



О возможности интеграции трехмерных моделей, полученных из разных источников

**С.А. Арбузов¹✉, В.В. Дедкова¹,
А.В. Комиссаров¹, М.М. Шляхова¹**

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Новосибирск, Россия
✉ s.a.arbuzov@sgugit.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Арбузов С.А., Дедкова В.В., Комиссаров А.В., Шляхова М.М. О возможности интеграции трехмерных моделей, полученных из разных источников // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 5. С. 22–34. DOI:10.30533/GiA-2025-039.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА трехмерное моделирование, стереофотограмметрический метод, беспилотное воздушное судно, наземная стереосъемка фасадов, модель интерьера, фотограмметрическая обработка

АННОТАЦИЯ В статье на примере объектов капитального строительства рассмотрена возможность интеграции трехмерных моделей внешнего и внутреннего пространства для решения различных задач, в том числе для целей информационного моделирования и создания цифровых двойников. Выполнен аналитический обзор методик создания трехмерных моделей объектов и территорий. В работе предложена технологическая схема основных этапов построения трехмерной модели объектов местности на основе съемки с беспилотного воздушного судна, наземной стереосъемки фасада и внутренних помещений здания. Описан математический аппарат по объединению двух трехмерных моделей, построенных в разных системах координат, в единую 3D-модель. Изложены результаты фотограмметрической обработки стереосъемки с воздуха, наземной съемки фасадов зданий камерой смартфона (построение базовой модели) и съемки внутреннего пространства здания (построение модели интерьера) камерой Sony Alpha ILCE-6000. Объединение модели интерьера с базовой моделью может быть выполнено по опорным точкам, измеренным при помощи тахеометра. Объединенная с 3D-моделью внутреннего помещения трехмерная модель здания, которая построена по представленной методике, может найти применение в реставрационных работах, бесшовной навигации, при решении задач гражданской обороны и защиты населения от чрезвычайных ситуаций.

1 Введение

В настоящее время развиваются технологии информационного моделирования и создания цифровых двойников застроенных территорий, основанные на трехмерном моделировании объектов. Условно трехмерные модели зданий и сооружений можно разделить на две группы: модели, полученные с использованием только наружной (внешней) съемки, и трехмерные модели интерьеров.

Основными способами получения исходных данных для трехмерного моделирования являются методы дистанционного зондирования и традиционные геодезические съемки¹ [1]. Выбор технических средств получения информации о пространственном положении точек моделируемого объекта зависит от охвата территории, необходимой оперативности, точности и дискретности измерений.

Для наземной съемки применяют мало- и среднеформатные цифровые камеры, мобильные и наземные лазерные сканеры [2], специализированные наземные стереофотограмметрические системы (например, Trimble A10) [3, 4] и ГНСС-приемники с интегрированной камерой.

Интерьерная съемка выполняется малоформатными цифровыми камерами или специализированными камерами глубины (например, Kinect) [5–7].

При пилотируемой воздушной съемке применяются метрические среднеформатные камеры, многокамерные съемочные системы, лазерные сканеры или гибридные съемочные системы (например, Leica CityMapper)². В беспилотных авиационных съемочных комплексах используют малоформатные (в том числе и специализированные для трехмерного моделирования территорий [2]), среднеформатные цифровые камеры и воздушные лазерные сканеры².

Использование данных, полученных из разных источников, дает возможность избежать мертвых зон [4, 8], увеличить детальность и информативность 3D-моделей, расширяя, таким образом, сферы их применения. Комбинирование данных наземного и воздушного лазерного сканирования позволяет получать пространственные координаты точек рельефа даже на залесенной местности. Применение комбинированного подхода рассматривается в ряде работ¹ [8–12], посвященных исследованию объектов архитектуры и строительства.

Современный город динамично развивается, прирастая новыми территориями, увеличивается доля точечной застройки, изменяется инфраструктура. Трехмерные модели застроенной территории должны периодически актуализироваться вслед за изменениями на местности [13].

Авиационные средства позволяют проводить съемку на большой площади с достаточной оперативностью для организации мониторинга изменений территории относительно фиксированной даты. Трехмерная модель, построенная по материалам аэросъемок, будет являться базовой моделью, отдельные элементы которой в дальнейшем можно дополнять, обновлять и уточнять другими средствами, в том числе и наземными съемками, обеспечивающими большую детальность при моделировании фасадов и элементов инфраструктуры.

При выполнении фасадной стереосъемки могут использоваться системы, включающие неметрические камеры, и глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) для получения линейных элементов внешнего ориентирования снимков. Такие средства измерения обеспечивают достаточно высокую точность и оперативность получения данных. При этом без применения ГНСС модель будет строиться в фотограмметрической системе координат, а внешнее ориентирование модели — осуществляться с использованием опорных точек, полученных по базовой модели.

1 Hadi R.H. The Integration of Multi-Source Photogrammetric Datasets for Virtual 3D City Modeling Applications. Thesis for M.Sc. in Technical Surveying Engineering. Middle Technical University, Republic of Iraq, 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/340117761_The_Integration_of_Multi-Source_Photogrammetric_Datasets_for_Virtual_3D_City_Modeling_Applica (дата обращения: 23.03.2025).

