

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕРЕОМОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ КАДАСТРОВЫХ РАБОТ

К.А. Литвинцев^{1*}

¹ ФКП Росреестра, Москва, Россия

* federal@kadastr.ru

Цитирование: Литвинцев К.А. Применение стереомоделей местности для дешифрирования и определения координат характерных точек объектов недвижимости при проведении комплексных кадастровых работ // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 6. С. 655-662. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-6-655-662

Ключевые слова. стереомодель, технологии кадастровых работ, дешифрирование объектов, фотограмметрические работы, контроль точности.

Аннотация

Рассмотрены прикладные аспекты использования фотограмметрического метода определения координат объектов кадастрового учета посредством создания стереомоделей местности. Цель исследования – оценка преимуществ использования стереомоделей на основе предложенных технологических решений, расширяющих возможности фотограмметрического метода при производстве комплексных кадастровых работ. К полученным результатам исследования следует отнести обоснование целесообразности расширения технологических возможностей фотограмметрического метода сбора и обработки геопространственных данных в области кадастровой деятельности, методические рекомендации по организации производственной деятельности при реализации комплексных кадастровых работ и повышению качества пространственных данных, вносимых в государственный кадастр недвижимости. Приведены и обоснованы решения, позволяющие сократить вероятность появления ошибок при дешифрировании, за счет дополнительного использования ракурсов с надежным однозначным распознаванием характерных точек. В целях совершенствования технологии комплексных кадастровых работ определены значения расхождений координат, полученных фотограмметрическим методом, и контрольных измерений, а также типы «закрепления» характерных точек с расчетом для каждого из них наиболее вероятных средних квадратичных погрешностей (СКП) определения координат. Также в исследовании представлены рекомендации по использованию значений перекрытий снимков и критериям точности подготовки исходных ориентированных снимков для реализации комплексных кадастровых работ.

1 Введение

В России, по данным Росреестра, на 2021 г. не определены границы более 23 миллионов земельных участков (ЗУ), у значительного количества ранее учтенных объектов капитального строительства (ОКС) отсутствуют сведения о координатах контуров. Данные показатели свидетельствуют о необходимости дальнейшего развития системы учета сведений об объектах недвижимости, в том числе и за счет повышения эффективности кадастровой деятельности, совершенствования технологий и методического обеспечения их применения. Разработка и модернизация прикладных программ в рамках предложенного Росреестром механизма комплексных кадастровых работ способны обеспечить ускоренное получение уточненных сведений о ранее учтенных объектах, а использование фотограмметрических методов обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) решает задачу проведения кадастровых работ значительного территориального охвата.

Исследования вариантов применения результатов ДЗЗ подтверждают нецелесообразность использования результатов космической съемки для проведения комплексных кадастровых работ на застроенных территориях. Так, Ф. Ну и др. указывают в своем исследовании [1], что полученные стереоизображения со спутника Worldview-3 обеспечивают плановую точность около 2,16 м (mean error – средняя квадратичная погрешность) и 0,55 м (standard error – стандартное отклонение) [1]. Для Qwikbird L. Zhu и др. в исследовании [2] получены наилучшие пары результатов STDV (Dxy) 0,63, RMS (Dxy) 1,7 м. Также и российская спутниковая группировка «Ресурс-П» не дает необходимого результата, используемого для проведения кадастровых работ для застроенной территории [3], которые характеризуются средней квадратичной погрешностью¹ определения характерных точек объектов местности, равной 0,1 м.

Из сложившейся практики на относительно небольших территориях наиболее эффективно использовать результаты ДЗЗ с выполнением комплекса фотограмметрических работ с применением беспилотной авиационной системы (БАС). Одной из последующих задач для целей кадастра является четкая идентификация на снимках характерных точек объектов, подлежащих учету.

В данной связи перспективными являются методы создания стереомоделей территорий, которые, как отмечают Х.К. Ямбаев и др. в работе [4], позволяют обеспечить достаточное количество ракурсов и точек на вертикальных и наклонных элементах модели объекта для их уверенной идентификации, что гарантирует быстрый, недорогой, а главное, надежный способ дешифрирования характерных точек объектов местности.

Развитие направлений применения стереомоделей диктует необходимость использования результатов научных исследований, обобщающих практику их эксплуатации и формирующих оптимальные технологические наборы решений, обеспечивающие быстрый сбор, координирование объектов, анализа и управления данными [5].

