

ЦИФРОВАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ЧАСТИЧНО УТРАЧЕННЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРХИВНЫХ СНИМКОВ

Д.А. Кочнева, Т.Н. Скрыпцына, Ф.Д. Гаврилюк, Е.А. Смирнов

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), г. Москва
kochneva.d.a@yandex.ru; tatyana.skrypitsyna@yandex.ru; 79011834240@yandex.ru; smirnov.e.a@list.ru

Аннотация. В России есть множество уникальных архитектурных памятников, которые находятся в небольших городах или заброшенных селах. Чтобы будущие реставраторы успешно восстановили эти объекты, необходимо сохранить и задокументировать их текущее состояние.

В статье представлены результаты работы по документированию одного из таких памятников с помощью архитектурной фотограмметрии с использованием любительских архивных фотографий. Объектом исследования стал архитектурный памятник XVIII в. «Строгановский соляной амбар». Для получения современной модели фасадов и внутренних помещений была использована комбинация наземной и аэросъемки с беспилотного воздушного судна. По архивным данным в модели были реконструированы утраченные элементы. Точность полученной модели позволяет создавать чертежи масштаба 1 : 100.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, фотограмметрия, архитектура, беспилотное воздушное судно.

Введение. В крупных городах объектам культурного наследия стараются уделять достаточно внимания, предоставляют разнообразные меры поддержки, поощряют владельцев проводить реставрацию различными льготами, включают их в городскую инфраструктуру. Однако, когда речь заходит о малых городах, ситуация становится сложнее. Некоторые объекты, даже имея определенный статус, не могут получить должного ухода и продолжают со временем разрушаться. В таких ситуациях на помощь приходит трехмерное моделирование. Данный метод позволяет законсервировать облик здания на конкретный период и помогает в принятии решений при планировании реставрационных работ.

Построение моделей возможно различными способами, основными из которых являются фотограмметрия и лазерное сканирование [1]. Они обеспечивают полноту и объективность получаемых данных. Фотограмметрический метод в данном случае представляется более доступным и достаточно точным.

Утраченные со временем части зданий возможно восстановить в модели, если остались архивные снимки и чертежи.

Объектом исследования стал объект культурного наследия федерального значения XVIII в. «Строгановский соляной амбар» [2], расположенный в г. Тутаеве Ярославской области. За время

своего существования здание сменило несколько владельцев и неоднократно перестраивалось под текущие нужды. На рубеже XX–XXI вв. здание было окончательно покинуто. Без должного ухода и без того старые конструкции стали разрушаться: обвалились кирпичные своды, прохудилась крыша, стала выпадать кладка.

В 2015 г. у здания появился новый собственник, который стал активно заниматься расчисткой помещений и подготовкой объекта к реставрационным работам. Отсюда возникла необходимость сохранения и документирования текущего облика.

Материалы и методы. Объект представляет собой прямоугольное одноэтажное здание, состоящее из 7 помещений (рис. 1). В приемлемом состоянии находятся помещения № 1 и 7, в них сохранились каменные своды и крыша, сейчас здесь устроен небольшой музей. Помещения № 3 и 4 находятся под открытым небом, помещения № 2, 5 и 6 не имеют сводов, но уже закрыты крышей. Доступ к внешней части восточной стены и части западной стены ограничен соседними постройками.

Для проведения съемки объект был разбит на составные части, соответствующие разрушенным помещениям и фасадам (северному, южному и западному). Каждая часть снималась отдельно, по возможности были сделаны серии снимков, связывающих части между собой.

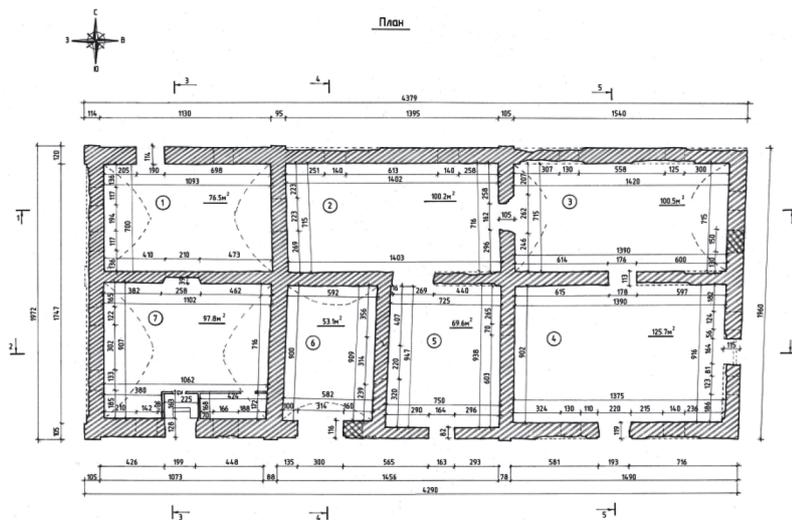


Рис. 1. План помещения, выполненный в 2016 г. архитектором А.С. Рыбниковым классическим способом архитектурных обмеров