2 Чибуничев А.Г. Фотограмметрия: учебник. М.: Изд-во МИИГАиК, 2022. 328 с.

Отсутствие перекрывающихся участков моделей, обеспечивающих наличие достаточного количества соответственных точек для представления моделей в единой системе координат, и невозможность применения ГНСС-оборудования внутри помещения представляют сложность для интеграции интерьерных моделей с базовой моделью застроенной территории.

Задача внешнего ориентирования модели интерьера возникает, например, при построении моделей культурного наследия [14], при реализации бесшовной навигации снаружи и внутри зданий [15] и (или) при решении задач противодействия чрезвычайным ситуациям [16].

Для ориентирования интерьерной модели относительно общей модели могут использоваться два варианта математических преобразований. В первом случае применяются формулы перехода от одной системы координат к другой:

$$1 \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{BH} = X_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z, \\ Y_{BH} = Y_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z, \\ Z_{BH} = Z_0 + c_1X + c_2Y + c_3Z, \end{array} \right.$$

где X_{BH}, Y_{BH}, Z_{BH} – координаты объекта во внешней системе координат; X, Y, Z – координаты объекта в исходной системе координат; $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ – направляющие косинусы, являющиеся тригонометрическими функциями углов Эйлера $(\alpha, \omega, \kappa)^3$; X_0, Y_0, Z_0 – линейные смещения системы координат относительно внешней системы координат или, согласно терминологии фотограмметрии, линейные элементы внешнего ориентирования⁴.

При наличии систематических ошибок измерений в ориентируемой модели или при создании интерьерной модели без опорных данных уравнения (1) следует дополнить масштабным коэффициентом, тогда они примут вид

$$2 \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{BH} = X_0 + a_1tX + a_2tY + a_3tZ, \\ Y_{BH} = Y_0 + b_1tX + b_2tY + b_3tZ, \\ Z_{BH} = Z_0 + c_1tX + c_2tY + c_3tZ. \end{array} \right.$$

Во втором случае для перехода от одной системы координат к другой можно использовать метод проективной геометрии или уравнения аффинного преобразования вида

$$3 \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{BH} = A_1X + A_2Y + A_3Z + A_0, \\ Y_{BH} = B_1X + B_2Y + B_3Z + B_0, \\ Z_{BH} = C_1X + C_2Y + C_3Z + C_0, \end{array} \right.$$

где $A_0, A_1, A_2, A_3, B_0, B_1, B_2, B_3, C_0, C_1, C_2, C_3$ – коэффициенты аффинного преобразования.

Выражения (3) преобразуются к двумерному виду, например, если у исходной и внешней систем координат система отсчета и направление осей совпадают, в этом случае коэффициенты $A_2, B_2, C_0, C_1, C_2, C_3$ равны 0.

- Во всех случаях задача преобразования системы координат решается в два этапа:
- 1) определение элементов внешнего ориентирования или коэффициентов аффинного преобразования;
 - 2) пересчет всех элементов модели во внешнюю систему координат на основании вычисленных на первом этапе значений.

Первый этап требует решения уравнения (1), (2) или (3) каким-либо методом, но в большинстве случаев применяется метод наименьших квадратов. Для решения уравнений (1) – (3) необходимы опорные данные или опорные точки, минимальное количество которых для каждого вида уравнения меняется. Так, для уравнений (1), (2) минимальное количество точек составляет три.

3 Чибуничев А.Г. Фотограмметрия: учебник. М.: Изд-во МИИГАиК, 2022. 328 с.

4 Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М.: Недра, 1984. 552 с.

При этом в уравнения (1) и (2) входят тригонометрические функции, как правило, они решаются итерационным методом Ньютона. Такой метод решения с точки зрения теории уравнивания является нестрогим⁵. Уравнения (3) линейные, а следовательно, решаются классическим способом метода наименьших квадратов, что является строгим методом уравнения⁵.

Для преобразования моделей в единую систему координат с оценкой точности необходимо, чтобы на каждой модели были отображены одноименные точки в количестве не менее четырех штук в разных частях моделей.

