mode of access: <https://www.geoconnexion.com> (дата обращения 5.06.2020).
7. Luciene Stamato Delazari, Leonardo Ercolin Filho. Mapping a University Campus in Brazil – Creating Indoor and Outdoor Maps for a Routing Application [Electronic resource] // GIM International. – 2019. – Mode of access: <https://www.gim-international.com> (дата обращения 5.06.2020).
8. Барбасов В. К. Устройство и технические характеристики топографического БПЛА мультиторного типа // 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. 1–5.
9. Ессин А. С., Ессин С. С. Особенности фотограмметрической обработки материалов цифровой 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. 1, ч. 1. – С. 1–4.
10. Тихонов А. А., Акматов Д. Ж. Обзор программ для обработки данных аэрофотосъемки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 12. – С. 192–198.
11. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf (дата обращения 29.02.2020).
12. Градостроительный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
13. When Photogrammetry Meets Lidar: Towards the Airborne Hybrid Era [Electronic resource] / I. Toschi, F. Remondino, T. Hauck, K. Wenzel // GIM International. – Mode of access: <https://www.gim-international.com> (дата обращения 8.03.2020).
14. Медведев Е. М. Методы лазерной локации и цифровой аэрофотосъемки при выполнении инженерных изысканий // Экспозиция Нефть Газ. – 2010. – № 4. – С. 10–12.

Получено 15.04.2020

© А. С. Зарипов, 2020

CREATING A THREE-DIMENSIONAL DIGITAL SURFACE MODEL OF THE CENTRAL PLANNING DISTRICT OF PERM BASED ON AERIAL SURVEY DATA

Artem S. Zaripov

Perm State University, 15, Bukireva St., Perm, 614990, Russia, Master Student, phone: (952)31-75-022, e-mail: artemiy790@yandex.ru

The aim of the work was to create a detailed digital model of the Central Planning District (DPC) of Perm. Aerial photography from an unmanned aerial vehicle was used as the main method. The uniqueness of the work lies in the combination of two types of UAVs in one project. The relevance of the research is substantiated by combined use of two UAVs types, which made it possible to shoot vast territory with complex boundaries in high resolution. The subject was a vast urban area with a complex structure. To improve the quality of geo-referencing of the final data, the survey was carried out using reference signs placed over the entire area covered by flights. The result of the work was an orthomosaic with a spatial resolution of 2 cm per pixel, as well as a digital terrain model and a three-dimensional model with a resolution of 11 and 3 cm,

respectively. Thanks to the use of reference signs, the reference accuracy, both planned and high, is in average less than 3 cm and does not exceed 5 cm in any sign. On the geoportal, the orthophotomap is used as an accessible, connected, large-scale detailed substrate, and the three-dimensional model is optimized for viewing in a browser and viewable from any angle.

Key words: unmanned aerial vehicle, aerial photography, photogrammetry, digital surface model, orthophotomap, urban planning.

REFERENCES

1. Choudhary, M. (n. d.). What are popular uses of drones? // Geospatial World. Retrieved from <https://www.geospatialworld.net/article/what-are-popular-uses-of-drones> (accessed 02.29.2020) [in Russian].
2. Decision of the Perm City Council of December 17, 2010 No. 205. General plan of the city of Perm (2001–2020). Retrieved from Garant online database [in Russian].
3. Patia, A. M. (2018). Analysis of the use of aerial photography with UAVs to perform continuous surveying of settlements. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2018: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Ekonomicheskoe razvitiye Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2018: International Scientific Conference: Vol. 2. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management] (pp. 125–133). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
4. Buzmakov, S. A., Sannikov, P. Yu., & Andreev, D. N. (2016). Preparation and use of aerial photography materials for the study of forests. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2, 313–316 [in Russian].
5. Opritova, O. A. (2018). Study of the possibilities of using unmanned aircraft systems for modeling real estate objects. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 23(3), 248–257 [in Russian].
6. Corpus Christi, Texas Steps into 3D GeoDesign and Emerges a Winner. (2012). Retrieved from <https://www.geoconnexion.com> (дата обращения 5.06.2020).
7. Luciene Stamato Delazari, & Leonardo Ercolin Filho. (2019). Mapping a University Campus in Brazil – Creating Indoor and Outdoor Maps for a Routing Application. In *GIM International*. Retrieved from <https://www.gim-international.com> (дата обращения 05.06.2020).
8. Barbasov, V. K. (2013). The device and technical characteristics of the topographic UAV multirotor type. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Remote Sensing Methods of the Earth and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology] (pp. 1–5). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
9. Essin, A. S., & Essin, S. S. (2010). Features of the photogrammetric processing of digital aerial photography materials from UAVs. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2010: T. 1, ch. 1* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2010: Vol. 1, Part 1] (pp. 1–4). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
10. Tikhonov, A. A., & Akmatov, D. Zh. (2018). Overview of programs for processing aerial photography data. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin], 12, 192–198 [in Russian].
11. Agisoft Metashape Professional Edition User Guide, version 1.5. (n. d.). Retrieved from https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf (accessed 02.29.2020).
12. Federal Law of December 29, 2004 No. 190-FZ. Town Planning Code of the Russian Federation. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
13. Toschi, I., Remondino, F., Hauck, T., & Wenzel, K. (n. d.). When Photogrammetry Meets Lidar: Towards the Airborne Hybrid Era. In *GIM International*. Retrieved from <https://www.gim-international.com> (accessed March 8, 2020).
14. Medvedev, E. M. (2010). Methods of laser location and digital aerial photography during engineering surveys. *Ekspozitsiya Neft' Gaz* [Exposition Oil Gas], 4, 10–12 [in Russian].

Received 15.04.2020

© A. S. Zaripov, 2020