



Сравнительный анализ эффективности способов оценки выполненных строительных работ по облаку точек

Н.С. Исупов^{1✉}, Н.И. Фомин²

^{1,2}Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Масштабное использование цифровых возможностей технологии лазерного сканирования на этапах жизненного цикла строительного объекта ограничено рядом причин, среди которых можно отметить дефицит технологичных способов обработки результатов лазерного сканирования с последующей трансформацией полученного облака точек в цифровую исполнительную модель. В статье рассмотрен зарубежный и отечественный опыт практического использования облаков точек на этапе возведения строительного объекта, с возможностью верификации объемов выполненных работ на основе цифровой информационной модели. По результатам сравнительного анализа на примере несущего остова здания, выполненного в исполнительной и проектной информационных моделях, был выявлен общий недостаток известных методов для создания и определения на основе облаков точек объемов выполненных работ. В статье предлагается решение, устраняющее обнаруженный недостаток. Показаны преимущества предложенного способа, по сравнению с известными, на примере определения объема монолитной железобетонной стены гражданского здания. Выявлено расхождение в оценке выполненных объемов конструкции, полученных с использованием различных способов. Предложенный способ подсчета объемов по облаку точек позволяет повысить прозрачность управления на этапах жизненного цикла строительного объекта, обеспечивает более рациональное распределение материальных и трудовых ресурсов, повышает качество строительного контроля, а также достоверность исполнительной документации.

Ключевые слова: способ оценки, лазерное сканирование, облако точек, исполнительная цифровая модель, фактический объем работ, тесселяционная сеть

Для цитирования: Исупов Н.С., Фомин Н.И. Сравнительный анализ эффективности способов оценки выполненных строительных работ по облаку точек // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 3. С. 442–453. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-442-453>. EDN: KYBLKH.

Original article

Comparative analysis of the effectiveness of methods for evaluating completed construction work using a point cloud

Nikita S. Isupov^{1✉}, Nikita I. Fomin²

^{1,2}Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The large-scale use of digital capabilities of laser scanning technology at the stages of the life cycle of a construction facility is limited by a number of reasons, among which it is possible to note the lack of technological methods for processing laser scanning results with the subsequent transformation of the resulting point cloud into a digital executive model. The article considers the foreign and domestic experience of practical use of point clouds at the stage of construction of a construction object, with the possibility of verifying the volume of completed work based on a digital information model. Based on the results of a comparative analysis using the example of the load-bearing skeleton of a building made in the executive and design information models, a general disadvantage of known meth-

ods for creating and determining the volume of work performed based on point clouds was identified. The article proposes a solution that eliminates the discovered flaw. The advantages of the proposed method are shown, in comparison with the known ones, using the example of determining the volume of a monolithic reinforced concrete wall of a civil building. A discrepancy was revealed in the assessment of the completed volumes of the structure obtained using various methods. The proposed method of calculating volumes using a point cloud makes it possible to increase the transparency of management at the stages of the life cycle of a construction facility, ensures a more rational distribution of material and labor resources, improves the quality of construction control, as well as the reliability of executive documentation.

Keywords: assessment method, laser scanning, building structure, point cloud, as-built digital model, actual scope of work, tessellation network

For citation: Isupov N.I., Fomin N.I. Comparative analysis of the effectiveness of methods for evaluating completed construction work using a point cloud. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(3):442-453. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-442-453>. EDN: KYBLKH.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы наблюдается устойчивый рост востребованности технологии лазерного сканирования на этапах жизненного цикла строительного объекта. Эта тенденция, с некоторыми особенностями, также проявляется на этапе строительства. Востребованность лазерного сканирования при производстве строительно-монтажных работ обусловлена двумя причинами.

Во-первых, исполнительные геодезические схемы, составленные с использованием традиционного геодезического оборудования (тахеометры и т. п.), не позволяют в полной мере оценить фактические планово-высотные отклонения строительных конструкций. Так, на практике инженер строительного контроля или геодезист при приемке вертикальной конструкции (стена или колонна), руководствуясь нормативами, снимает показания по четырем контрольным точкам. Отклонения данных точек (по две в верхнем и нижнем сечении конструкции) от проектного положения будут зафиксированы в соответствующей исполнительной геодезической схеме. Наши наблюдения показали, что случаи, когда отклонения контролируемых точек конструкции находятся в нормативном допуске, а участок конструкции между ними имеет сверхнормативное выпучивание или вогнутость, не являются редкими. Таким образом, при формальном удовлетворительном положении, ответственная вертикальная конструкция может иметь сверхнормативные геометрические отклонения.