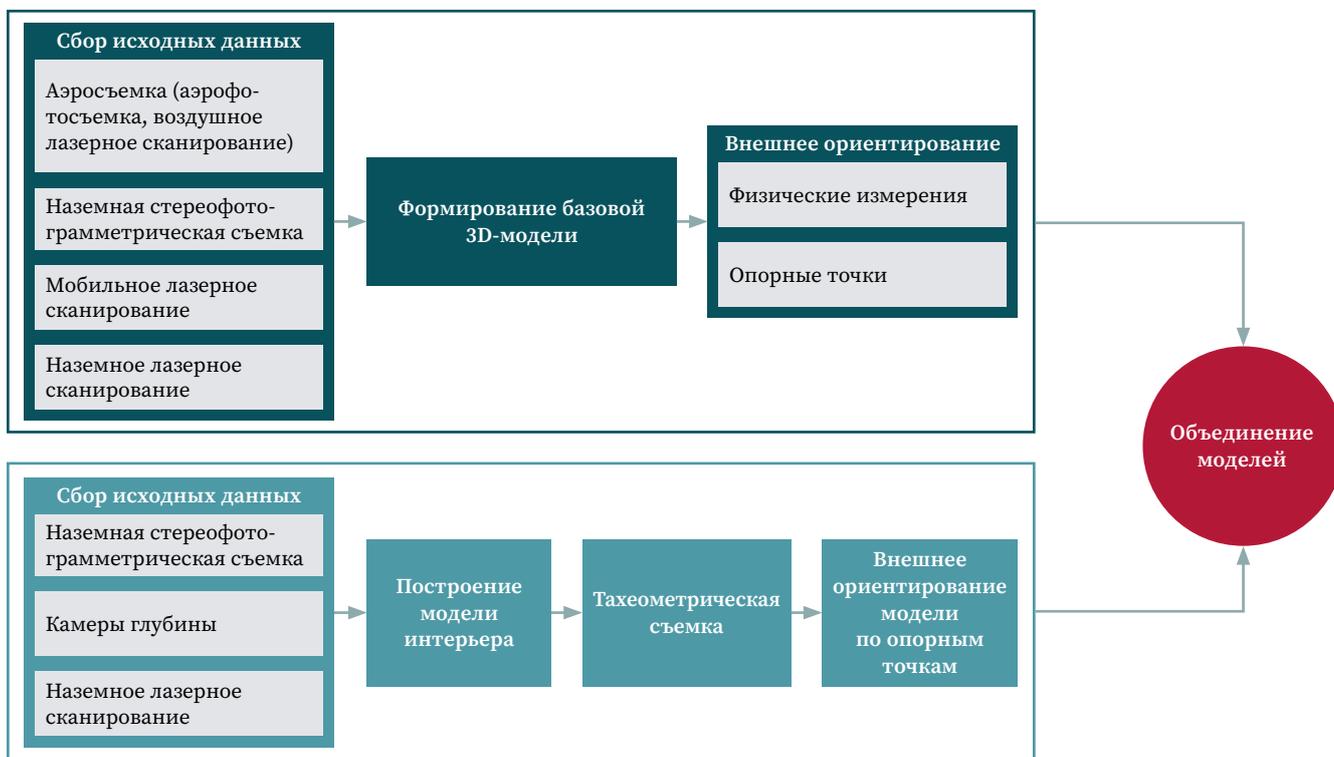
Вопросу внешнего ориентирования моделей интерьеров посвящены работы [17, 18], где описана возможность объединения моделей по координатам точек оконных проемов. Недостатком этого подхода является зависимость от точности базовой трехмерной модели. Ошибки идентификации точек проемов, погрешности в координатах точек базовой модели приведут к деформациям и снижению точности модели интерьера.

В данной статье для внешнего ориентирования модели интерьера предлагается использовать координаты опорных точек, получаемые в результате тахеометрической съемки в помещении, при этом ориентирование тахеометра выполняется по точкам с известными координатами, снятым через оконный проем.

Обобщенная технологическая схема основных этапов построения трехмерной модели объектов местности, полученной в результате комбинирования данных из различных источников, представлена на рис. 1.

Рис. 1  Технологическая схема основных этапов построения комбинированной трехмерной модели

Fig. 1 Technological scheme of main stages of combined 3D model building



2 Материалы и методы

Цель работы заключается:

- в исследовании возможности выполнения внешнего ориентирования моделей интерьера по результатам тахеометрической съемки опорных точек в помещении;

⁵ Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. М.: Недра, 1977. 367 с.

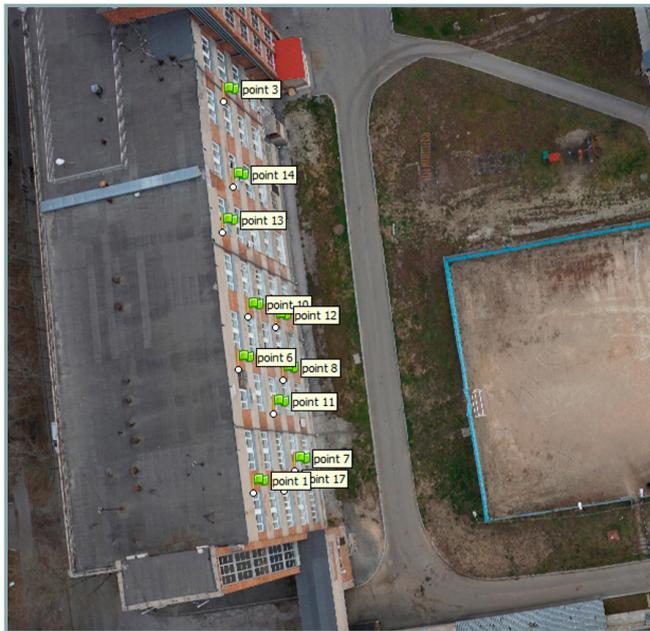
Рис. 2 

Измерение точек на аэро- и наземных снимках

Fig. 2

Measuring points on aerial and ground images

Аэроснимок / The aerial image



Наземный снимок / The ground image



— в создании трехмерной модели сооружения в результате обработки пространственных данных — материалов аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна (БВС), наземной фасадной съемки и интерьерной съемки помещения.