Такие решения должны наилучшим образом учитывать доступные технологии и данные о территории для удовлетворения потребностей государственного кадастра недвижимости, в том числе для различных типов объектов учета (Toschi I. и др. в работе [6]), обобщения практик, методов и технологий проведения кадастровых работ. Анализ влияния количества стереопар, приведенный в работе [6], доказывает, что при использовании стереофотограмметрических построений всегда существует избыточность данных, что повышает надежность определения координат.

В этой связи одной из актуальных научных задач является методическое обеспечение наилучшего дешифрирования характерных точек объектов учета путем определения оптимальных решений по количественному набору (избыточности) пар снимков при проектировании комплексных кадастровых работ и их типизации.

2 Материалы и методы

Практическое исследование проведено по материалам беспилотной аэрофотосъемки. Аэрофотоснимки получены камерами SonyRX1 и RX1RM2 с размером проекции пикселя на местности 0,05 м с продольным и поперечным перекрытиями 60–70 %, что соответствует установленным требованиям.

¹ Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23.10.2020 № П/0393 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места».

Аэросъемочные работы проведены на территории 23 муниципальных образований Республики Башкортостан, г. Ижевска и Калининградской области. Общая площадь покрытия 677 279 аэроснимками составила 396 750 га, проведены 1 602 вычисления координат контрольных точек при фотограмметрической обработке снимков. При проведении работ использовался стереофотограмметрический комплекс, включающий стереомонитор поляризационного типа SM1 и цифровую фотограмметрическую систему PHOTOMOD.

Проанализированы сведения Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) о 416 земельных участках и 288 объектах капитального строительства. Для достижения наибольшей точности определения местоположения границ и контуров объектов проведены обследования и контрольные измерения с помощью геодезического оборудования.

В исследованиях проводился анализ превышения допустимых значений расхождений координат характерных точек объектов недвижимости, полученных при проведении комплексных кадастровых работ фотограмметрическим методом, и измерений по результатам геодезического контроля. Основными критериям оценки точности при использовании исходных аэроснимков и полученных результатов являлись:

- размер проекции пикселя на местности для аэрофотоснимков² – 0,05 м;
- размер средней квадратической погрешности определения координат характерных точек границ земельных участков¹ – 0,10 м.

Контроль точности включал следующие процессы:

- геодезические измерения и получение координат контрольных точек;
- стереофотограмметрические измерения и получение координат контрольных точек;
- сравнительный анализ полученных результатов.

Проведены исследования по установлению влияния значений продольных и поперечных перекрытий аэроснимков на количество ракурсов уникальной «точки», выполнена оценка технологической эффективности применения стереомоделей местности согласно типам характерных точек объектов недвижимости.

3 Результаты

Координаты характерных точек границ земельных участков и объектов капитального строительства в населенных пунктах в большинстве случаев вычисляются с использованием традиционных геодезических, спутниковых геодезических, комбинированных методов измерений. Внедрение в практику аэрофотосъемочных работ с помощью беспилотных воздушных систем и совершенствование нормативной базы в области кадастровой деятельности открывают возможности широкого использования фотограмметрического метода при проведении кадастровых работ для разных типов земель населенных пунктов и садоводческих объединений.

По итогу проведенных комплексных кадастровых работ контрольные измерения показали следующее расхождение (Рис. 1) в координатах, определенных по стереомодели местности и результатам геодезических измерений (эталонных).

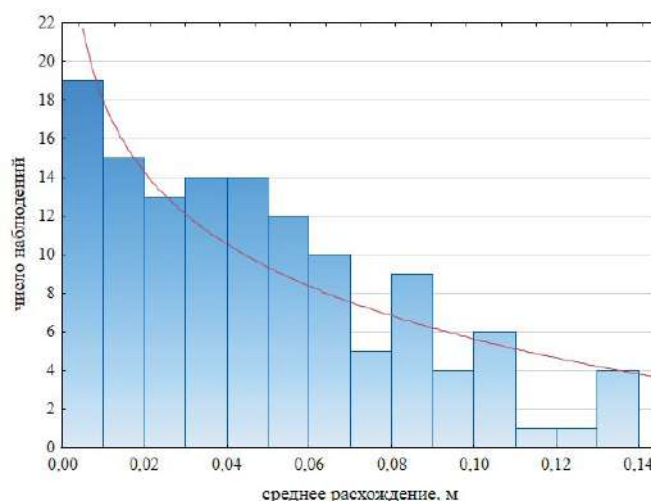


Рис. 1. График распределения значений расхождения координат, полученных фотограмметрическим методом и методом контрольных измерений

Геодезические определения координат контрольных точек выполнены методом спутниковых геодезических измерений (определений) и методом тахеометрической съемки. Первый метод измерения выполнен дифференциальным способом в статическом режиме.

