

Применение наземной стереофотограмметрической съемки при технической инвентаризации объектов недвижимости

А. А. Федоровский^{1}, Л. В. Быков¹*

¹ Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, г. Омск,
Российская Федерация

* e-mail: Fedorovski26@yandex.ru

Аннотация. Существующая методика полевых обмерных работ при технической инвентаризации объектов недвижимости не обеспечивает наглядности исходных материалов, и допускает ряд методических погрешностей. Свободна от этих недостатков технология наземной стереосъемки с одновременным определением координат точек фотографирования. Съемку объектов недвижимости и ситуации в местах поворота границ земельных участков следует выполнять с учетом формирования элементарных фотограмметрических построений, состоящих из 3-х, 4-х, или 6-ти снимков с неколлинеарным расположением точек фотографирования. Расчет минимальных базисов фотографирования необходимо производить с учетом допустимых погрешностей обмерных работ. Исследование элементарных фотограмметрических построений показывает, что все представленные варианты – равноточные. Съемка из 4-х или 6-ти точек более информативна за счет изменения ракурса. В результате формируется 3D модель местности, позволяющая с высокой точностью определять все геометрические характеристики объектов недвижимости. Примеры съемки показывают принципиальную возможность получать по модели необходимую информацию как в 3D, так и в 2D формате. Внедрение методики наземной стереосъемки в практику работ по технической инвентаризации объектов недвижимости позволит реально продвинуться в деле создания 3D кадастра.

Ключевые слова: техническая инвентаризация, наземная стереосъемка, сценарии съемки, фотограмметрический триплет, 3D модель, базис фотографирования, 3D кадастр

Application of ground-based stereophotogrammetric survey in the technical inventory of real estate objects

A. A. Fedorovskiy^{1}, L. V. Bykov¹*

¹ P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russian Federation

* e-mail: Fedorovski26@yandex.ru

Abstract. The general methods of land survey for the purposes of technical inventory of real estate units don't allow creating visual materials and forms of real estate objects elements that can have some errors. The new method of land survey with the stereo photography and GNSS coordinating of station is free of this weaknesses. The land surveys of object must be made with photogrammetric constructs, which consist of 3, 4 or 6 snapshots. Stations must have noncollinear position. Minimal base lines must be calculated according to acceptable errors of buildings measurements. The research shows that all photogrammetric constructs are of equal accuracy. The photographing with 4 or 6 stations is more informative because of different lines of sight. The result of this surveys is a 3D model. Measurements of forms of real estate objects elements with 3D models have high accuracy. The survey examples of different objects shows high accuracy results of 2D and 3D measurements, which are made with 3D model. The implementation of the method of land survey with the stereo photography for the purposes of technical inventory of real estate objects makes real progress in the creation of 3D cadaster.

Keywords: technical inventory, terrestrial photogrammetry, shooting scenarios, photogrammetric triplet, 3D model, photography basis, 3D cadaster

Введение

В практике кадастровых работ особой трудоемкостью отличаются полевые работы при технической инвентаризации объектов недвижимости.

Техническая инвентаризация включает в себя комплекс работ по межеванию границ земельных участков, обмеру наружной части и интерьеров строений. В результате составляются кадастровые и технические паспорта объектов недвижимости. Часть работ по съемке границ земельных участков удастся автоматизировать с помощью методов дистанционного зондирования [1]. Составление технических планов строений исключает такую возможность, поскольку связано с необходимостью детальных обмеров наружной части и интерьеров зданий. Поэтому, комплексные работы по технической инвентаризации объектов недвижимости приходится выполнять полевыми методами.

Постановка проблемы

Съемку границ объектов недвижимости выполняют с помощью приемников глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), электронных тахеометров или их сочетанием. Для детальных обмеров строений применяют главным образом «электронные рулетки» – портативные лазерные дальномеры. При всей простоте, доступности и достаточно высокой производительности такая технология имеет ряд существенных недостатков. Бесконтрольность линейных измерений, недостаточная наглядность построений и методические погрешности, связанные с предположением о прямолинейности стен и прямоугольности углов строения, – все это приводит к ошибкам при оформлении документов на объекты недвижимости. Устранить перечисленные недостатки можно на основе методов наземной стереосъемки (НСС).