Сбор исходных данных осуществлен тремя способами: аэрофотосъемка выполнена с БВС «Геоскан 401» с установленной на борту цифровой камерой Sony Alpha ILCE-6000 (получено 194 снимка), наземная съемка фасада здания проведена камерой смартфона OPPO A78 (получено 15 снимков), интерьерная съемка — цифровой камерой Sony Alpha ILCE-6000, установленной на штатив (получено 12 снимков). Фотограмметрическая обработка выполнена в программном обеспечении Agisoft Metashape.

На этапе подготовительных работ камеральной обработки осуществлены проверка качества исходных данных и отбраковка снимков ненадлежащего качества, после чего материалы съемки импортированы в программное обеспечение.

На первом этапе обработки по материалам аэрофотосъемки с БВС и наземной съемки были построены модели и затем объединены между собой. По материалам аэрофотосъемки получена трехмерная модель здания — базовая модель («Проект 1»), а по материалам наземной съемки — модель фасада («Проект 2»).

После импорта снимков и каталога координат опорных и контрольных точек в проект, согласно общей методике фотограмметрической обработки в программном обеспечении Agisoft Metashape, выполнено построение сети фототриангуляции, построено плотное облако точек. Координаты опорных и контрольных точек для «Проекта 1» получены по результатам ГНСС-измерений в статическом режиме. Для «Проекта 2» координаты опорных точек получены с помощью электронного тахеометра в безотражательном режиме, после чего они измерены в проекте; построены плотный массив точек, полигональная модель и текстура. После оценки точности моделей из двух проектов они были объединены в одну модель.

Для измерения точек на фасаде здания в «Проекте 1» подобраны снимки, на которых видны фасады. Измерены также точки на модели, полученной по материалам наземной съемки (рис. 2).

Перед объединением трехмерная модель в виде облака точек, полученная по материалам аэрофотосъемки, предварительно отредактирована: удалена область фасада модели здания. После объединения проектов модель фасада здания, построенная

на основе наземных снимков, была совмещена с базовой моделью.

На рис. 3 представлено сравнение моделей: слева вид фасада трехмерной модели здания по материалам аэрофотосъемки с БВС, справа — после объединения двух моделей.

Визуальная оценка свидетельствует о том, что качество отображения деталей фасада в объединенной модели лучше, чем в модели, построенной только по снимкам аэрофотосъемки. Подобная методика может применяться в условиях недостаточности исходных данных для моделирования, например когда невозможна вертикальная съемка моделируемых объектов с помощью БВС мультироторного типа.

Рис. 3

Сравнение фасадов трехмерной модели, полученной по материалам аэрофотосъемки с БВС, и объединенной модели

Fig. 3

Comparison of facades of 3D model based on UAV-survey and the combined model

Модель, полученная по материалам аэрофотосъемки с БВС /
The 3D model based on UAV-survey

Объединенная модель / The combined model



Рис. 4

Закрепленные маркеры

Fig. 4

Coded targets

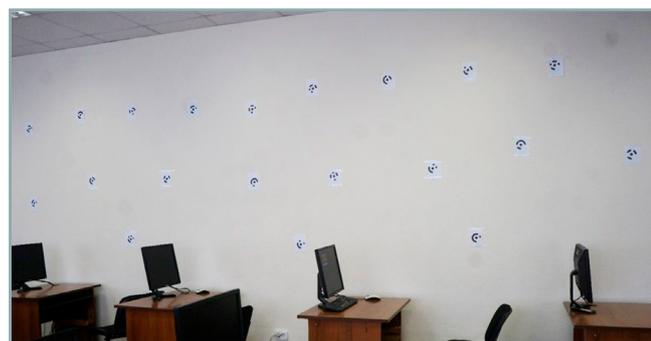
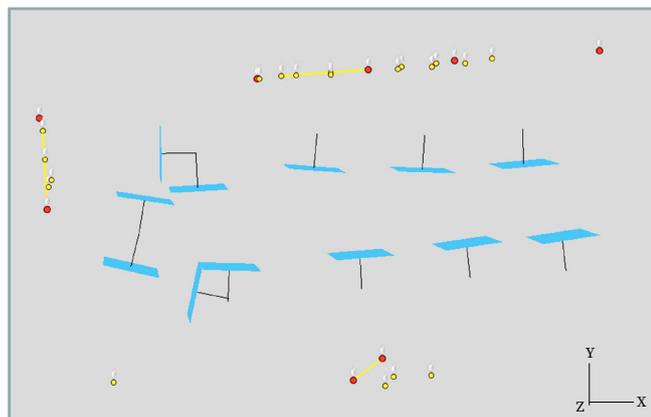


Рис. 5

Положение центров фотографирования снимков, масштабных линеек, опорных и контрольных точек

Fig. 5

Position of the centers of photographing images, scale lines, reference and control points



Условные обозначения

- контрольная точка
- опорная точка
- масштабная линейка

На втором этапе выполнено построение трехмерной модели интерьера помещения в виде облака точек. Для улучшения процесса поиска связующих точек на однотонных стенах помещения предварительно были размещены кодовые марки. Контроль качества построения модели осуществлен с помощью масштабных линеек и контрольных точек, полученных из тахеометрической съемки.

