



Возможность применения ТИМ-модели для геодезического обеспечения реставрации усадьбы

А.Н. Гусев¹✉, Х.Х. Насереддин¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия

✉ gus_1999@mail.ru

цитирование

Гусев А.Н., Насереддин Х.Х. Возможность применения ТИМ-модели для геодезического обеспечения реставрации усадьбы // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 34–49. DOI:10.30533/GiA-2026-014.

ключевые слова

технология информационного моделирования, лазерный сканер, геодезическое обеспечение реставрации зданий, геодезическая разбивочная основа, технология одновременной локализации и картографирования

аннотация

В статье рассматривается применение технологий информационного моделирования (ТИМ) и лазерного сканирования для решения геодезических задач при реставрации исторической усадьбы XVIII–XIX веков в Москве. Основное внимание уделено проблемам, связанным с отсутствием точных чертежей и несоответствием проектной документации реальному состоянию объекта, что привело к значительным отклонениям (до 50 см) при реализации реставрационных работ. Описывается методика создания геодезической разбивочной основы в условиях сложной планировки здания, а также предлагаются современные решения, включая использование мобильного лазерного сканера EFT SL1 и наземного сканера Leica RTC360 для оперативного обновления геодезических данных. В работе представлен анализ применения ТИМ для контроля соответствия проектных решений фактическому состоянию объекта, что позволило минимизировать ошибки и оптимизировать процесс реставрации. Особое внимание уделено решению проблемы укрепления свода подвала с заменой деревянных перекрытий на железобетонные конструкции. Результаты исследования демонстрируют эффективность сочетания традиционных геодезических методов (тахеометрической съемки) с инновационными технологиями (лазерное сканирование, технология одновременной локализации и картографирования), обеспечивающего высокую точность и сокращающего временные затраты. Практическая значимость работы заключается в предложенных методиках, которые могут быть применены при реставрации других объектов культурного наследия, особенно в условиях ограниченного доступа

к исходным данным и сложной архитектурной среды. Результаты исследования подчеркивают важность интеграции современных технологий в процессы сохранения исторических памятников.

1 Введение

Актуальность проблемы реставрации объектов культурного наследия (ОКН) обусловлена комплексом трудностей, ключевая из которых состоит в отсутствии или неполноте достоверной проектной документации, а также уничтожении геодезических пунктов внутри здания. Когда в процессе работ обнаруживаются конструктивные элементы, не отраженные в исторических чертежах, требуется оперативная коррекция проектных решений. Сделать это невозможно без точных и полных данных о реальном состоянии объекта, в связи с чем первостепенную роль играют инженерно-геодезические изыскания.

Однако при проведении реставрационных работ фасад здания, как правило, закрывается защитным полотном. Эта мера создает серьезные препятствия для геодезического обеспечения, вынуждая специалистов повторно выполнять привязку к внешним опорным пунктам государственной геодезической сети на прилегающей территории. После этого требуется заново создавать сеть съемочного обоснования внутри объекта для возобновления съемочных или разбивочных работ.

Дополнительную сложность вызывает то, что комплексная реставрация часто включает масштабные конструктивные преобразования, такие как замена деревянных балочных перекрытий на монолитные железобетонные конструкции, устройство новых фундаментов с частичной или полной разгрузкой исторических, усиление несущих стен методами армирования и инъектирования.

Эти технологические процессы носят инвазивный характер и приводят к уничтожению или смещению геодезических марок, фиксирующих пункты внутренней разбивочной основы. В результате возникает необходимость многократного обновления геодезической сети — передачи планово-высотных координат с внешней опорной сети и повторного создания съемочного обоснования. Проблема неоднократного воспроизведения геодезической сети существенно осложняет задачи геодезического обеспечения, увеличивает трудоемкость работ и создает риск возникновения дополнительных погрешностей при передаче координат и высот.

Традиционные геодезические методы, такие как тахеометрическая съемка, зачастую неспособны адекватно отразить сложную пространственную конфигурацию исторических объектов, характеризующихся наличием труднодоступных зон, сложным декором и деформациями [1]. Формирование геодезической разбивочной основы внутри таких зданий осложнено существованием физических препятствий, а также необходимостью частого восстановления разрушаемых в процессе работ реперов.

В качестве решения данной проблемы в последние два десятилетия активно применяется технология лазерного сканирования (ТЛС), позволяющая с высокой точностью и детальностью зафиксировать геометрию объекта в виде массива трехмерных точек (облака точек) [2, 3]. Результатом обработки данных ТЛС, как правило, становится создание информационной модели (технология информационного моделирования, ТИМ / *англ.* Building Information Modeling, BIM), которая служит основой для проектных решений [4, 5]. Для реставрации ОКН особой сложностью представляет вопрос точности. До начала моделирования должны быть определены допустимые отклонения геометрических параметров от действительных значений, причем эти допуски могут быть разными для различных элементов объекта [6].

Однако, несмотря на признанную эффективность ТЛС, в научно-методической литературе сохраняется ряд нерешенных вопросов. Во-первых, существует дефицит документов, регламентирующих применение лазерного сканирования

именно для задач реставрации ОКН [7]. Во-вторых, недостаточно проработаны методики интеграции данных ТЛС в ТИМ-среду для объектов, изначально не имевших цифрового прототипа, когда создание модели происходит на этапе эксплуатации и реставрации [8]. В-третьих, вопросы оптимизации процессов совместной работы с полученными моделями для архитекторов, инженеров и реставраторов требуют дальнейшего изучения [9].

Целью настоящего исследования является разработка и апробация комплексной методики применения лазерного сканирования и ТИМ для реставрации ОКН. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

- 1) проанализировать ограничения традиционных геодезических методов и современные возможности лазерного сканирования при обследовании объекта реставрации;
- 2) разработать алгоритм проведения лазерного сканирования, ориентированный на задачи реставрационного проектирования;
- 3) на примере конкретного объекта апробировать разработанную методику и оценить ее эффективность.

Рис. 1

Главный дом городской усадьбы конца XVIII – XIX в.

Fig. 1

The main house of the city estate of the late 18th – 19th centuries

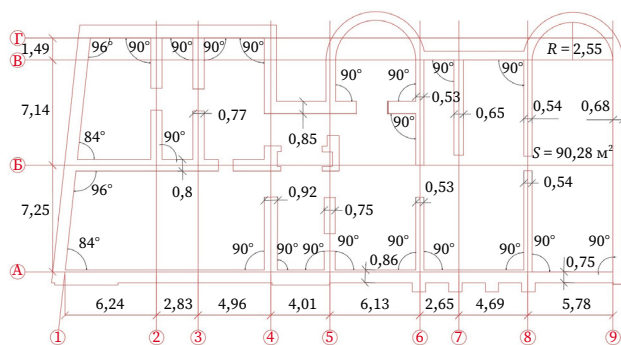


Рис. 2 

Проектный чертеж подвала усадьбы

Fig. 2

Design drawing of the estate basement



2 Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривается главный дом городской усадьбы (конец XVIII – XIX в.) в Москве (рис. 1). Объект реставрации расположен в верхней части Вознесенского переулка, на выходе к улице Тверской. В 2017 году выполнялись работы по его реконструкции [10].