Во-вторых, значительные ресурсы подрядчиков и заказчиков расходуются на оценку фактически выполненных объемов, необходимых для обеспечения выполнения различных производственных планов и графиков,

заклучения договоров с подрядными организациями и т. п. Сравнительный анализ облака точек («оболочки» фактически реализованной конструкции) и проектной информационной модели (идеализированной конструкции), содержащей плановые объемы работ, позволяет не только оценить расхождение объемов, что особенно важно для современных тенденций снижения издержек на строительной площадке, но и выявить различные построечные дефекты.

Анализ мирового опыта применения технологии лазерного сканирования в строительстве выявил следующие тенденции. Чаще всего эту технологию применяют при реинжиниринге строительных объектов, особенно в случае потери проектной и исполнительной документации, при техническом обследовании объектов, для выявления и оценки дефектов конструкций и материалов, а также для определения фактических планово-высотных отклонений конструкций [1–7].

Так, группа исследователей из университетов Иордании предложила создать по облаку точек тесселяционную (TIN) поверхность для возможности виртуальной реконструкции и мониторинга состояния конструкций объектов культурного наследия [8]. Ученые из Италии конвертировали сетку, сформированную на основе облака точек конструкций крепостного сооружения, в конечно-элементную модель для расчета конструкций при обследовании объекта исторического наследия после землетрясения [9]. Аналогичное исследование было проведено учеными из Китая и Канады. На основе полученного облака точек была создана твердотельная геометрия и конечно-элементная модель для поверочных расчетов 30-ти метровой деревянной скульптуры с уче-

том формы бревен [10].

Исследователи и специалисты в разных странах занимаются разработкой различных программных инструментов для более результативного использования облака точек, полученного в результате лазерного сканирования строительного объекта.

Например, исследователи из Испании разработали плагин на языке C#, который на основе облака точек позволяет сформировать информационную модель строительных конструкций в формате *ifc*, которую можно технологично конвертировать в расчетный комплекс [11]. К аналогичному результату пришли ученые из Великобритании. Используя метод Scan-to-BIM-to-Sim и скрипты Python, на основе облака точек они создали цифровую информационную модель с учетом деформаций мостового сооружения, а затем экспортировали ее в расчетный комплекс для мониторинга конструкций [12].

Стоит упомянуть также исследователей из США, которые на основе нейронных сетей предложили способ распознавания объемных элементов в облаке точек с учетом их деформированного состояния. Он позволяет идентифицировать информацию о местности в ходе поисково-спасательных операций после стихийных бедствий [13].

Некоторые особенности практического применения результатов лазерного сканирования строительных объектов не получили надежных инструментов для их автоматического анализа. Например, остаются нерешенными вопросы с автоматической сегментацией облака точек, которые часто выполняются вручную, снижая тем самым эффективность применения технологии [14].

Согласно стратегии развития строительной отрасли до 2030 г., цифровая зрелость отрасли находится еще на недостаточном уровне¹.

К аналогичному выводу пришел ряд отечественных исследователей. Так, накопленный отечественный опыт лазерного сканирования позволил выявить следующие проблемы, препятствующие масштабному применению данной технологии:

- недостаточное количество исследований, отсутствие надежных методик работ с облаком точек, а также нормативного обеспечения применения технологии лазерного сканирования в строительной практике [15];

- узконаправленный результат применения технологии, который ограничивается со-

зданием облака точек и полигональной модели для визуализации;

- слабый функционал существующего программного обеспечения (включая отсутствие универсальных отечественных программ по работе с облаками точек) для передачи всех несовершенств геометрии по облаку точек [16].

Вместе с отмеченными недостатками технология лазерного сканирования обладает важным преимуществом для применения на строительной площадке – на практике сложнее сфальсифицировать облако точек, по сравнению, например, с исполнительной геодезической схемой. Таким образом, оценка фактически выполненных работ, основанная на использовании облака точек, обладает значительным потенциалом для повышения качества и прозрачности контроля строительных процессов [17].

В настоящее время облака точек активно применяют на строительных площадках для оценки объемов земляных сооружений (насыпи и выемки сложной формы), путем создания TIN сети и измерения объема полученной модели сооружения относительно плоскости с заданной отметкой [18, 19].

Иная ситуация сложилась при оценке фактического объема выполненных (смонтированных) на строительной площадке конструкций, имеющих замкнутый контур, например, монолитных железобетонных стен, пилонов и колонн. Применить способ с созданием TIN сети для таких объектов не получится, т. к. выполненная на площадке конструкция, имеющая собственные отклонения и дефекты, не позволит сформировать ровную (реперную) плоскость относительно которой возможно определить объем.