Среднее значение расхождения составило 0,052 м, стандартное отклонение от среднего

² ГОСТ Р 588544-2020. Фотограмметрия. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомоделей застроенных территорий. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 мая 2020 г. N204-ст)

0,034 м. В соответствии с полученным теоретическим вероятностным распределением расхождений (Рис. 1) определено, что 82,35% расхождений находятся в пределах 0,086 м, соответственно 17,65% характерных точек превышало значение стандартного отклонения. Учитывая, что данные подготовлены в соответствии с нормативными требованиями², проблемой превышения значений расхождений с контрольными измерениями является их нечеткое дешифрирование.

Прикладные исследования показывают, что наилучшая технология по дешифрированию характерных точек объектов недвижимости, а значит и определению их координат, - это стереофотограмметрический метод, заключающийся в использовании нескольких стереопар аэрофотоснимков и создании по ним стереомоделей территорий. Следует отметить, что отличительной особенностью стереомоделей является тот факт, что характерная точка может изображаться с нескольких ракурсов. На практике стереомодели территории создаются из пар фотографий с различным соотношением продольного и поперечного перекрытий. При использовании фотограмметрического метода следует выделить ряд факторов, влияющих на качество идентификации характерных точек объектов кадастровых работ, что является значимым технологическим процессом в связи с отсутствием кадастрового инженера на местности:

- тип объекта недвижимости и условиями местности (например, распознавание бетонного ограждения надежнее, чем деревянного забора в высокой траве);

- качество изображения объекта недвижимости на аэрофотоснимках («смазанное» изображение на снимках, скрытие характерной точки под «завалом» стены дома и т.д. затрудняют измерения).

Поэтому оценка необходимой избыточности вариантов наблюдения характерной точки позволяет проводить измерения в наилучших условиях видимости (выбрать для измерения снимки без искажения изображения; для измерения точки под свесом крыши выбрать стереомодели с «открытым» фасадом и пр.).

Соответственно, вопрос обоснования избыточности снимков, в том числе, возможно, и одновременных, как указывают в работе [7] А.Г. Чибуничев, Н.Э. Жарова, при определении координат относится к вопросу изучения аналитического обобщения в виде методических рекомендаций. С учетом полученных величин (Рис. 1) в ходе проведенного исследования была сформулирована задача по использованию различных ракурсов дешифрируемой точки для ее четкой идентификации. В прикладном аспекте была предложена следующая последовательность фотограмметрического определения координат характерных точек:

- а) опознать характерную точку на всех стереопарах, на которые она попадает;

- б) выбрать наилучшие стереопары для наблюдений;

- в) определить координату характерной точки в двух стереопарах с наиболее уверенным опознаванием точки.

Если характерная точка – это угол ограждения или здания, и он четко не определяется по основанию, то нужно выполнить один из следующих вариантов:

- применить метод геометрических построений, заключающийся в проведении прямых линий по видимым участкам ограждения или здания с получением точки пересечения. Координаты точки пересечения будут являться координатами характерной точки земельного участка или объекта капитального строительства;

- выполнить измерения не по основанию, а на высоте четкого наблюдения (применимо, если угол ограждения выше уровня земли, здания просматривается уверенно);

- расхождение между координатами, полученными в двух стереопарах, не должно превышать² 0,1 м. Вычислить среднее значение координат характерной точки.

Согласно результатам выполненных работ (Таблица 1) при площадной аэрофотосъемке с продольным и поперечным перекрытием 60% (стандартные условия для пилотируемой аэрофотосъемки) установлено, что любая точка местности изображается на двух – пяти снимках. При увеличении продольного перекрытия до 70% количество снимков для каждой точки местности составило от 3 до 11. Теоретически это позволяет составить до 36–66 пар снимков. Из них практический интерес представляют пары, формирующие стереомодели с наиболее комфортным стереоэффектом. Как правило, это стереомодели, составленные из снимков одного и того же маршрута. Таковых насчитывается в среднем четыре при перекрытии 60/60% и шесть при перекрытии 70/60%. Цифровая аэрофотосъемка и создание стереофотограмметрической модели, параметры аэрофотосъемки приведены в Таблице 2. Характеристика пространственной фототриангуляции представлена в Таблице 3. Стереофотограмметрическим методом определены координаты всех контрольных точек. Как было предложено в работе, определения выполнялись двумя приемами с использованием РНОТОМОД6. На Рис. 2 представлены примеры контрольных точек различных типов (по материалам выполненных работ) – это и есть опознаки.