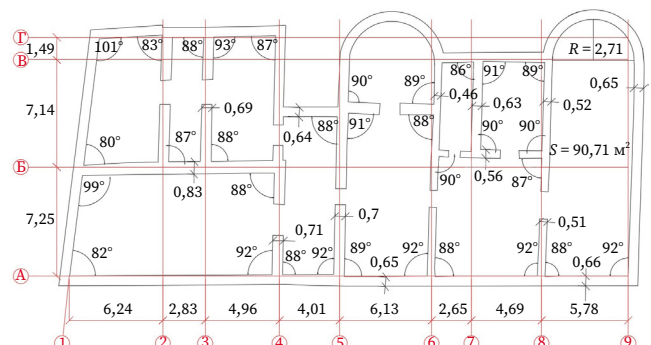
Одной из ключевых проблем при реставрации памятников культуры является отсутствие или неудовлетворительная точность исполнительных чертежей, а также недостаточная изученность конструкций зданий. В ходе реставрационных работ нередко случается, когда новые опорные конструкции должны быть интегрированы в существующие структурные элементы, не обладающие достаточной прочностью [10]. Проблема несоответствия чертежей показана на примере реконструкции свода подвала (рис. 2, 3), сохранившегося с 1710 года от другого здания, которое стояло на месте усадьбы раньше, и представляющего особую историческую ценность. Проект был разработан на основе исторических планов без проведения геодезических измерений.

Рис. 3

Фактические чертежи подвала усадьбы

Fig. 3

As-built drawings of the estate basement



Для сохранения свода был разработан проект, предусматривающий замену деревянных перекрытий на бетонные, а бутового фундамента — на железобетонный. С целью предотвращения обрушения под нагрузкой бетонного перекрытия было запроектировано усиление свода. В рамках проекта реконструкции планировалось возведение 16 железобетонных колонн, предназначенных для восприятия нагрузки от свода подвала и вышележащих перекрытий. Согласно проекту, колонны должны были быть интегрированы в существующие кирпичные стены и опереться на металлические балки, усилившие периметр подвала после замены фундамента. Исходные данные о расположении конструкций были получены проектной организацией на основе исторического плана 1882 года без проведения геодезической съемки. Однако на этапе реализации был выявлен критический просчет: исполнительная съемка зафиксировала несоответствия между проектом и реальным положением стен: максимальное отклонение достигло 50 см, при этом стены были ориентированы под разными углами, а их толщина не соответствовала проектным значениям [10]. Возведение колонн в соответствии с первоначальным проектом создавало угрозу разрушения свода.

В рамках применявшегося до внедрения ТИМ-технологий подхода данная проблема была решена математическими методами, позволившими определить оптимальную разбивочную линию для размещения всех колонн. Условиями являлись: утопление колонн в стену, их расположение в одном створе и опирание на металлическую балку. Была выведена формула для нахождения оптимального положения разбивочной линии, выполнено 10 итераций и выбрано решение с минимальной суммой критерия. В настоящее время для решения подобных задач возможно применение современного программного обеспечения, использующего ТИМ-моделирование, вместо трудоемких математических расчетов.

Еще одной проблемой, возникающей в процессе реставрации, является создание и поддержание геодезической разбивочной основы (ГРО) внутри здания. При реализации реставрационных объектов фасад часто закрывают защитной тканью, что создает трудности для геодезистов при обновлении внутренней геодезической сети. В ходе реставрации применялась технология инъекции стен, приводившая к уничтожению марок, что требует частого восстановления ГРО. На рис. 4 изображены марки ГРО перед началом реставрации.

На рис. 5 представлена созданная в программном обеспечении Revit [11] ТИМ-модель, на которой показаны проектные решения подвала усадьбы: железобетонные колонны, трубы для инъекции кирпичных стен. Видно, что из-за возведения монолитных колонн и проведения инъекций марки находятся в зоне проведения работ, что приводит к их постоянной потере и необходимости частого восстановления сети ГРО.

Реставрация объекта была закончена в 2017 году, в то время был создан полигонометрический ход. Для формирования ГРО на территории объекта реставрации было запланировано создание четырех пунктов вокруг усадьбы (А1–А4),

Рис. 4 
ТИМ-модель подвала усадьбы

Fig. 4
TIM model of the estate basement

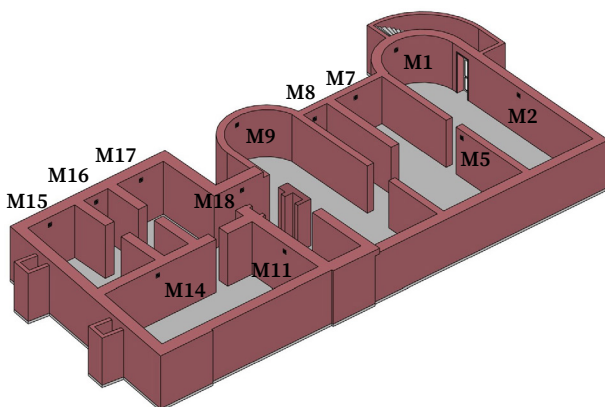


Рис. 5 
Подвал усадьбы в программной среде Revit

Fig. 5
Estate basement in the Revit software environment

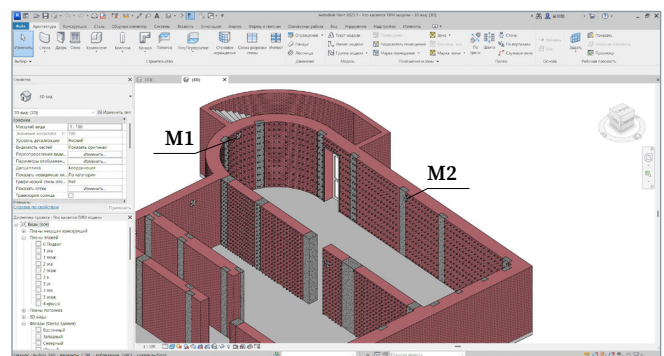


Рис. 6 
Исходные пункты МГГТ 53844 и 5208 (фото А.Н. Гусева)

Fig. 6
Initial points of MGGT
53844 and 5208
(photo by Alexandr N. Gusev)



представляющих собой металлические дюбели, закрепленные в асфальте. В округе были идентифицированы два ственных пункта Мосгоргеотреста (МГГТ) 53844 и 5208, имеющих плановые и высотные координаты (класс точности в плане — 1-й разряд, по высоте — 3-й класс). На рис. 6 показаны исходные пункты. Расположение реперов представлено на рис. 7. Для сгущения сети был проложен полигонометрический ход 2-го разряда (рис. 8). Характеристика полигонометрического хода показана в табл. 1.

Для измерений использовался технический тахеометр Sokkia iM-102L, для обработки измерений — программное обеспечение ТИМ КРЕДО ДАТ. В табл. 2 показаны координаты внешних пунктов сети, определенные полигонометрическим ходом.