Съемка производилась с земли с помощью фотокамеры Canon PowerShot SX510 HS и с воздуха беспилотным воздушным судном (БВС) DJI Phantom 4 Pro V2.0. Использование БВС обусловлено необходимостью запечатлеть в модели высотные части здания, где находились остатки сводов. С земли это было сделать затруднительно из-за большого количества строительного мусора, находящегося внутри.

Фотосъемка с фотоаппарата проводилась двумя параллельными маршрутами с заранее рассчитанными параметрами, продольное перекрытие снимков составило 60 % для фасадов и 70 % для внутренних помещений. Дополнительно во внутренних помещениях прокладывались маршруты для съемки углов для связи соседних стен. Аэрофотосъемка с БВС проводилась под углами 90° и 45° к стенам [3].

Самыми сложными с точки зрения проведения работ были помещения № 2, 5 и 6. Они не освещались и находились в аварийном состоянии. Проблема с освещением была решена с помощью использования специальных осветителей, участники экспедиции были экипированы касками и не приближались к местам, представляющим опасность. Однако процесс съемки с БВС потребовал значительно больше усилий внутри помещений, чем снаружи: в помещении управлять беспилотником приходилось в полностью ручном режиме, при этом он создавал потоки воздуха, которые отражались от стен и пола и нарушали его равновесие.

В результате съемочных работ было получено 775 аэроснимков и 1088 наземных снимков.

От собственника здания были получены любительские снимки, сделанные в 2016 г. архитектором-реставратором А.С. Рыбниковым, который выполнял проект первоочередных противоаварийных работ и архитектурные обмеры памятника. На них запечатлены некоторые архитектурные элементы здания, утраченные на момент съемки 2022–2023 г. Изображения были сделаны в разные времена года, на различные фотокамеры и под различными углами.

Для обеспечения высокой точности координатной привязки во всех помещениях и на фасадах было сделано геодезическое обоснование [4]. Опорные точки на земле представляли собой тарелки диаметром 40 см, которые были измерены методом статических спутниковых измерений с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) приемником Topcon HiPer. Опорные точки на стенах с наружной части здания представляли собой хорошо различимые части поверхности – контрастные пятна, сколы кирпичей, крупные шляпки кованых гвоздей, – а для внутренних помещений – кресты 5×5 см, нарисованные белой краской. Измерялись точки с помощью тахеометра Trimble Zeiss 3305 DR методом полярной засечки. Для контроля часть опорных точек на фасадах измерялась дважды с разных точек наблюдения.

В результате геодезических работ был получен каталог координат опорных точек в системе ко-

ординат WGS-84 UTM zone 37N. Выбор системы координат обусловлен возможностью перехода к ней от системы WGS-84, которая используется при измерении координат ГНСС приемниками DJI Phantom 4 ProV2.0 и Topcon Hiper. Всего было закоординировано 123 точки. Среднеквадратическая ошибка (СКО) координат составила 0,015 м.

Фотоснимки были обработаны в фотограмметрическом программном обеспечении Agisoft Metashape Professional. Обработка производилась в отдельных блоках в соответствии с тем, как происходила съемка. После процедуры уравнивания с самокалибровкой были измерены опорные точки в каждом блоке (табл. 1), а также построены модели в виде разреженных облаков точек.

Таблица 1. Ошибки на опорных точках в блоках

Блок	Количество опорных точек	СКО, м
Северный фасад	6	0,006
Южный фасад	6	0,005
Западный фасад	4	0,004
Помещение № 3	7	0,006
Помещение № 4	6	0,004
Помещение № 2	46	0,003
Помещение № 5	22	0,004
Помещение № 6	26	0,002



Рис. 2. Единая модель амбара в виде плотного облака точек

Заключение. Представленная технология цифровой реконструкции частично утраченных архитектурных объектов с использованием архивных снимков позволяет создавать детальные трехмерные модели, которые могут

Согласно требованию ГОСТ Р 56905-2016, полученная точность позволяет создать чертежи масштаба 1 : 100.

Затем были построены плотные облака точек отдельно для каждого помещения. На заключительном этапе отдельные блоки были объединены в единую модель (рис. 2).