Согласно установленным нормам¹, создание стереомоделей производится с использованием ориентированных снимков, полученных со средней погрешностью в плане не более 0,06 м.

Таблица 1. Количество стереопар на одну точку в зависимости от значений перекрытия

Тип стереомоделей (по перекрытию аэрофотоснимков)	Количество стереопар, на которых изображается характерная точка	Количество стереопар с уверенным измерением характерной точки	СКП измерений, м
60/60 %	2–5 (в среднем 4)	1–3 (в среднем 2)	0,052
70/60 %	3–11 (в среднем 6)	2–5 (в среднем 3)	0,033

Таблица 2. Параметры аэрофотосъемки г. Ижевск

Технические характеристики	Значение технических характеристик
Летательные аппараты	Беспилотная воздушная система «Геоскан-201»
Высота аэрофотосъемки	300–350 м
Размер проекции пикселя на местности	5,0 см
Перекрытие продольное	70 %
Перекрытие поперечное	60 %
Цифровые фотокамеры	<i>Sony DSC-RX1, DSC-RX1RM2</i>
Фокусное расстояние	35 мм
Размер матрицы	5 304 x 7 952; 4 000 x 6 000 пикселей
Размер пикселя на местности	4,5; 5,0 см

Таблица 3. Характеристика пространственной фототриангуляции

Тип точек	Количество точек	Средние ошибки в плане, м	Максим. ошибки в плане, м	Количество точек	Максим. ошибки по высоте, м
Контрольные опознаки	27	0,03	0,04	27	0,2

Принимая отношение средней и средней квадратической погрешности³ равным 1,4 СКП, составит 0,084 м. Данное значение, в качестве критерия, было использовано в оценке качества проведенных фотограмметрических работ. После проведения стереофотограмметрических измерений между приемами, были вычислены расхождения положения контрольных точек. Среднее значение расхождения составило 0,0339 м (стандартное отклонение 0,018), причем уровень доверительного интервала для среднего значения, на уровне 95 % вероятности, составил 0,015.

Данные показатели свидетельствуют о целесообразности избыточности стереопар и эффективности предлагаемых решений за счет существенного снижения экстремальных значений ошибок, связанных с дешифрированием.

Установлено (Таблица 3), что избыточность снимков может быть принята на уровне 70/60 % перекрытия снимков, что позволяет уверенно получить минимум два ракурса одной характерной точки и сократить объемы аэросъемочных работ, например используемых в исследовании Shih-Hong Chio и др. [8].

³ ГКИНП - 02-033-79. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. М.: Недра, 1982. 159 с.



Рис. 2. Примеры абрисов контрольных точек различных типов

В целях совершенствования технологии комплексных кадастровых работ обращено внимание на распределение контрольных расхождений по типам «закрепления» характерных точек. По результатам группировки, проведенной по значениям средних значений расхождения, предложена следующая классификация типов характерных точек (рис. 3): угол здания одноэтажных строений, от 2 до 5 этажей, от 5 этажей и более, ограждение – металл и дерево, ограждение – бетон. Были получены средние ошибки в контрольных измерениях, которые составили от 2,42 до 5,09 см в зависимости от вида объекта (Рис. 3). Все они менее допустимых² 0,06 м, что позволяет уверенно рекомендовать данную методику для стереофотограмметрических определений координат характерных точек и дает возможность оптимизировать мероприятия по контролю выполняемых работ на производстве.

4 Обсуждение результатов

Предложенные технологические решения расширяют возможности применения фотограмметрического метода определения координат характерных точек границ и контуров объектов недвижимости. При этом обеспечивается точность плановых координат характерных точек, что характеризуется средней квадратичной погрешностью, которая не должна превышать 10 см. Несмотря на то, что данные вид работ целесообразно проводить для значительных территорий, следует согласиться, например, с выводами Shih-Hong Chio и др., проводящими подобные работы для городских территорий Тайваня [8]. Данная группа исследователей отмечает, что полученный анализ кадастрового