От полигонометрического хода 2-го разряда было сделано ГРО внутри здания. На рис. 9 показан ход внутри усадьбы. В табл. 3 приведены координаты внутренних пунктов сети, определенные полигонометрическим ходом.

На объекте реставрации существует высокая вероятность потери геодезических марок в процессе реконструкции, связанной с демонтажем стен, инъекциями, возведением новых железобетонных конструкций. Это существенно осложняет выполнение инженерно-геодезических изысканий. После реконструкции первого этажа было утрачено 70 % марок, что потребовало повторного проложения тахеометрического хода для обновления ГРО.

В качестве современного решения предлагается использовать для обновления ГРО технологию мобильного лазерного сканирования, что позволяет повысить

Таблица 1 
Ведомость характеристик полигонометрического хода

Table 1
Tacheometric traverse characteristics log

Ход	Класс	Точки хода	Длина хода, м	N	N _b	F _{β факт}	F _{β доп}	Невязки по уравненным дирекционным углам, м			
								F _x	F _y	F _s	[S] / F _s
1	2-й разряд	RP5208, A1, ..., RP53844	423,0	8	6	0°00'15"	0°00'49"	-0,003	-0,003	0,005	93 080

Рис. 7 
Схема расположения ственных реперов

Fig. 7
Layout of wall benchmarks

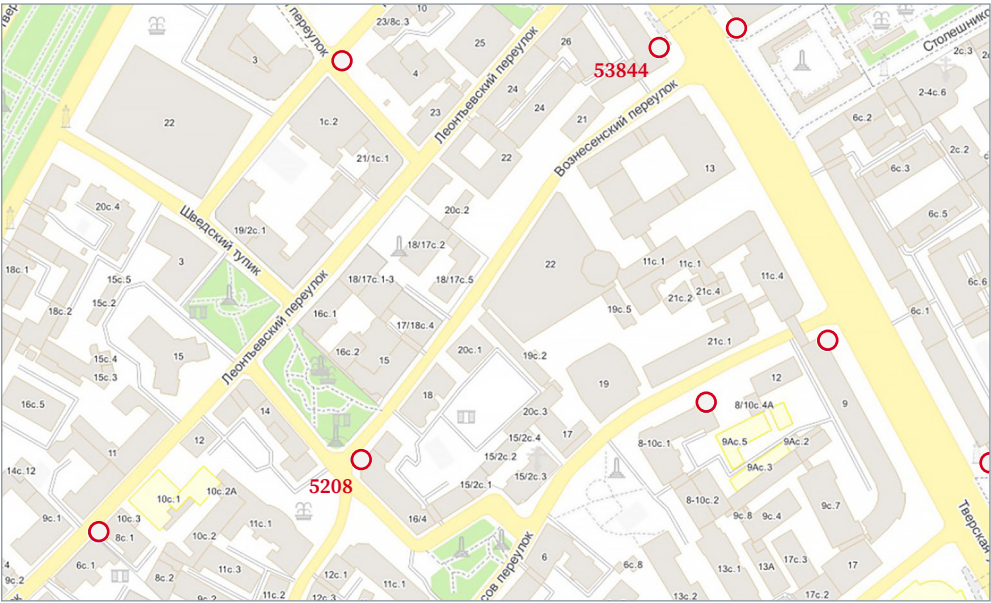


Рис. 8 
Полигонометрический ход

Fig. 8
Precision polygonometric traverse

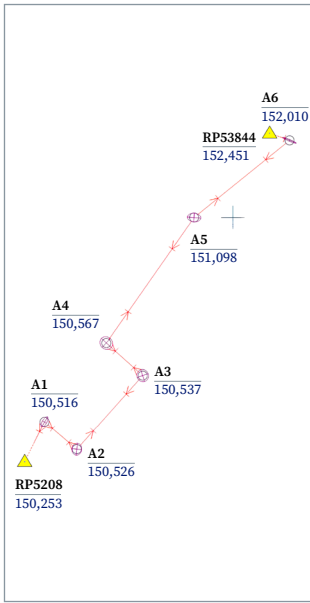


Таблица 2 

Ведомость координат внешней
сети

Table 2

Coordinates log

Пункт	X, м	Y, м	m_{xy} , м	H, м	m_H , м
A1	10 337,420	6750,157	0,0051	150,516	0,0007
A2	10 315,489	6775,879	0,0062	150,526	0,0008
A3	10 374,243	6828,271	0,0067	150,537	0,0010
A4	10 400,098	6799,302	0,0072	150,567	0,0010
A5	10 499,830	6869,129	0,0064	151,098	0,0009
A6	10 561,097	6945,061	0,0059	152,010	0,0005
RP5208	10 305,613	6734,402	—	150,253	—
RP53844	10 566,828	6929,219	—	152,451	—