Благодаря архивным любительским снимкам, сохранившимся у владельца амбара, стало возможным построить модели утраченных сводов в помещении № 5 и арочные проходы между помещениями № 2 и 3, которые в настоящий момент скрыты за поддерживающими конструкциями (рис. 3). На них имелось 8 и 16 снимков соответственно. Поскольку изображения были получены с разных ракурсов и с достаточными перекрытиями, появилась возможность построить модели и для них. Путем скалывания с современной модели были получены координаты характерных точек, общие для двух одновременных моделей, а уже по ним привязана архивная съемка.

Заключительным этапом работ была цифровая реконструкция внутреннего пространства помещения № 5 по облаку точек и чертежам XIX в. в ПО для трехмерного моделирования Blender (рис. 4).

применяться для консервации текущего облика здания и последующих работ по восстановлению.

Точность полученных моделей позволяет создавать чертежи масштаба 1 : 100.

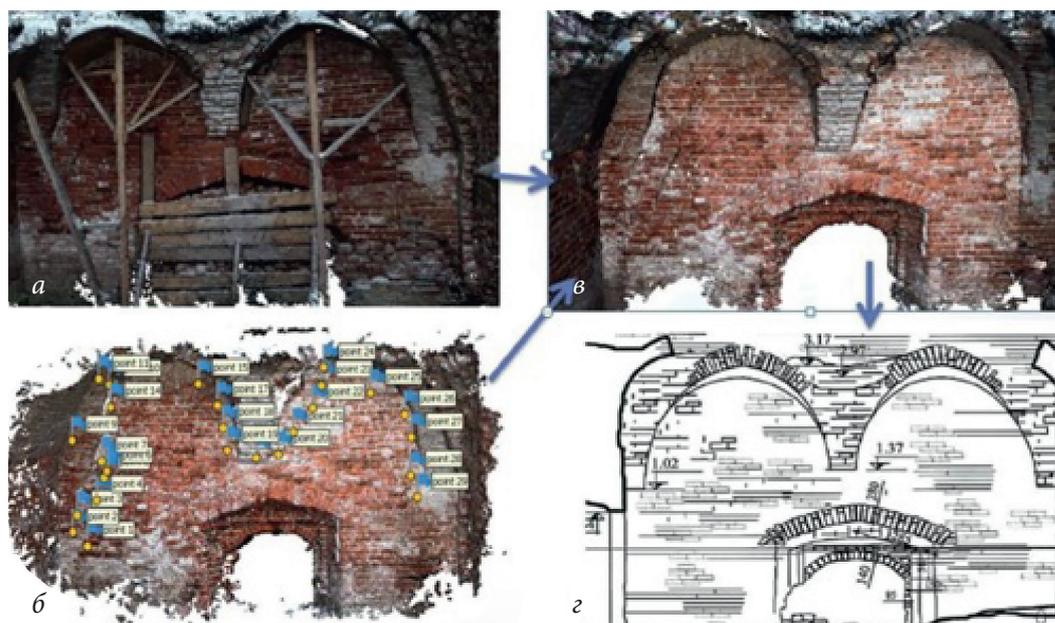


Рис. 3. Реконструкция арочного прохода между помещениями № 2 и № 3: а) современная модель; б) архивная модель; в) объединенная модель; з) обмерный чертеж по объединенной модели