Современные технологии НСС основаны на использовании цифровых фотокамер и приемников ГНСС, которые служат для определения координат центров фотографирования [2–5]. Съемка, выполненная с обеспечением перекрытия снимков и с соблюдением условий, необходимых для автоматической идентификации точек на смежных снимках, позволяет строить растровые трехмерные (3D) модели фотографируемых объектов. НСС широко применяется при съемке архитектурных сооружений, промышленных установок, археологических памятников, при дорожном строительстве. Имеются перспективы использования НСС и при выполнении кадастровых работ. Совершенствование методики технической инвентаризации объектов недвижимости с учетом применения НСС представляется актуальным.

Целью работы является адаптация современных методик НСС к задачам создания кадастровых и технических паспортов объектов недвижимости. Для достижения цели необходимо решить задачи совершенствования съемки границ земельных участков, детальной съемки фасадов и интерьеров строений.

Новизна подхода заключается в сочетании различных технологий НСС для съемки границ земельных участков, фасадов и интерьеров строений при комплексных работах по их технической инвентаризации.

Особенности наземной стереофотограмметрической съемки

Рассмотрим задачи по съемке границ земельных участков и фасадов строений. Для этих целей используется комплекс для НСС, представленный на рис. 1.



Рис. 1. Переносной комплекс для НСС

Главным достоинством современной съемки является принципиальная возможность выполнения ее без предварительного создания съемочного обоснования. При этом необходимо соблюдение определенных геометрических ограничений, которые закономерно вытекают из условий стереофотограмметрических построений [6]. Фотографирование объекта должно быть выполнено из разных точек пространства, а перекрытие снимков и элементы ориентирования снимков должны обеспечивать возможность автоматической идентификации связующих точек на снимках. Известные сценарии съемки [7] предлагается дополнить фотограмметрическими триплетами, построенными по следующим правилам: средний снимок триплета смещается относительно линии базиса крайних снимков в плане или по высоте на величины, обеспечивающие корректное построение геометрической модели (рис. 2).

По результатам наших предварительных исследований плановые смещения точек фотографирования должны достигать 16 % от расстояния до объекта съемки, а высотные – 7 % [8]. Триплеты удобно использовать при съемке угловых точек границ земельных участков, поскольку они часто застроены или захламлены, и не всегда доступны для непосредственных измерений. Съемка с разных сторон обеспечивает однозначную идентификацию поворотных точек и облегчает согласование границ. Рассмотрим результаты такой съемки (рис. 3).

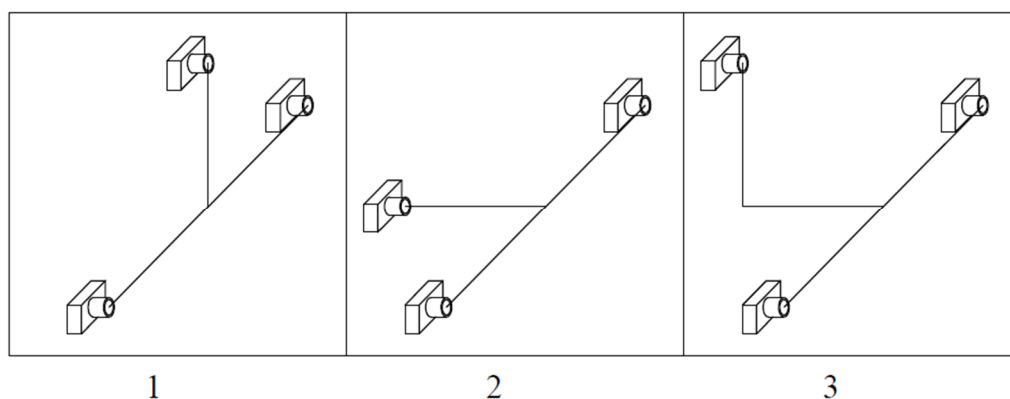


Рис. 2. Варианты съемки элементов объектов недвижимости триплетами:

1 – с высотным смещением; 2 – с плановым смещением; 3 – с планово-высотным смещением



1



2



3



4

Рис. 3 Трехмерные модели фрагментов ситуации на поворотных точках границ земельного участка:

1 – свободный от застройки угол; 2, 3, 4 – застроенные углы

На моделях, построенных в местах поворота границы земельного участка, читаются все детали ситуации, распознаются поворотные точки, обеспечивается высокая точность определения их координат.