Рис. 9 

Тахеометрический ход
внутри усадьбы

Fig. 9

Tacheometric traverse
within the estate

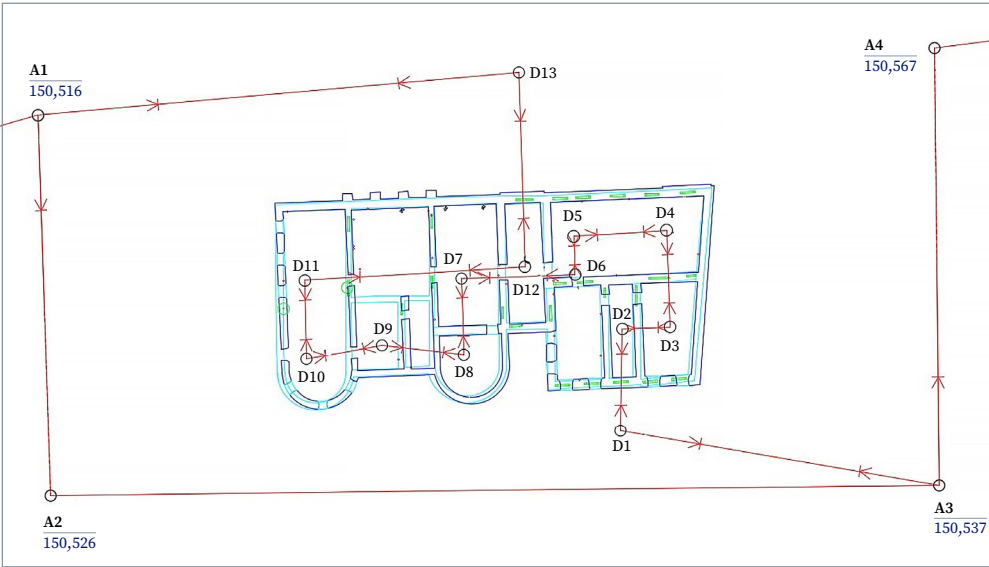


Таблица 3 

Ведомость координат
внутренней сети

Table 3

Coordinates log

Пункт	X, м	Y, м	m_{xy} , м	H, м	m_H , м
A1	10 337,420	6750,157	—	150,516	—
A2	10 315,489	6775,879	—	150,526	—
A3	10 374,243	6828,271	—	150,537	—
A4	10 400,098	6799,302	—	150,567	—
D1	10 356,685	6805,615	0,0028	150,522	0,0183
D2	10 362,915	6799,041	0,0038	150,523	0,0203
D3	10 366,146	6801,774	0,0044	150,524	0,0211
D4	10 371,688	6795,228	0,0049	150,524	0,0224
D5	10 365,252	6790,085	0,0052	150,525	0,0234
D6	10 363,068	6792,652	0,0053	150,525	0,0237
D7	10 355,367	6786,158	0,0054	150,527	0,0244
D8	10 350,973	6791,301	0,0053	150,527	0,0247
D9	10 346,216	6785,770	0,0052	150,528	0,0249
D10	10 340,430	6782,155	0,0050	150,555	0,0249
D11	10 345,025	6776,923	0,0045	150,529	0,0248
D12	10 360,243	6789,157	0,0040	150,530	0,0235
D13	10 371,436	6776,080	0,0031	150,528	0,0212

оперативность процесса. На рассматриваемом объекте для создания и обновления ГРО применялись мобильный лазерный сканер (МЛС) EFT SL1 и наземный лазерный сканер (НЛС) Leica RTC360. Оценку точности результатов измерений, полученных с помощью лазерного сканирования, предлагается выполнять путем сравнения с данными, полученными тахеометром и принимаемыми за эталонные. Методика предполагает первоначальное создание ГРО традиционным способом с использованием тахеометра с последующим сканированием того же участка лазерным сканером. Критерием оценки будет служить разность координат одноименных пунктов, определенных обоими методами. Для МЛС существует два варианта определения координат точек, для НЛС — один.

Мобильный сканер функционирует в динамическом режиме. Его фундаментальная задача заключается не только в фиксации расстояний до объектов, но и в непрерывном определении с высокой точностью собственного положения и ориентации в пространстве. Для этого используется инерциально-навигационная система (ИНС), технология одновременной локализации и картографирования (*англ.* Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) [11, 12], которая позволяет устройству создавать карту окружающей среды и одновременно определять свое местоположение на этой карте в режиме реального времени, что и обуславливает наличие двух методик.

1. Методика привязки к облаку точек. Система мобильного лазерного сканирования интегрирует данные от лазерного дальномера, с высокой скоростью измеряющего расстояния до окружающих объектов, и ИНС. Для определения координат с помощью облака точек понадобится четыре исходных пункта, чтобы привязать облако точек к требуемой системе координат. С помощью программного обеспечения в облаке точек необходимо визуально найти исходные пункты или создать контрольные точки с помощью центрира МЛС. После привязки облака точек требуется визуальным способом обнаружить центры определяемых пунктов [13, 14].
2. Методика центрирования. Данный метод применяется для контроля точности, сшивки траекторий или в условиях нестабильного / отсутствующего сигнала глобальной навигационной спутниковой системы. За основу принимаются не координаты каждой точки, а траектория движения центра сканирующей системы, рассчитываемая ИНС. Эта траектория представляет собой непрерывную линию с известными координатами и ориентацией, служащую жестким каркасом. Координаты точек облака вычисляются относительно указанной траектории. Этот подход требует дополнительной обработки, но обеспечивает высокую точность и целостность данных, минимизируя накопленную погрешность [15, 16].

НЛС работает статично, устанавливаясь на штативе. Каждый скан выполняется в собственной локальной системе координат прибора. Для объединения данных с нескольких станций в единую модель необходимо выполнить их привязку к общей системе координат с помощью целевых марок (реперов), размещенных на объекте и идентифицируемых в разных сканах, либо по естественным объектам, когда программное обеспечение автоматически находит общие объекты в разных сканах и совмещает их. Геопривязка итогового облака точек к реальной системе координат требует наличия на объекте нескольких точек с известными координатами. Эти точки идентифицируются в облаке, и к нему применяется соответствующее преобразование. Для надежной привязки облака точек к заданной системе координат рекомендуется использовать не менее четырех исходных пунктов. После привязки облака точек обрабатывается: переводится в режим отображения по интенсивности, в нем идентифицируются отсканированные марки, с помощью специализированного программного обеспечения (например, AutoCAD, CloudCompare) определяются их координаты.

При использовании методики центрирования также требуется наличие четырех исходных пунктов. Центрир прикладывается к исходным и определяемым пунктам. Последние получают координаты в системе координат лазерного сканера. Для их преобразования в требуемую систему координат используются ключи перехода, которые могут быть рассчитаны на основе координат четырех

пунктов в обеих системах координат, например с помощью CloudCompare или встроенного программного обеспечения сканера, предоставляющего необходимые приращения координат.

Поскольку реставрация закончилась в 2017 году, а исследование проведено в 2025 году, все методики опробованы на другом объекте. Объект для исследования — офис ООО «ЕФТ ГРУПП».

3 Результаты и обсуждение

Для проведения экспериментальных исследований был применен комплекс геодезических приборов, включающий электронный тахеометр EFT TS1 (точность измерения углов — 2", точность линейных измерений в безотражательном режиме — 3 мм + 2 ppm) и МЛС EFT SL1 (точность измерения расстояний до 10 мм).

На объекте исследований был проложен тахеометрический ход с целью определения планово-высотных координат контрольных марок. Пункты 1–6 приняты в качестве исходной опорной геодезической сети. Пункты A1–A6 и D1–D6 являются определяемыми.

Схематическое изображение процесса измерений тахеометром представлено на рис. 10. Конфигурация проложенного тахеометрического хода отображена на рис. 11, а внешний вид марок показан на рис. 12.

Исходные пункты были созданы тахеометром. Прибор был приведен в рабочее положение; создана станция ST1 с координатами $X = 100$, $Y = 100$, $H = 10$; определены координаты исходных марок 1, 2. От исходных марок был проложен тахеометрический ход одним полуприемом. Характеристика хода приведена в табл. 4, характеристики ходов тригонометрического нивелирования — в табл. 5.