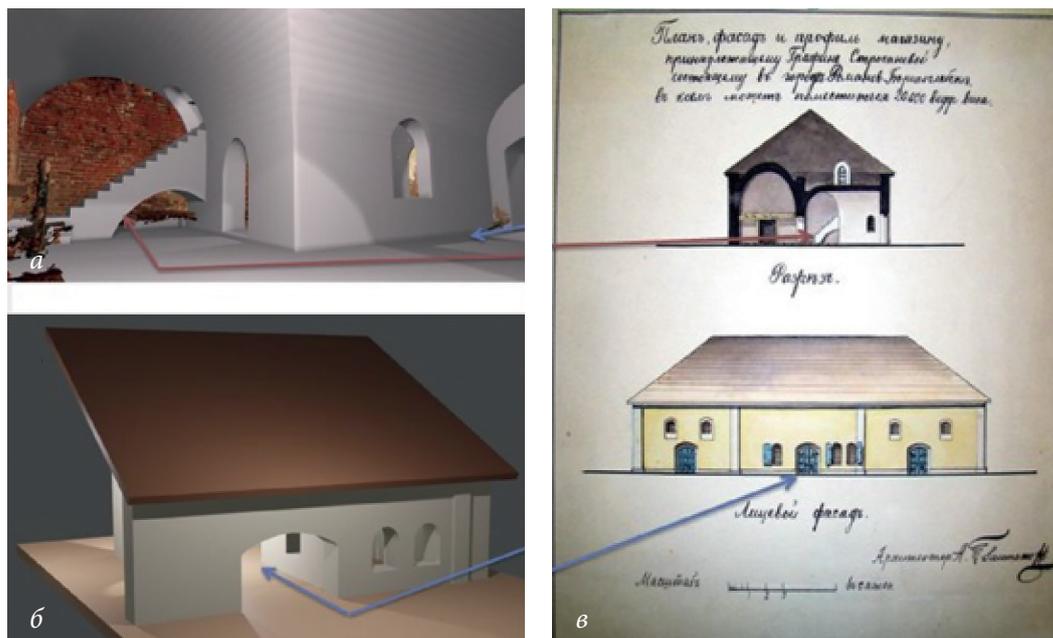


Рис. 4. Реконструкция интерьера помещения № 5: а) восстановленные стены, своды и лестница помещения № 5; б) реконструкция входа в помещение (можно сравнить со входом в современный амбар, на рисунке 2 это третья слева дверь); в) чертеж амбара XIX в.

Статья подготовлена в рамках гранта Российского научного фонда № 24-21-00314.

Список литературы

1. Шестопалова О.Л., Шестопалов Р.П. Об интеграции BIM-технологии информационного моделирования зданий с методами фотограмметрии при построении цифровых моделей объектов в архитектурно-строительной отрасли // Из-

вестия ТулГУ. Технические науки. 2022. № 8. С. 138–143. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144.

2. Стародубов Ю.В. Соляной амбар Строгановых в Романове-Борисоглебске. Опыт изучения, сохранения

и музеефикации // Русский Север – 2022: проблемы изучения и сохранения историко-культурного наследия: сборник работ VI Всероссийской научной конференции. Вологда, 2022. С. 68–77.

3. Скрыпичкина Т.Н., Староверов С.В. Съемка фасадов зданий с использованием беспилотных воздушных судов // Инженерные изыскания. 2018. № 7-8. С. 46–52. <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-46-52>.

4. Господинов С.Г. Геодезическое обеспечение цифрового моделирования // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 5 (17). С. 62–71.

5. Karachaliou E., Georgiou E., Psaltis D., Stylianidis E. UAV for mapping historic buildings: from 3D modelling to BIM // The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019. Vol. XLII-2/W9. P. 397–402. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-397-2019>.

**DIGITAL RECONSTRUCTION OF PARTIALLY LOST
ARCHITECTURAL OBJECTS USING ARCHIVAL IMAGES**

D.A. Kochneva, T.N. Skrypitsyna, F.D. Gavriluk, E.A. Smirnov

Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Moscow
kochneva.d.a@yandex.ru; mola-mola@rambler.ru; 79011834240@yandex.ru; smirnov.e.a@list.ru

Abstract. There are many unique architectural monuments in Russia, which are located in small towns or abandoned villages. In order for future restorers to successfully restore these objects, it is necessary to preserve and document their current condition.

The article presents the results of work on documenting one of these monuments by architectural photogrammetry using amateur archival photographs.

The object of the study was the architectural monument of the XVIII century “Stroganov salt barn”. To obtain a modern model of facades and interiors, a combination of ground and aerial photography from an unmanned aircraft was used. According to archival data, the lost elements were reconstructed in the model. The accuracy of the resulting model allows you to create drawings at a scale of 1 : 100.

Keywords: aerial photography, photogrammetry, architecture, UAV.

The article was prepared within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 24-21-00314.

References

1. Shestopalova O.L., Shestopalov R.P. 2022. [On the integration of BIM technology of building information Modeling with photogrammetry methods in the construction of digital models of objects in the architectural and construction industry]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. [Izvestia of the TulFU. Engineering Sciences]*. 8: 138–143. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144. (In Russian, with English abstract).
2. Starodubov Y.V. 2022. [Stroganovs' salt barn in Romanov-Borisoglebsk. Experience of study, preservation and museification]. In: *Russkiy Sever – 2022: problemy izucheniya i sokhraneniya istoriko-kul'turnogo naslediya [Russian North – 2022: problems of study and preservation of historical and cultural heritage]*. Vologda State University: 68–77. (In Russian).
3. Skrypitsyna T.N., Staroverov S.V. 2018. [Shooting facades of buildings using unmanned aircraft]. *Inzhenernye izyskaniya*. 7–8: 46–52. <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-46-52>. (In Russian).
4. Gospodinov S.G. 2016. [Geodetic support for digital modeling]. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. (Educational resources and technologies)*. 5(17): 62–71. (In Russian).
5. Karachaliou E., Georgiou E., Psaltis D., Stylianidis E. 2019. UAV for mapping historic buildings: from 3D modelling to BIM. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W9: 397–402. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-397-2019>.