Для внешнего ориентирования модели применялись координаты опорных точек, полученные электронным тахеометром, который был установлен в моделируемом помещении. Координаты точки стояния прибора были вычислены методом обратной засечки по результатам тахеометрической съемки. Для определения координат станции использовались точки на местности с известными координатами, попадавшие в зону видимости прибора через окно. Измерения выполнялись посредством вехи с отражателем. После этого в помещении были измерены восемь опорных точек на стенах и получены их координаты (рис. 4). Координаты опорных и контрольных точек были импортированы в проект, и затем было выполнено внешнее ориентирование модели. Были построены плотный массив точек и полигональная текстурированная модель. На рис. 5 показано положение центров фотографирования снимков, масштабных линеек, опорных и контрольных точек.

3 Результаты и обсуждение

В ходе проведения оценки точности были получены результаты, представленные в табл. 1, 2.

Экстерьерная и интерьерная модели созданы независимо с разной плотностью и точностью измерений в единой системе координат. Модели могут быть объединены в один файл или загружены в программную среду (система автоматизированного проектирования, веб-ГИС) с разделением по слоям для дальнейшей работы (рис. 6–7).

Предложенная методика позволяет выполнять актуализацию моделей, регулировать точность и детальность каждой модели (или ее фрагмента) отдельно в зависимости от задач, для решения которых данная модель предназначена.

Таблица 1 
Результаты оценки точности моделей по опорным и контрольным точкам

Table 1
Results of the models accuracy assessment using ground control points and check points

Вид съемки	Оборудование	Количество опорных / контрольных точек	СКО опорных / контрольных точек, м			GSD, м
			X	Y	Z	
Аэрофотосъемка	Alpha ILCE-6000 (f = 20 mm)	4 / 10	0,03 / 0,05	0,037 / 0,090	0,050 / 0,280	0,018
Наземная стереосъемка фасада	OPPO A78 (f = 4,05 mm)	6 / 5	0,03 / 0,09	0,020 / 0,150	0,040 / 0,130	0,005
Аэрофотосъемка и наземная стереосъемка	Alpha ILCE-6000, OPPO A78	10 / 15	0,07 / 0,80	0,116 / 0,220	0,150 / 0,430	0,018 / 0,005
Интерьерная съемка	Alpha ILCE-6000 (f = 20 mm)	8 / 19	0,01 / 0,02	0,019 / 0,028	0,006 / 0,006	0,0008

Таблица 2 
Результаты оценки точности модели интерьера по масштабным линейкам

Table 2
Results of the interior model accuracy assessment using scale bars

Названия маркеров	Расстояние, м	Ошибка, м	Общая ошибка, м
target 81_target 87	1,816	-0,0055	0,0173
target 64_target 100	2,470	0,0008	
target 86_target 94	1,380	-0,0148	
target 62_target 74	1,312	-0,0147	
target 7_target 78	1,958	-0,0322	

Рис. 6 
Положение модели помещения относительно модели, полученной по материалам аэрофотосъемки и наземной стереосъемки

Fig. 6
The position of the room model relative to the model obtained from aerial and ground stereo photography

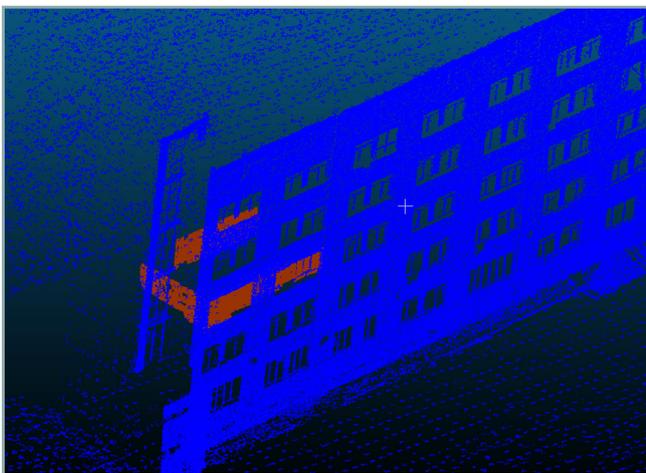
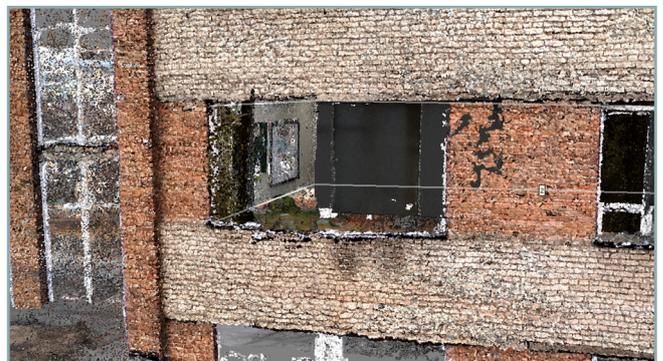