Для определения координат геодезических марок с применением МЛС EFT SL1 были использованы две описанные выше методики. Схематическое

Рис. 10 
Схема измерений

Fig. 10
Measurement diagram

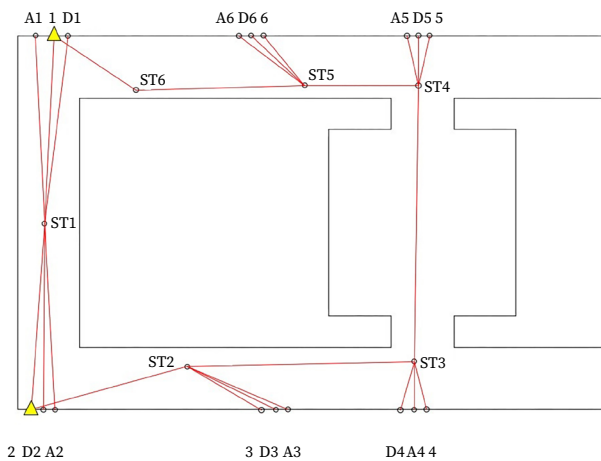


Рис. 11 
Тахеометрический ход

Fig. 11
Tacheometric survey traverse

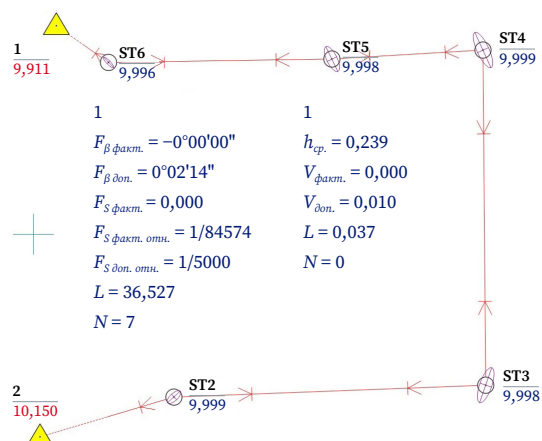


Рис. 12 
Марки

Fig. 12
Benchmarks

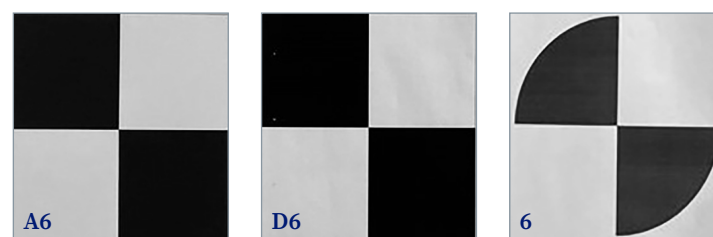


Таблица 4 
Характеристика
тахеометрического хода

Table 4
Characteristics
of the tacheometric traverse

Точки хода	Длина хода, м	N	N _b	F _{β факт}	F _{β доп}	Невязки по уравненным дирекционным углам, м			
						F _x	F _y	F _s	[S] / F _s
1, ST2, ST3, ST4, ST5, ST6, 2	36,527	7	5	0°00'00"	0°02'14"	0,001	0,000	0,001	69 880

Таблица 5 
Характеристика
тригонометрического
нивелирования

Table 5
Characteristics of trigonometric
leveling

Пункты	Длина, м	N	F _{N факт} , м	F _{N доп} , м
1, ST2, ST3, ST4, ST5, ST6, 2	0,037	7	0,000	0,010

изображение маршрута сканирования по методике привязки к облаку точек представлено на рис. 13. Маршрут измерений, соответствующий методике центрирования, отображен на рис. 14.

Результаты определения координат с помощью лазерного сканера будем сравнивать с результатами электронного тахеометра. Полученные координаты представлены в табл. 6, разности координат (истинные ошибки) — в табл. 7.

При использовании методики привязки к облаку точек максимальное расхождение между координатами, полученными тахеометром и сканером, составило

Рис. 13 
Маршрут лазерного сканера по методике привязки к облаку точек
Fig. 13
Laser scanner route according to the point cloud methodology

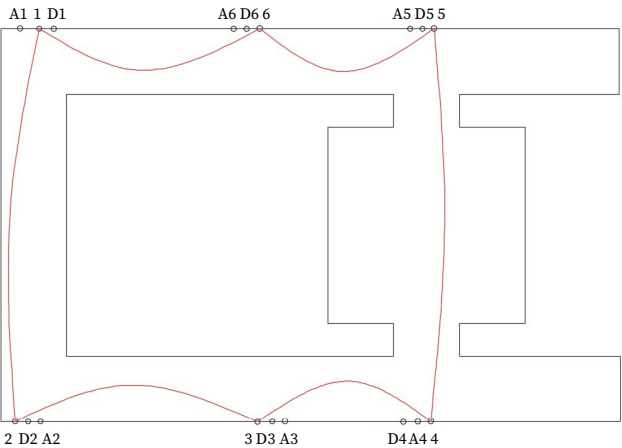


Рис. 14 
Маршрут лазерного сканера по методике центрирования
Fig. 14
Laser scanner route according to the centering methodology

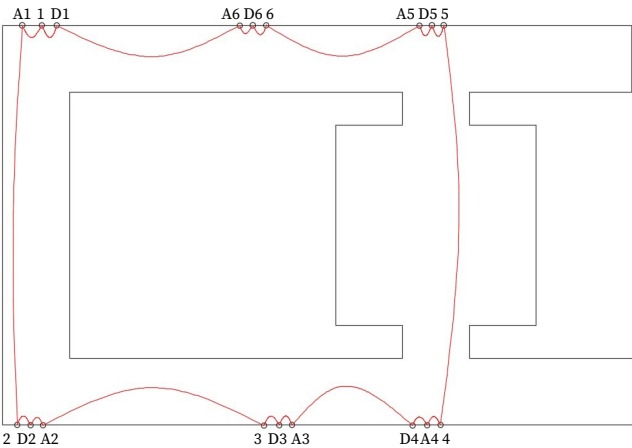


Таблица 6 
Координаты марок, полученные тахеометром и МЛС

Table 6
Benchmark coordinates obtained by total station and MLS

Марка	Координаты, м			Тахеометр			МЛС			Центрир МЛС		
	X	Y	H	X	Y	H	X	Y	H	X	Y	H
A1	106,207	100,302	10,144	106,197	100,307	10,152	106,209	100,300	10,149			
A2	93,966	100,438	10,191	93,978	100,432	10,184	93,961	100,442	10,198			
A3	94,086	107,752	10,074	94,077	107,751	10,069	94,082	107,746	10,083			
A4	94,157	112,358	10,120	94,172	112,360	10,116	94,151	112,359	10,125			
A5	106,388	112,006	10,112	106,399	112,010	10,113	106,392	112,009	10,118			
A6	106,269	104,279	10,110	106,283	104,279	10,116	106,271	104,277	10,110			
D1	106,202	100,969	10,195	106,213	100,965	10,196	106,203	100,970	10,199			
D2	93,971	99,941	10,186	93,981	99,938	10,189	93,967	99,936	10,180			
D3	94,082	107,502	10,080	94,089	107,508	10,086	94,079	107,507	10,088			
D4	94,150	112,073	10,116	94,137	112,078	10,124	94,143	112,077	10,113			
D5	106,392	112,246	10,114	106,380	112,242	10,119	106,397	112,246	10,116			
D6	106,272	104,535	10,115	106,263	104,534	10,115	106,273	104,538	10,110			

Таблица 7 ✓

Разность координат, полученных тахеометром и МЛС

Table 7

The differences between the coordinates obtained by total station and MLS

Марка	Разность координат, м					
	Методика привязки к облаку точек			Методика центрирования		
	X	Y	H	X	Y	H
A1	0,010	-0,005	-0,008	-0,002	0,002	-0,005
A2	-0,012	0,006	0,007	0,005	-0,004	-0,007
A3	0,009	0,001	0,005	0,004	0,006	-0,009
A4	-0,015	-0,002	0,004	0,006	-0,001	-0,005
A5	-0,011	-0,004	-0,001	-0,004	-0,003	-0,006
A6	-0,014	0,000	-0,006	-0,002	0,002	0,000
D1	-0,011	0,004	-0,001	-0,001	-0,001	-0,004
D2	-0,010	0,003	-0,003	0,004	0,005	0,006
D3	-0,007	-0,006	-0,006	0,003	-0,005	-0,008
D4	0,013	-0,005	-0,008	0,007	-0,004	0,003
D5	0,012	0,004	-0,005	-0,005	0,000	-0,002
D6	0,009	0,001	0,000	-0,001	-0,003	0,005

по X 14 мм, по Y — 6 мм, по H — 8 мм. Методика центрирования обеспечила следующее максимальное расхождение между координатами: по X — 7 мм, по Y — 6 мм, по H — 9 мм.