Таким образом, технологии, связанные с использованием на основе лазерного сканирования облака точек, находят практическое применение на этапах жизненного цикла строительного объекта. При выполнении облака точек объекта на этапе строительства в разных организациях идут попытки сформировать исполнительную информационную модель строительного объекта (ИИМ), которые имеют следующий недостаток – полученная модель никак не связана с облаком точек и в точности не отражает результат работы лазерного сканера, т. к. пользователь вручную приводит в соответствие расположение элементов в плане, высотные отметки, толщину, расположение проемов, уклоны таким обра-

¹Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 31 октября 2022 г. № 3268-р. М.

зом, чтобы все поверхности элементов модели точно совпадали с поверхностями, образованными облаками точек.

Цель данной работы заключается в сравнительном анализе существующих способов оценки выполненных работ на основе облака точек и разработке усовершенствованного способа создания поверхности объемного элемента на этапе строительства (*as-built*) для определения объемов строительно-монтажных работ. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– выполнен анализ существующих способов определения объема работ по облаку точек (на примере монолитных конструкций);

– разработан усовершенствованный способ определения объемов работ (на примере монолитных конструкций) с использованием отечественного программного комплекса;

– определено расхождение результатов оценки объема конструкции (на примере монолитной железобетонной стены), полученных с использованием различных способов.

МЕТОДЫ

В настоящее время создание ИИМ с последующей выгрузкой фактических объемов элементов модели реализуется в формате пилотного проекта, результаты которого планируется использовать на следующих этапах жизненного цикла. Блок-схема данного процесса представлена на рис. 1.

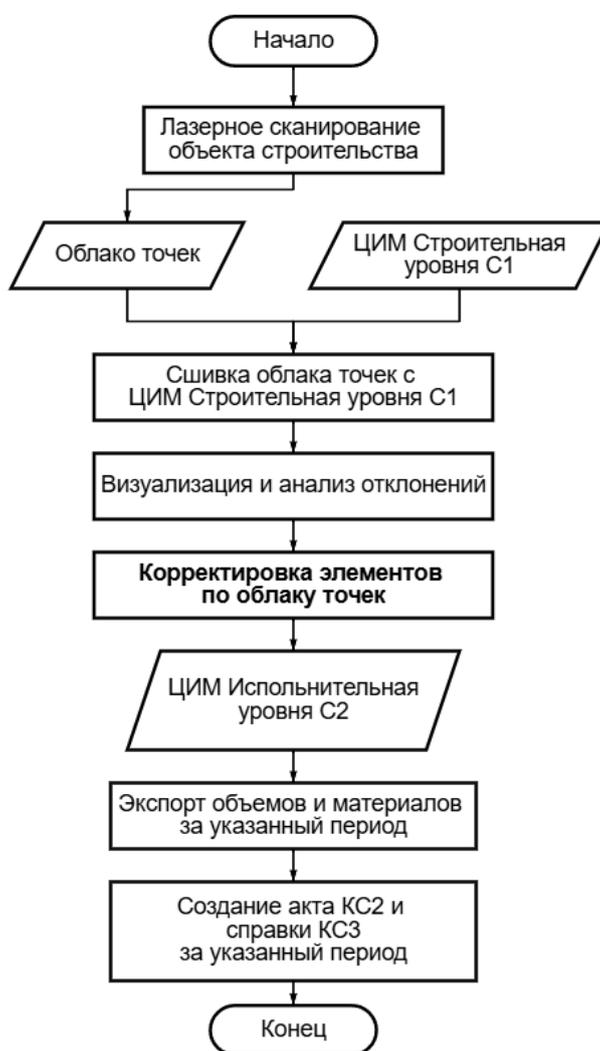


Рис. 1. Блок-схема создания исполнительной информационной модели с выгрузкой фактических объемов элементов модели для формирования исполнительной документации: ЦИМ – цифровая информационная модель; КС2 – акт приема выполненных работ; КС3 – справка о стоимости выполненных работ

Fig. 1. Flowchart for creating an executive information model with uploading the actual volumes of model elements for the generation of as-built documentation: DIM – digital information model; KS2 – acceptance certificate for work performed; KS3 – certificate of cost of work performed

Выделенный в блок-схеме процесс – корректировка элементов по облаку точек – является предметом настоящего исследования. Накопленный опыт применения облаков точек в строительстве показывает, что возможности применения таких массивов используются достаточно фрагментарно. Например, в большинстве случаев применение облаков точек сводится к формированию цветных схем геометрических отклонений конструкций.

Согласно положениям нормативной документации, для ИИМ уровня проработки С2 присваивается LOD 500, который подразумевает, что в элементы ЦИМ должна быть внесена информация об отклонении конструкций от проектного положения².