Рис. 7 
Комбинированная модель (вид снаружи)

Fig. 7
Combined model (outdoor view)



4 Выводы

Выполненные исследования показали работоспособность и следующие преимущества предложенной методики:

1. Высокая детальность позволяет использовать получаемую модель для indoor-навигации, разработки планов эвакуации, проведения спасательных операций при ограниченной видимости и т. д.
2. Представленные экстерьерная и интерьерная модели могут применяться для комплексного решения инженерных задач, поскольку в требованиях существующих нормативных документов для наружной части зданий достаточно точности 10–20 см, а для внутренних объектов необходимо получать координаты с точностью 0,5–5 см^{6,7,8,9,10}. Кроме того, подобный подход к созданию моделей разной точности позволяет сократить объем хранимой информации, поскольку если судить о точности модели в целом, а не об отдельных ее точках (пикетах), то величина погрешности должна быть примерно соизмерима с детальностью.

Возможно повышение точности создания трехмерной интерьерной модели в результате использования опорных точек, измеренных электронным тахеометром.

Современное съемочное оборудование позволяет оперативно получать высокодетальные модели объектов капитального строительства не только снаружи, но и изнутри (интерьерная съемка).

Рассмотренная методика внешнего ориентирования модели интерьера применима только в условиях прямой видимости опорных точек с точки стояния тахеометра. Измерения могут быть затруднены при съемке с верхних этажей многоэтажных зданий, в условиях залесенной местности или высокой плотности застройки.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Altuntas C. Three-Dimensional Digitization of Environments and Buildings for Smart City Applications // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2021. Vol. XLVI-4/W5-2021. P. 65–71. DOI:10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W5-2021-65-2021.
 2. Păulescu A.A., Ștefan M.E. 3D Modeling of Buildings Using Drones // Journal of Young Scientist. 2019. Vol. 7. P. 179–182.
 3. Cera V., Campi M. Evaluating the Potential of Imaging Rover for Automatic Point Cloud Generation // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2017. Vol. XLII-2/W3. P. 147–154. DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-147-2017.
 4. Федоровский А.А. Особенности применения методики наземной стереофотограмметрической съемки с прямой пространственной привязкой
-
- 6 СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. М.: Минстрой России, 2016. 126 с.
 - 7 Приказ Минземстроя РФ от 4 августа 1998 г. № 37 «Об утверждении Инструкции о проведении учета жилищного фонда в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901739482> (дата обращения: 19.03.2025).
 - 8 ГОСТ Р 58945-2020. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2020. 27 с. Данный документ не является обязательным к исполнению. Основание — приказ Министерства промышленности и торговли РФ № 687 от 2 апреля 2020 г. «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/564577621> (дата обращения: 19.03.2025).
 - 9 СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Общие указания. М.: Стандартинформ, 2017. 83 с.
 - 10 СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. М.: Стандартинформ, 2018. 45 с.

- для трехмерного моделирования объектов местности // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66, № 5. С. 73–86. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-5-73-86.
5. Abdulmajeed W.R., Mansoor R.Z. Implementing Kinect Sensor for Building 3D Maps of Indoor Environments // International Journal of Computer Applications. 2014. Vol. 86. No. 8. P. 18–22. DOI:10.5120/15005-3182.
 6. Józaków G., Toth C., Koppányi Z., et al. Combined Matching of 2D and 3D Kinect™ Data to Support Indoor Mapping and Navigation // ASPRS 2014 Annual Conference. Louisville, Kentucky, USA, 23–28 March 2014. New York: Curran Associates, 2014. P. 164–174.
 7. Henry P., Krainin M., Herbst E., et al. RGB-D mapping: Using Kinect-Style Depth Cameras for Dense 3D Modeling of Indoor Environments // The International Journal of Robotics Research. 2012. Vol. 31. No. 5. P. 647–663. DOI:10.1177/0278364911434148.
 8. Алтынцев М.А., Геращенко Г.Д. Исследование точности трехмерного моделирования по данным съемки с помощью наземного лазерного сканера Geomax Zoom 300 // Сборник материалов XVIII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», 18–20 мая 2022 г.: в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2022. Т. 1. С. 76–85. DOI:10.33764/2618-981X-2022-1-76-85.
 9. Скрыпицына Т.Н., Воротилов А.Г., Кочнева Д.А. и др. Особенности съемки и методика моделирования частично разрушенных архитектурных объектов по фотограмметрическим данным // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». М.: Географический факультет МГУ, 2024. Т. 30, ч. 1. С. 556–567. DOI:10.35595/2414-9179-2024-1-30-556-567.
 10. Молоков П.В., Щербаков В.М. Создание трехмерных моделей объектов историко-культурного наследия с использованием наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15, № 1. С. 46–61. DOI:10.30533/scidata-2024-15-09.
 11. 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 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 8. С. 138–143. DOI:10.24412/2071-6168-2022-8-138-144.
 12. Алтынцев М.А. Методика интеграции данных наземного и воздушного лазерного сканирования // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67, № 1. С. 26–41. DOI:10.30533/GiA-2023-007.
 13. Billen R., Cutting-Decelle A.F., Marina O., et al. 3D City Models and Urban Information: Current Issues and Perspectives. European COST Action TU0801. Les Ulis: EDP Sciences, 2014. 118 p. DOI:10.1051/TU0801/201400001.
 14. Wei S., Liu C., Tang N., et al. Indoor and Outdoor Multi-Source 3D Data Fusion Method for Ancient Buildings // Journal of Measurements in Engineering. 2022. Vol. 10. No. 3. P. 117–139. DOI:10.21595/jme.2022.22710.
 15. Claridades A.R.C., Lee J. Defining a Model for Integrating Indoor and Outdoor Network Data to Support Seamless Navigation Applications // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. Vol. 10. No. 8. P. 565. DOI:10.3390/ijgi10080565.
 16. Tashakkori H., Rajabifard A., Kalantari M. A New 3D Indoor/Outdoor Spatial Model for Indoor Emergency Response Facilitation // Building and Environment. 2015. Vol. 89. P. 170–182. DOI:10.1016/j.buildenv.2015.02.036.
 17. Cohen A., Schönberger J.L., Speciale P., et al. Indoor-Outdoor 3D Reconstruction Alignment // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9907. P. 285–300. DOI:10.1007/978-3-319-46487-9_18.
 18. Koch T., Korner M., Fraundorfer F. Automatic Alignment of Indoor and Outdoor Building Models Using 3D Line Segments // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Las Vegas, NV, USA, 26 June – 1 July 2016. Red Hook: Curran Associates, 2016. P. 10–18. DOI:10.1109/CVPRW.2016.91.