Для создания и обновления ГРО предлагается использовать наземный сканер Leica RTC360 [17, 18]. Это третья методика. С помощью лазерного сканера создается облако точек, далее оно регистрируется (регистрация облака точек — это процесс совмещения нескольких облаков точек, полученных в результате сканирования, в единую систему координат). Затем сшитое облако точек в нужной системе координат используется для скалывания координат марок. В качестве объекта исследования был выбран офис компании ООО «ЕФТ ГРУПП».

Сначала измерения были выполнены тахеометром. От двух исходных пунктов в условной системе координат с помощью засечки определены координаты марок 38, 39, 40, 41.

Для определения координат с помощью лазерного сканера используется режим по интенсивности, который показывает точки с наилучшим и наихудшим отражением лазерного сигнала. В нашем исследовании использованы черно-белые марки с наиболее контрастным уровнем отражения сигнала [19, 20]. На рис. 15 представлено облако точек по интенсивности в программе CloudCompare.

Полученные с помощью лазерного сканера координаты сравним с результатами тахеометрических измерений. Координаты представлены в табл. 8, разности координат (истинные ошибки) показаны в табл. 9.

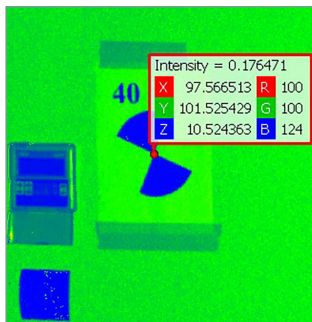
Истинные ошибки лазерного сканирования не превысили по X — 2 мм, по Y — 4 мм, по H — 6 мм.

Рис. 15 ✓

Вид марки 40 в облаке точек

Fig. 15

Benchmark 40 in point cloud view

**Таблица 8** ✓

Координаты марок, полученные тахеометром и НЛС

Table 8

Benchmark coordinates obtained by total station and TLS

Марка	Координаты, м					
	Тахеометр			НЛС		
	X	Y	H	X	Y	H
38	96,715	96,872	10,598	96,716	96,874	10,597
39	99,444	97,196	10,631	99,443	97,200	10,626
40	97,564	101,525	10,521	97,566	101,527	10,524
41	98,398	102,613	10,552	98,400	102,609	10,558

Таблица 9 ✓

Разности координат, полученных тахеометром и НЛС

Table 9

The differences between the coordinates obtained by total station and TLS

Марка	Разности координат, м		
	X	Y	H
38	-0,001	-0,002	0,001
39	0,001	-0,004	0,005
40	-0,002	-0,002	-0,003
41	-0,002	0,004	-0,006

4 Выводы

Проведенное исследование подтверждает высокую эффективность интеграции ТИМ и лазерного сканирования для геодезического обеспечения реставрации ОКН. Сочетание этих методов позволяет оперативно выявлять и минимизировать критические расхождения между проектной документацией и реальным состоянием объекта, которые в ряде случаев могут достигать 50 см.

Сравнительный анализ демонстрирует, что лазерное сканирование является высокоточным и оперативным методом создания ГРО, выступая эффективной альтернативой традиционным тахеометрическим съемкам. Оба протестированных типа сканеров — мобильный EFT SL1 и наземный Leica RTC360 — обеспечивают точность измерений, сопоставимую с тахеометром EFT TS1.

Ключевые выводы исследования состоят в следующем:

1. Лазерное сканирование позволяет с высокой детализацией создавать и оперативно обновлять ГРО как снаружи, так и внутри зданий.
2. При использовании разных приборов НЛС (Leica RTC360) показал наилучшую точность с максимальным расхождением координат (2–6 мм), что делает его предпочтительным для решения задач, требующих максимальной детализации.
3. При определении координат ГРО с помощью МЛС методика центрирования продемонстрировала наилучшую точность по сравнению с методикой привязки к облаку точек.

библиография

1. Насереддин Х.Х. Геодезическое обеспечение при реставрации свода подвала усадьбы XVIII века // Успехи современного естествознания. 2024. № 10. С. 102–111. DOI:10.17513/use.38325.
2. Яхина Е.П., Светлова О.И. Анализ тенденций использования технологии лазерного сканирования при сохранении объектов культурного наследия России // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2024. № 2 (48). С. 58–63. DOI:10.52684/2312-3702-2024-48-2-58-63.
3. Кулеш А.А. Возможности и преимущества лазерного сканирования при 3D-проектировании промышленных объектов // Инновации и инвестиции. 2023. № 2. С. 265–267.
4. Прокопенко И.В., Тетерина К.С., Саенко И.А. Технологии информационного моделирования в практике реставрационных работ памятников архитектурного наследия // Урбанистика. 2023. № 2. С. 76–83. DOI:10.7256/2310-8673.2023.2.40766.
5. Бабинова А.Д. Целесообразность применения современных информационных технологий в проектах реставрации объектов культурного наследия // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VII Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2024. С. 290–296. DOI:10.23968/BIMAC.2024.039.
6. Кашеварова Г.Г., Сёмина А.Е. Информационное моделирование зданий и классификация архитектурных элементов для объектов культурного наследия // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 4. С. 138–143. DOI:10.22337/2077-9038-2022-4-138-143.
7. Гирия Л.В., Трофимов Г.П. Обследование памятников архитектуры с использованием современных технологий трехмерного сканирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24, № 6. С. 35–43. DOI:10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43.
8. Пухаренко Ю.В., Шангина Н.Н., Харитонов А.М. и др. Проблемы и перспективы развития информационного моделирования для реставрации объектов культурного наследия // Academia. Архитектура и строительство. 2024. № 3. С. 171–175. DOI:10.22337/2077-9038-2024-3-171-175.
9. Майничева А.Ю., Груздева Е.А., Орлова Е.Ю. Методика обмеров зданий методом лазерного сканирования (на примере двух объектов культурного наследия Новосибирской области) // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2023. № 51. С. 258–269. DOI:10.17223/22220836/51/22.