Съемка триплетами имеет определенные преимущества перед сплошной съемкой, поскольку позволяет упростить выполнение основных геометрических условий, связанных с выдерживанием перекрытий, обеспечением допустимых взаимных углов поворота, контроля целостности всего построения. По расхож-

дениям координат общих точек, полученных из разных триплетов, возможен контроль точности съемки.

Расчет минимального базиса фотографирования

При съемке объектов, расположенных на небольших расстояниях от съемочной системы, необходимо иметь представление о минимальном значении базиса, обеспечивающего формирование 3D модели местности с необходимой точностью. Для расчета базиса целесообразно использовать подход, изложенный в фотограмметрической литературе [9].

$$B_{min} = \frac{m_p \cdot Y^2}{f \cdot m_Y}, \quad (1)$$

где B_{min} – минимальное значение базиса фотографирования,

m_p – погрешность измерения параллаксов на снимках,

Y – расстояние от базиса до объекта съемки

f – фокусное расстояние объектива фотоаппарата,

m_Y – допустимая погрешность определения координат точек на местности.

Современные рекомендации, распространенные в сети Интернет, основаны на выборе базисов, обеспечивающих благоприятные условия для получения стереоэффекта, но они не связаны с соблюдением определенных требований к точности построений [10]

$$B_{min} = 0,03 \cdot Y. \quad (2)$$

На рис. 4 показаны результаты расчетов базисов, выполненные для погрешностей планового положения точек модели, не превышающих 0,01 м по формулам (1) и расчеты по формулам (2).



Рис. 4. Расчет минимального базиса при стереофотограмметрической съемке

По верхней кривой легко определить значение базиса с учетом необходимой точности съемки. Нижняя кривая показывает, что современные рекомендации могут быть использованы для создания 3D моделей объектов, но без гарантии определенной точности их построения.

Анализ элементарных фотограмметрических построений

Построение триплетов с неколлинеарным расположением центров фотографирования продиктовано геометрическими условиями построения модели местности. При этом изображение на снимке, смещенном по высоте, используется не полностью, а лишь в пределах перекрытия с другими снимками. Дополнительные детали объекта, полученные за счет изменения ракурса, не могут быть использованы, поскольку не обеспечены перекрывающимися снимками. Для достижения большей информативности 3D моделей объектов целесообразно построить сеть из четырех или из шести снимков, которые позволяют существенно дополнить трехмерный образ объекта (рис.5).

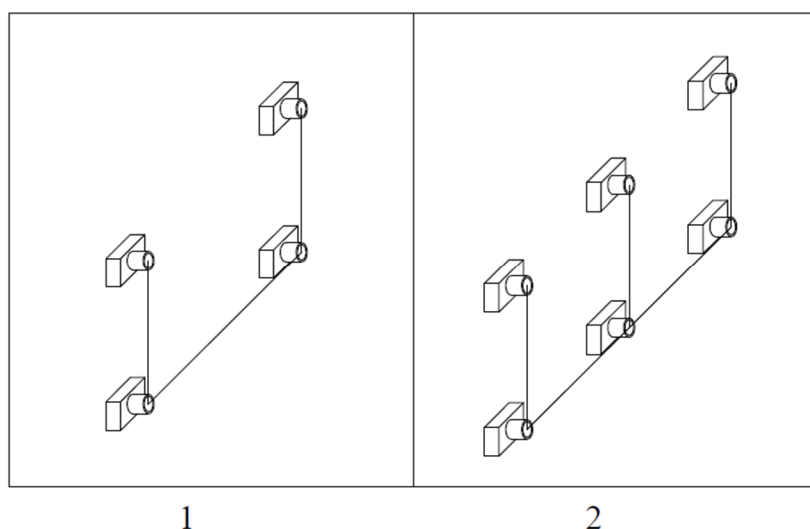


Рис.5. Схемы съемки с использованием разных высот фотографирования
1 – сеть из четырех снимков; 2 – сеть из шести снимков