АВТОРЫ Арбузов Станислав Андреевич

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования,
Институт геодезии и менеджмента
канд. техн. наук

 0009-0003-0763-3222

Дедкова Валерия Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия

кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования,
Институт геодезии и менеджмента

канд. техн. наук

 0009-0004-0809-6550

Комиссаров Александр Владимирович

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия

кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования,
Институт геодезии и менеджмента

д-р техн. наук, доцент

 0000-0003-2625-2997

Шляхова Мария Михайловна

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия

кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования,
Институт геодезии и менеджмента

канд. техн. наук, доцент

 0000-0003-0689-3404

Поступила 02.04.2025. Принята к публикации 24.10.2025. Опубликовано 31.10.2025.



Possibility of Integrating Three-Dimensional Models Obtained from Multi-Source Data

Stanislav A. Arbuzov¹ , **Valeriya V. Dedkova¹**,
Aleksandr V. Komissarov¹, **Mariya M. Shlyakhova¹**

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 s.a.arbuzov@sgugit.ru

CITATION Arbuzov SA, Dedkova VV, Komissarov AV, Shlyakhova MM. Possibility of Integrating Three-Dimensional Models Obtained from Multi-Source Data. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(5): 22–34. DOI:10.30533/GiA-2025-039.

KEYWORDS three-dimensional modeling, stereophotogrammetric method, unmanned aerial vehicle, ground-based stereo photography of facades, indoor 3D model, photogrammetric processing

ABSTRACT The article considers the possibility of integrating outdoor and indoor three-dimensional models of buildings to solve various problems, including information modeling and the creation of “digital twins”. An analytical review of methods for creating three-dimensional models of objects and territories is provided. The paper proposes a technological scheme for the main stages of building a three-dimensional model of terrain objects based on unmanned aerial vehicle photography, ground-based stereo photography of the facade and indoor model. A mathematical apparatus for combining two three-dimensional models made in different coordinate systems into a single 3D model is described. The article presents results of photogrammetric processing of aerial stereo photography, ground-based photography of building facades with a smartphone camera (build of a base model), and photography of the interior space of a building (indoor model) with a Sony Alpha ILCE-6000 camera. The indoor model can be combined with the base model using reference points measured with a total station. Combined 3D model according to the presented methodology can be used in carrying out restoration work, tasks of “seamless” navigation, and tasks of civil defense and emergency situations.

REFERENCES 1. Altuntas C. Three-Dimensional Digitization of Environments and Buildings for Smart City Applications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2021;XLVI-4/W5-2021: 65–71. DOI:10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W5-2021-65-2021.