10. Листков Н.С., Насереддин Х. Использование современных приборов и технологий для геодезического обеспечения реставрации архитектурно-исторических памятников // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы докладов Четырнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций, Москва, 11–14 декабря 2018 г. М.: Геомаркетинг, 2018. С. 695–701.
11. Пугачева П.А., Данилов А.К. Моделирование объекта в среде Autodesk Revit // Наука в современном мире: взгляд молодых ученых: материалы VIII Международной научно-практической конференции, Грозный, 27–28 мая 2022 г. Грозный: ЧГПУ, 2022. С. 666–673.
12. Ян Г., Мэн В., Дун Х. и др. Использование ключевых точек и линий изображения в задаче визуально-инерциальной одометрии в реальном времени // Гироскопия и навигация. 2023. Т. 31, № 4. С. 96–117.
13. Соломатин В.А. Пространственно-частотные характеристики лазерных сканеров // Оптический журнал. 2020. Т. 87, № 4. С. 19–27. DOI:10.17586/1023-5086-2020-87-04-19-27.
14. Малинов В.А., Павлов Н.И., Попиков В.С. и др. Сверхбыстрое сканирование пространства импульсно-периодическим chirпированным лазерным излучением по двум ортогональным координатам // Оптический журнал. 2025. Т. 92, № 1. С. 21–29. DOI:10.17586/1023-5086-2025-92-01-21-29.
15. Стугирев И.Д., Астафьева Н.С. Использование лазерного сканирования как способа сбора данных при создании информационной модели здания // Неделя науки ИСИ: материалы Всероссийской конференции: в 3 ч. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. Ч. 2. С. 201–203.
16. Серезкин В.Д., Асманкина А.А., Баусова А.А. Сравнительное исследование мобильного лазерного сканирования, наземного лазерного сканирования и мобильной фотограмметрии для обследования железнодорожной инфраструктуры // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы IX Всероссийской конференции с международным участием. М.: Дашков и К, 2025. С. 476–479.
17. Руденко А.А., Черный В.А. Оценка факторов и методика контроля качества работ при строительстве и ремонте зданий с использованием наземного лазерного сканирования // Вестник гражданских инженеров. 2025. № 6 (113). С. 42–57. DOI:10.23968/1999-5571-2025-22-6-42-57.
18. Сяглов Ю.И. Наземное лазерное сканирование и BIM-проектирование при обследовании, мониторинге и реконструкции зданий // Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: материалы XVI Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Томск: ТГАСУ, 2026. Ч. 2. С. 174–179.
19. Носков И.В., Анашкина А.Е., Черепанов Д.Н. и др. Экспертная оценка практикуемых систем наземного лазерного сканирования для обеспечения безопасной эксплуатации объектов капитального строительства // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17, № 6. С. 1–16. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://esj.today/PDF/28SAVN625.pdf> (дата обращения: 11.06.2025).
20. Шереметинский А.В. Сравнительный анализ применения наземного и SLAM-сканирования при обследовании строительных конструкций // Актуальные вопросы и инновации в обследовании строительных конструкций зданий и сооружений: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СФУ, 2025. С. 11–15.

авторы**Гусев Александр Николаевич**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра геодезии, геодезический факультет

 0009-0001-6370-932X

Насеретдин Хассан Хамадович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра геодезии, геодезический факультет

канд. техн. наук, доцент

 0009-0001-1806-7831

Поступила 19.06.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



The Possibility of Using the TIM Model for the Surveying Support of Manor Restoration

Alexandr N. Gusev¹✉, Hassan H. Nasreddin¹

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ gus_1999@mail.ru

citation Gusev AN, Nasreddin HH. The Possibility of Using the TIM Model for the Surveying Support of Manor Restoration. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 34–49. DOI:10.30533/GiA-2026-014.

keywords building information modeling, laser scanning, surveying support for building restoration, geodetic control network, SLAM technology

abstract The article examines the application of building information modeling (BIM) and laser scanning technologies to solve surveying tasks in the restoration of the 18th – 19th-century historic estate in Moscow. The main focus is on the problems associated with the lack of accurate drawings and the discrepancy between design documentation and the actual condition of the object, which led to significant deviations (up to 50 cm) during the implementation of restoration work. The methodology for creating a geodetic layout base under the conditions of the building's complex layout is described, and modern solutions are proposed, including the use of the EFT SL1 mobile laser scanner and the Leica RTC360 terrestrial scanner for the prompt updating of surveying data. The paper presents an analysis of the application of BIM modeling to control the compliance of design solutions with the actual condition of the object, which made it possible to minimize errors and optimize the restoration process. Particular attention is paid to solving the problem of strengthening the basement vault by replacing wooden floors with reinforced concrete structures. The results of the study demonstrate the effectiveness of combining traditional surveying methods (tacheometric survey) with innovative technologies (laser scanning, SLAM), which ensures high accuracy and reduces time costs. The practical significance of the work lies in the proposed methodologies, which can be applied in the restoration of other cultural heritage sites, especially under conditions of limited access to initial data and a complex architectural environment. The research results emphasize the importance of integrating modern technologies into the processes of preserving historical monuments.