Сравнительная характеристика точности построения триплетов и комбинации из четырех и шести снимков получена методом математического моделирования. В качестве объекта съемки использован макет плоского фасада строения, на котором задано 15 контрольных точек. Макетные снимки рассчитаны при условии, что расстояние до объекта составляло 10 м, величина базиса фотографирования – 2 м, смещения снимков по высоте составляли 1 м. Исходными данными являются координаты центров фотографирования и координаты контрольных точек на снимках. В процессе моделирования в исходные данные вводились случайные ошибки, соответствующие их реальной точности. Ошибка положения центров фотографирования составляла 0,02 м, а погрешность измерения координат точек снимка – половину пикселя – 0,003 мм. Оценка точности построения

производилась по расхождениям заданных и вычисленных координат контрольных точек на местности. Построение фотограмметрической модели выполнялось по способу связок. Результаты оценки точности представлены в таблице.

Таблица

Погрешности определения координат точек в элементарных фотограмметрических построениях

Вариант построения	Погрешности координат контрольных точек (м)		
	m_x	m_y	m_z
3 снимка	0,009	0,016	0,017
4 снимка	0,010	0,019	0,012
6 снимков	0,005	0,009	0,008

Из таблицы следует, что погрешности представленных элементарных построений примерно одного порядка. Более высокая точность сети, состоящей из 6 снимков, объясняется существенным избытком исходных данных – координат центров фотографирования.

Необходимо учесть, что при обработке реальных снимков, полученных по предлагаемым схемам, необходимо использовать результаты лабораторной калибровки съемочной системы [5].

Преимущества моделей, построенных по четырем и шести снимкам, заключаются в более полном описании объекта за счет изменения ракурса съемки.

Съемка жилого строения методом наземной стереосъемки

Съемка жилого строения выполнена в соответствии с известными сценариями [7]. На рис. 6 продемонстрирован результат построения 3D модели жилого строения, схема съемки приведена на рис. 7.



Рис. 6. 3D модель жилого строения

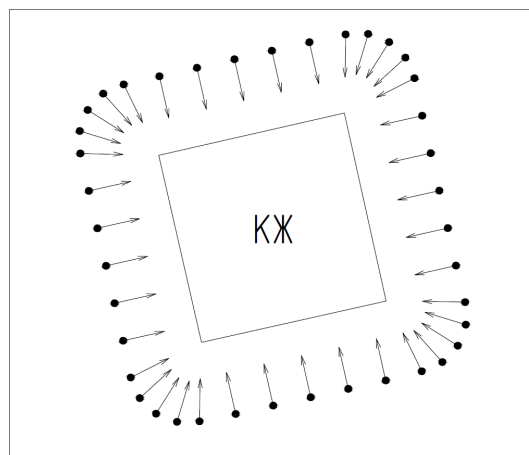


Рис. 7. Схема съемки жилого строения

Недостаток такой схемы съемки очевиден. Не удалось захватить объект полностью. Часть крыши оказалась вне поля изображения фотоаппарата. Нередки случаи, когда часть фасадов недоступна для фотографирования или определения координат центров фотографирования из-за растительности. Такие ситуации часто возникают при съемке в стесненных условиях городской застройки или садовых участков.

Учитывая сравнительную простоту большинства строений на садовых участках, можно рекомендовать выполнение съемки с разных высот с последующим построением элементарных фотограмметрических звеньев из трех, четырех, шести, или большего количества снимков, создаваемых независимо по каждому фасаду строения.

Современные технологии НСС гармонично вписывается в существующую методику создания технических паспортов объектов недвижимости, реализуемую в 2D формате. Современное программное обеспечение позволяет эффективно работать с плотной моделью. На рис. 8 показано как в среде AutoCAD с помощью плагина Leica CloudWorx строится сечение облака точек на заданной высоте, и выполняется 2D векторизация внешнего контура здания со всеми деталями, обозначением оконных и дверных проемов.