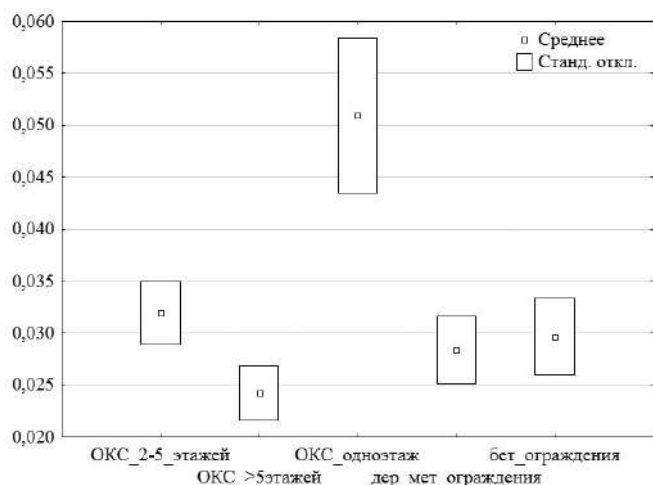


Рис. 3. Среднее значение контрольных расхождений для характерных точек разных типов, м.

состояния земель, очевидно, дает более полное представление о территориях и может иметь многофункциональное применение. Также выводы и материалы представленные в работе, возможно, использовать в дальнейших исследованиях нахождения оптимальных сочетаний перекрытия снимков в зависимости как от степени урбанизации территорий так и различных целей съемки.

Библиография

- Hu F., Gao X.M., Li G.Y., Li M. DEM Extraction from Worldview-3 Stereo-images and Accuracy Evaluation // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXIII ISPRS Congress. Vol.XLI-B1. Prague, 2016, P 327–332. DOI:10.5194/isprs-archives-XLI-B1-327-2016
- Zhu L., Umakawa H., Guan F., Tachibana K., Shimamura H. Accuracy Investigation of Orthoimages Obtained from High Resolution Satellite Stereo Pairs // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008, P. 1145–1148. URL: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/195.pdf
- Жарова Н.Э., Беленов А.В., Чибуничев А.Г. Автоматическое создание цифровой модели рельефа по материалам «случайной» стереосъемки группировки космических аппаратов типа «Ресурс-П» // Геодезия и картография. 2017. № 10. С. 50–57. DOI: 10.22389/0016-7126-2017-928-10-50-57
- Хлебникова Т.А., Ямбаев Х.К., Опригова О.А. Разработка технологической схемы сбора и обработки данных аэрофотосъемки с использованием беспилотных авиационных систем для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2020. № 1. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-106-118
- Chiappini S., Fini A., Malinverni E.S., Frontoni E., Racioppi G., Pierdicca R. Cost Effective Spherical Photogrammetry: a Novel Framework for the Smart Management of Complex Urban Environments // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XLIII-B4-2020, Nice, 2020, P. 441–448. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-441-2020
- Toschi I., Nocerino E., Remondino F., Revolti A., Soria G., Piffer S. Geospatial data processing for 3D city model generation, management and visualization // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XLII-1/W1, Hannover, 2017, P. 527–534. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-1-W1-527-2017
- Чибуничев А.Г., Жарова Н.Э. Анализ точности определения координат точек местности при использовании «случайных» стереопар космических снимков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка 2017. № 5. С. 79–86
- Cheng-Chu Chiang. Feasibility Study Using UAV Aerial Photogrammetry for a Boundary Verification Survey of a Digitalized Cadastral Area in an Urban City of Taiwan // Remote Sensing. 2020, 12(10). DOI: 10.3390/rs12101682

Литвинцев Константин Александрович
И.о. директора ФГБУ "ФКП Росреестра"

Поступила 17.09.2021. Рецензия получена 02.12.2021. Принята к публикации 20.12.2021

5 Выводы

Одним из основных результатов обработки снимков являются стереомодели – трехмерное высокоточное изображение местности, полученное по лучшим стереопарам, что увеличивает объективность результатов фотограмметрического метода определения координат.

Предложенная последовательность технологических операций позволяет на $\approx 17\%$ сократить вероятность появления ошибок при дешифрировании, за счет получения от двух до пяти ракурсов – с надежным однозначным распознаванием характерных точек.

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. При определении координат характерных точек объектов недвижимости перспективен фотограмметрический метод определения координат с избыточным условием использования стереопар (не менее двух), что позволит избежать эффекта «нечеткого» дешифрирования, повысить качество данных, вносимых в кадастр недвижимости.

2. Предложенные решения для стереофотограмметрического определения координат характерных точек объектов недвижимости и типизации характерных точек могут являться основой технико-экономического обоснования и проектирования комплексных кадастровых работ.