references

1. Naserddin KK. Geodezicheskoe obespechenie pri restavratsii svoda podvala usad'by XVIII veka [Geodetic Support During the Restoration of the Vault of the Basement of the 18th Century Manor]. *Advances in Current Natural Sciences*. 2024;10: 102–111. (In Russian). DOI:10.17513/use.38325.
2. Yakhina EP, Svetlova OI. Analiz tendentsii ispol'zovaniya tekhnologii lazernogo skanirovaniya pri sokhranении ob'ektov kul'turnogo naslediya Rossii [Analysis of Trends in the Use of Laser Scanning Technology in the Conservation of Russian Cultural Heritage Sites]. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2024;2(48): 58–63. (In Russian). DOI:10.52684/2312-3702-2024-48-2-58-63.
3. Kulesh AA. Vozmozhnosti i preimushchestva lazernogo skanirovaniya pri 3D-proektirovanii promyshlennykh ob'ektov [Capabilities and Advantages of Laser Scanning in 3D Design of Industrial Facilities]. *Innovation & Investment*. 2023;2: 265–267. (In Russian).
4. Prokopenko IV, Teterina KS, Saenko IA. Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v praktike restavratsionnykh rabot pamyatnikov arkhitekturnogo naslediya [Information Modeling Technologies in the Practice of Restoration Works of Architectural Heritage Monuments]. *Urban Studies*. 2023;2: 76–83. (In Russian). DOI:10.7256/2310-8673.2023.2.40766.
5. Babinova AD. Tselesoobraznost' primeneniya sovremennykh informatsionnykh tekhnologii v proektakh restavratsii ob'ektov kul'turnogo naslediya [The Expediency of Application Modern Information Technologies in Restoration Projects of Cultural Heritage Objects]. *BIM in Construction & Architecture: Proceedings of VII International Conference*. Saint Petersburg: SPSUACE; 2024: 290–296. (In Russian). DOI:10.23968/BIMAC.2024.039.
6. Kashevarova GG, Semina AE. Informatsionnoe modelirovanie zdaniy i klassifikatsiya arkhitekturnykh elementov dlya ob'ektov kul'turnogo naslediya [Information Modeling Technology for the Architectural Section of Cultural Heritage Objects]. *Academia. Architecture and Construction*. 2022;4: 138–143. (In Russian). DOI:10.22337/2077-9038-2022-4-138-143.
7. Girya LV, Trofimov GP. Obsledovanie pamyatnikov arkhitektury s ispol'zovaniem sovremennykh tekhnologii trekhmernogo skanirovaniya [Laser 3D Scanning of Architectural Monuments]. *Journal of Construction and Architecture*. 2022;24(6): 35–43. (In Russian). DOI:10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43.
8. Pukharensko YuV, Shangina NN, Kharitonov AM, et al. Problemy i perspektivy razvitiya informatsionnogo modelirovaniya dlya restavratsii ob'ektov kul'turnogo naslediya [Problems and Prospects for the Development of Information Modeling for Restoration of Cultural Heritage Objects]. *Academia. Architecture and Construction*. 2024;3: 171–175. (In Russian). DOI:10.22337/2077-9038-2024-3-171-175.
9. Mainicheva AYU, Gruzdeva EA, Orlova EYu. Metodika obmerov zdaniy metodom lazernogo skanirovaniya (na primere dvukh ob'ektov kul'turnogo naslediya Novosibirskoi oblasti) [Methods for Measuring Buildings Using Laser Scanning (on the Example of Two Objects of Cultural Heritage of the Novosibirsk Region)]. *Tomsk State University Journal of Cultural Studies and Art History*. 2023;51: 258–269. (In Russian). DOI:10.17223/22220836/51/22.
10. Listkov NS, Naserddin K. Ispol'zovanie sovremennykh priborov i tekhnologii dlya geodezicheskogo obespecheniya restavratsii arkhitekturno-istoricheskikh pamyatnikov [The Use of Modern Instruments and Technologies for the Geodetic Support of Architectural-Historical Monument Restoration]. *Prospects for the Development of Engineering Surveys in Construction in the Russian Federation: Proceedings of the Fourteenth All-Russian Scientific-Practical Conference and Exhibition of Surveying Organizations, Moscow, December 11–14, 2018*. Moscow: Geomarketing; 2018: 695–701. (In Russian).
11. Pugacheva PA, Danilov AK. Modelirovanie ob'ekta v srede Autodesk Revit [Modeling an Object in an Environment Autodesk Revit]. *Science in the Modern World: The View of Young Scientists: Proceedings of the VIII International Scientific-Practical Conference, Grozny, May 27–28, 2022*. Grozny: Chechen State Pedagogical University; 2022: 666–673. (In Russian).
12. Yang G, Meng W, Dong G, et al. Ispol'zovanie klyuchevykh toчек i linii izobrazheniya v zadache vizual'no-inertsial'noi odometrii v real'nom vremeni

- [Real-Time Visual-Inertial Odometry Based on Point-Line Feature Fusion]. *Gyroscopy and Navigation*. 2023;31(4): 96–117. (In Russian).
13. Solomatin VA. Prostranstvenno-chastotnye kharakteristiki lazernykh skanerov [Spatial-Frequency Characteristics of Laser Scanners]. *Opticheskii Zhurnal*. 2020;87(4): 19–27. (In Russian). DOI:10.17586/1023-5086-2020-87-04-19-27.
 14. Malinov VA, Pavlov NI, Popikov VS, et al. Sverkhbystroe skanirovanie prostranstva impul'sno-periodicheskim chirpirovannym lazernym izlucheniem po dvum ortogonal'nym koordinatam [Ultra-Fast Scanning of Space by Pulse-Periodic Chirped Laser Radiation Along Two Orthogonal Coordinates]. *Opticheskii Zhurnal*. 2025;92(1): 21–29. (In Russian). DOI:10.17586/1023-5086-2025-92-01-21-29.
 15. Stugirev ID, Astafieva NS. Ispol'zovanie lazernogo skanirovaniya kak sposoba sbora dannykh pri sozdanii informatsionnoi modeli zdaniya [Use of Laser Scanning as a Method of Data Collection in Creating a Building Information Model]. *Science Week of ISI: Proceedings of the All-Russian Conference*. In 3 parts. Part 2. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS; 2021: 201–203. (In Russian).
 16. Serezhkin VD, Asmankina AA, Bausova AA. Sravnitel'noe issledovanie mobil'nogo lazernogo skanirovaniya, nazemnogo lazernogo skanirovaniya i mobil'noi fotogrammetrii dlya obsledovaniya zheleznodorozhnoi infrastruktury [Comparative Study of Mobile Laser Scanning, Terrestrial Laser Scanning and Mobile Photogrammetry for Railway Infrastructure Inspection]. *Current State, Problems and Prospects for the Development of Industry Science: Proceedings of the IX All-Russian Conference with International Participation*. Moscow: Dashkov and K, 2025: 476–479. (In Russian).
 17. Rudenko AA, Cherny VA. Otsenka faktorov i metodika kontrolya kachestva rabot pri stroitel'stve i remonte zdanii s ispol'zovaniem nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Assessment of Factors and Methodology for Quality Control of Work During Construction and Repair of Buildings Using Terrestrial Laser Scanning]. *Bulletin of Civil Engineers*. 2025;6(113): 42–57. (In Russian). DOI:10.23968/1999-5571-2025-22-6-42-57.
 18. Syaglov YuI. Nazemnoe lazernoe skanirovanie i BIM-proektirovanie pri obsledovanii, monitoringe i rekonstruktsii zdanii [Terrestrial Laser Scanning and BIM-Design in Inspection, Monitoring and Reconstruction of Buildings]. *Investments, Urban Planning, Technologies as Drivers of Socio-Economic Development of the Territory and Improving the Quality of Life of the Population: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference*. In 2 parts. Part 2. Tomsk: TSUACE, 2026: 174–179. (In Russian).
 19. Noskov IV, Anashkina AE, Cherepanov DN, et al. Ekspertnaya otsenka praktikuemykh sistem nazemnogo lazernogo skanirovaniya dlya obespecheniya bezopasnoi ekspluatatsii ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva [Expert Evaluation of Practiced Ground-Based Laser Scanning Systems to Ensure Safe Operation of Facilities Capital Construction]. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(6): 1–16. (In Russian). Available from: <https://esj.today/PDF/28SAVN625.pdf> (Accessed 11 June 2025).
 20. Sheremetinsky AV. Sravnitel'nyi analiz primeneniya nazemnogo i SLAM-skanirovaniya pri obsledovanii stroitel'nykh konstruktsei [Comparative Analysis of the Use of Terrestrial and SLAM Scanning in Inspection of Building Structures]. *Current Issues and Innovations in Inspection of Building Structures of Buildings and Structures: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk: SFU; 2025: 11–15. (In Russian).

authors **Alexandr N. Gusev**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geodesy, Faculty of Geodesy

 0009-0001-6370-932X

Hassan H. Nasreddin

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geodesy, Faculty of Geodesy

PhD in Engineering, Associate Professor

 0009-0001-1806-7831

Submitted: June 19, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.