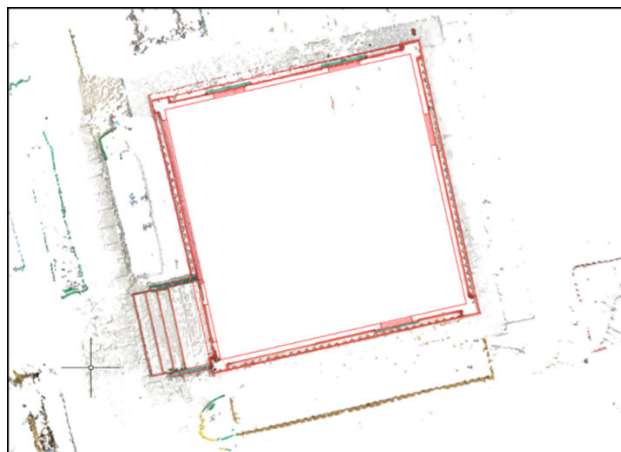


Рис. 8 Построение чертежа внешнего контура здания по плотной модели

Выводы

При необходимости выполнения полевых работ по технической инвентаризации объектов недвижимости имеет смысл пользоваться НСС в сочетании с ГНСС. Исследования данной методики позволили установить:

1. Методика НСС с определением координат центров фотографирования вписывается в методику комплексных работ по технической инвентаризации объектов недвижимости;
2. Положительным результатом ее использования является создание высокоточных 3D моделей строений и местности, позволяющих точно установить поворотные точки границ земельных участков;
3. Для упрощения учета геометрических условий при съемке, целесообразно использовать элементарные фотограмметрические построения в виде триплетов, а также построений из четырех или шести снимков с неколлинеарным расположением точек фотографирования;
4. Съемку с последующим созданием элементарных фотограмметрических построений целесообразно использовать при моделировании жилых строений простой архитектуры в стесненных условиях городской застройки или садовых участков;
5. Внедрение методики НСС в практику работ по технической инвентаризации объектов недвижимости позволит реально продвинуться в деле создания 3D кадастра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алябьева А.Д., Кобзева Е.А., Струнина Е.Н. Опыт использования стереофотограмметрического метода при комплексных кадастровых работах В сборнике: Актуальные вопросы землепользования и управления недвижимостью. Сборник статей II Национальной научно-практической конференции. Отв. редактор Е.А. Акулова. – 2020. – С. 97-104.
2. Michael A. Magsig, J. G. LaDue, E. N. Rasmussen, and J. M. Straka. GPS-Based Stereo Photogrammetry in VORTEX2// Poster session P6.3 of the 25th Conference on Severe Local Storms. Электронный ресурс: <https://ams.confex.com/ams/25SLS/webprogram/Paper176196.html>
3. Forlani G., Pinto L., Roncella R., Pagliariet D. Terrestrial photogrammetry without ground control points// Earth Sci Inform. 2014. №7. P. 71–81. DOI: 10.1007/s12145-013-0127-1
4. SOUTH Insight V1. Specifications// SOUTH SURVEYING & MAPPING TECHNOLOGY CO., LTD. Электронный ресурс: <https://southinstrument.com/uploads/file/2019-12-16/5df7201291d4d.pdf>
5. Быков Л.В., Федоровский А.А., Быков В.Л. Экспериментальные исследования методики построения трехмерных моделей местности способом наземной стереосъемки с одновременным определением координат центров фотографирования// Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сб. ст. по итогам научно-технической конференции. 2019. – № 10–1. – С. 69–72.
6. Назаров, А.С. Фотограмметрия: учеб. пособие для студентов вузов / А.С. Назаров. – М.: ТетраСистемс, 2010. – 399 с.
7. Руководство пользователя Agisoft Metashape: Professional Edition, версия 1.5// Agisoft LLC. – 2019. Электронный ресурс: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf

8. Быков Л.В., Федоровский А.А., Быков В.Л. Исследование точности элементарных фотограмметрических построений при наземной стереофотограмметрической съемке с одновременным определением координат центров фотографирования// Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 2. С. 194–199. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-2-194-199.

9. Краснощекова И.А. Фотограмметрия / И.А. Краснощекова, О.Б. Нормандская, А.М. Кислов и др. // М., Недра, 1978. – 471 с.

10. Вокруг 3D: Стереобазис. Электронный ресурс: <https://vokrug3d.ru/3d-foto/stereobazis.html>

© А. А. Федоровский, Л. В. Быков, 2022