APPLICATION OF TERRAIN STEREOMODELS FOR DECODING AND DETERMINING THE COORDINATES OF CHARACTERISTIC POINTS FOR REAL ESTATE OBJECTS IN COMPLEX CADASTRAL WORKS

Konstantin A. Litvintsev^{1*}

¹ Federal Service for State Registrations, Cadastre and Cartography, Moscow, Russia

* federal@kadastr.ru

Citation: Litvintsev KA. Application of terrain stereomodels for decoding and determining the coordinates of characteristic points for real estate objects in complex cadastral works. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. Moscow. 2021;65(6): 655-662. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-6-655-662

Keywords. stereo model, cadastral work technologies, object decryption, photogrammetric work, accuracy control.

Summary. The article considers applied aspects of using a photogrammetric method of determining the coordinates of cadastral registration objects by way of creating terrain stereomodels. The purpose of the study is to evaluate the advantages of using stereo models based on the proposed technological solutions that expand the capabilities of the photogrammetric method in complex cadastral works. The obtained results of the study justify the expediency for expanding the technological capabilities of the photogrammetric method as for collecting and processing geospatial data in the field of cadastral activity, methodological recommendations to organize production activities while the implementation of complex cadastral works and improving the quality of spatial data included to the state real estate cadastre. The solutions suggested are justified to reduce the future possible errors while decoding, due to the additional use of angles with reliable unambiguous interpretation of characteristic points. In order to improve the technology of complex cadastral works, the study determines the values of coordinates discrepancy obtained by the photogrammetric method and control measurements, as well as the types of "fixing" characteristic points calculating the most probable mean square errors in coordinates. The research also provides recommendations on the value for overlaps of images and accuracy criteria to prepare initial oriented images in complex cadastral works.

References

1. Hu F, Gao XM, Li GY, Li M. DEM Extraction from Worldview-3 Stereo-images and Accuracy Evaluation. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXIII ISPRS Congress. Vol.XLI-B1. Prague, 2016, P 327–332. DOI:10.5194/isprs-archives-XLI-B1-327-2016
2. Zhu L, Umakawa H, Guan F, Tachibana K, Shimamura H. Accuracy Investigation of Orthoimages Obtained from High Resolution Satellite Stereo Pairs. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008, P. 1145–1148. URL: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/195.pdf
3. Zharova NE, Belenov AV, Chibunichev AG. Avtomaticheskoe sozdanie tsifrovoy modeli rel'efa po materialam «sluchainoi» stereos"emki gruppirovki kosmicheskikh apparatov tipa «Resurs-P» [Automatic creation of a digital elevation model based on materials from "random" stereo imagery of a constellation of "Resurs-P" type spacecraft]. *Geodesy and Cartography*. 2017;10: 50–57. DOI:10.22389/0016-7126-2017-928-10-50-57
4. Khlebnikova TA, Yambaev KhK, Opritova OA. Razrabotka tekhnologicheskoi skhemy sbora i obrabotki dannykh aerofotos"emki s ispol'zovaniem bespilotnykh aviatsionnykh sistem dlya modelirovaniya geoprostranstva [Development of a technological scheme for the collection and processing of aerophoto data using unmanned aerial systems for geospatial modeling]. *Vestnik SGUGiT*. 2020;1. DOI:10.33764/2411-1759-2020-25-1-106-118
5. Chiappini S, Fini A, Malinverni ES, Frontoni E, Racioppi G, Pierdicca R. Cost Effective Spherical Photogrammetry: a Novel Framework for the Smart Management of Complex Urban Environments. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XLIII-B4-2020, Nice, 2020, P. 441–448. DOI:10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-441-2020
6. Toschi I, Nocerino E, Remondino F, Revolti A, Soria G, Piffer S. Geospatial data processing for 3D city model generation, management and visualization. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XLII-1/W1, Hannover, 2017, P. 527–534. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-1-W1-527-2017
7. Zharova NE, Chibunichev AG. Analysis of the geo-positioning accuracy using stereo «FORTUITOUS» satellite image pairs. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2017;5: 79-86
8. Cheng-Chu Chiang. Feasibility Study Using UAV Aerial Photogrammetry for a Boundary Verification Survey of a Digitalized Cadastral Area in an Urban City of Taiwan // *Remote Sensing*. 2020, 12(10). DOI: 10.3390/rs12101682

Konstantin A. Litvintsev

Acting director of Federal Service for State Registrations, Cadastre and Cartography, Moscow, Russia

Received 2021.17.09. Revised 2021.12.02. Accepted 2021.12.20