2. Păulescu AA, Ștefan ME. 3D Modeling of Buildings Using Drones. *Journal of Young Scientist*. 2019;7: 179–182.
3. Cera V, Campi M. Evaluating the Potential of Imaging Rover for Automatic Point Cloud Generation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017;XLII-2/W3: 147–154. DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-147-2017.
4. Fedorovskiy AA. Osobennosti primeneniya metodiki nazemnoi stereofotogrammetricheskoi s"emki s pryamoj prostranstvennoi privyazkoi dlya trekhmernogo modelirovaniya ob"ektov mestnosti [Features of the application method of terrestrial stereophotogrammetric survey with direct georeferencing for three-dimensional modeling of terrain objects]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2022;66(5): 73–86. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-5-73-86.
5. Abdulmajeed WR, Mansoor RZ. Implementing Kinect Sensor for Building 3D Maps of Indoor Environments. *International Journal of Computer Applications*. 2014;86(8): 18–22. DOI:10.5120/15005-3182.
6. Józkw G, Toth C, Koppanyi Z, et al. Combined Matching of 2D and 3D Kinect™ Data to Support Indoor Mapping and Navigation. *ASPRS 2014 Annual Conference. Louisville, Kentucky, USA, 23–28 March 2014*. New York: Curran Associates; 2014: 164–174.
7. Henry PR, Krainin M, Herbst E, et al. RGB-D Mapping: Using Kinect-Style Depth Cameras for Dense 3D Modeling of Indoor Environments. *The International Journal of Robotics Research*. 2012;31(5): 647–663. DOI:10.1177/0278364911434148.
8. Altyntsev MA, Geraschenko GD. Issledovanie tochnosti trekhmernogo modelirovaniya po dannym s"emki s pomoshch'yu nazemnogo lazernogo skanera Geomax Zoom 300 [The study of 3D modelling accuracy using terrestrial laser scanning data of Geomax Zoom 300]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of the XVIII International scientific congress, May 18–20, 2022*. In 8 vol. Novosibirsk: SGUGiT; 2022;1: 76–85. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2022-1-76-85.
9. Skrypitsyna TN, Vorotilov AG, Kochneva DA, et al. Osobennosti s"emki i metodika modelirovaniya chastichno razrushennykh arkhitekturnykh ob"ektov po fotogrammetricheskim dannym [Features of the survey and methods of modelling partially destroyed architectural objects based on photogrammetric data]. *Proceedings of the International Conference "InterCarto. InterGIS"*. Moscow: MSU, Faculty of Geography; 2024;30(1): 556–567. (In Russian). DOI:10.35595/2414-9179-2024-1-30-556-567.
10. Molokov PV, Shcherbakov VM. Sozdanie trekhmernykh modelei ob"ektov istoriko-kul'turnogo naslediya s ispol'zovaniem nazemnogo lazernogo skanirovaniya i aerofotos"emki [Creation of 3D models of historical and cultural heritage objects using terrestrial laser scanning and aerial photography]. *Spatial Data: Science and Technology*. 2024;15(1): 46–61. (In Russian). DOI:10.30533/scidata-2024-15-09.
11. Shestopalova OL, Shestopalov RP. Ob integratsii BIM-tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya zdaniy s metodami fotogrammetrii pri postroenii tsifrovyykh modelei ob"ektov v arkhitekturno-stroitel'noi otrasli [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. Engineering Science*. 2022;8: 138–143. (In Russian). DOI:10.24412/2071-6168-2022-8-138-144.
12. Altyntsev MA. Metodika integratsii dannykh nazemnogo i vozdušnogo lazernogo skanirovaniya [The technique of terrestrial and airborne laser scanning data fusion]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2023;67(1): 26–41. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-007.
13. Billen R, Cutting-Decelle AF, Marina O, et al. *3D city models and urban information: Current issues and perspectives. European COST Action TU0801*. Les Ulis: EDP Sciences; 2014. 118 p. DOI:10.1051/TU0801/201400001.
14. Wei S, Liu C, Tang N, et al. Indoor and Outdoor Multi-Source 3D Data Fusion Method for Ancient Buildings. *Journal of Measurements in Engineering*. 2022;10(3): 117–139. DOI:10.21595/jme.2022.22710.

15. Claridades ARC, Lee J. Defining a Model for Integrating Indoor and Outdoor Network Data to Support Seamless Navigation Applications. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021;10(8): 565. DOI:10.3390/ijgi10080565.
16. Tashakkori H, Rajabifard A, Kalantari M. A New 3D Indoor/Outdoor Spatial Model for Indoor Emergency Response Facilitation. *Building and Environment*. 2015;89: 170–182. DOI:10.1016/j.buildenv.2015.02.036.
17. Cohen A, Schönberger JL, Speciale P, et al. Indoor-Outdoor 3D Reconstruction Alignment. *Lecture Notes in Computer Science*. 2016;9907: 285–300. DOI:10.1007/978-3-319-46487-9_18.
18. Koch T, Korner M, Fraundorfer F. Automatic Alignment of Indoor and Outdoor Building Models Using 3D Line Segments. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. Red Hook: Curran Associates; 2016: 10–18. DOI:10.1109/CVPRW.2016.91.

AUTHORS **Stanislav A. Arbuzov**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Institute of Geodesy and Management
 PhD in Engineering
 0009-0003-0763-3222

Valeriya V. Dedkova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Institute of Geodesy and Management
 PhD in Engineering
 0009-0004-0809-6550

Aleksandr V. Komissarov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Institute of Geodesy and Management
 Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor
 0000-0003-2625-2997

Mariya M. Shlyakhova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Institute of Geodesy and Management
 PhD in Engineering, Associate Professor
 0000-0003-0689-3404

Submitted: April 02, 2025. Accepted: October 24, 2025. Published: October 31, 2025.