На практике, ввиду отсутствия однозначных требований пользователей к модели, до настоящего времени не сформировался единый методический подход к обеспечению данного результата. Нередко при реализации инвестиционно-строительных проектов формирование ЦИМ завершается уже на этапе проектирования, без корректировки на последующих этапах жизненного цикла. В других слу-

чаях к элементам ЦИМ на этапе строительства привязывают файлы исполнительной документации, преследуя цели сформировать некое подобие ИИМ. В наиболее прогрессивных организациях на этапе строительства ЦИМ корректируют по результатам лазерного сканирования. Данные корректировки (изменение толщины, высотные отметки, уклоны и т. п.) вносятся в модель вручную, для максимального соответствия поверхностей элементов модели облаку точек, таким образом формируется ИИМ. Следует отметить, что все вышеперечисленные способы создания ИИМ не обладают высокой точностью.

В данном исследовании облако точек применялось для оценки объема фактически выполненных строительных конструкций. В качестве исходных данных были изучены облако точек вертикальных несущих монолитных конструкций типового этажа строящегося жилого здания в г. Екатеринбурге (результаты лазерного сканирования предоставила специализированная подрядная организация) и ИИМ, полученная от проектной организации. Схема станций сканирования представлена на рис. 2.

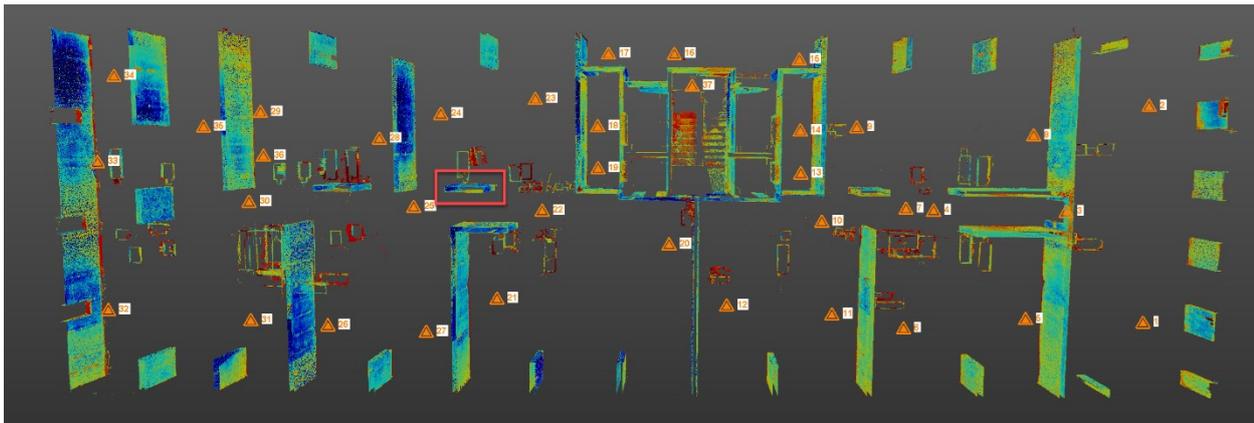


Рис. 2. Облако точек вертикальных несущих монолитных конструкций типового этажа (красным выделена исследуемая стена)

Fig. 2. Point cloud of vertical load-bearing monolithic structures of a typical floor (the wall under study is highlighted in red)

Для определения объема монолитной железобетонной стены (создания ИИМ) были применены на практике три способа оценки объемов конструкций по облаку точек и авторский способ.

Способ 1. Получение объемов бетона из проектной ЦИМ (вариант идеализированной ИИМ). Особенности: данный способ не учитывает фактическую форму конструкции, выполненных в построечных условиях.

Способ 2. Редактирование элементов проектной ЦИМ по облаку точек. Самый распространенный способ формирования ИИМ. Особенности: данный способ не является точным, т. к. отражает приблизительную форму конструкции. Большую роль играет опыт пользователя, который будет изменять параметры элементов проектной ЦИМ для совмещения элементов модели с облаком точек.

Таким образом, пользователи с разной

²СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.

квалификацией, вероятно, сформируют разные ИИМ.

Способ 3. Создание твердотельной геометрии путем «выдавливания» геометрии через вписанные в облако точек плоскости. Особенности: данный способ не является точным, при этом влияние человеческого фактора будет минимальным, т. к. основные операции по построению геометрии выполняются программой автоматически. Блок-схема операций представлена на рис. 3.

Способ 4 (авторский). Построение TIN сетки по облаку точек. Особенности: данный спо-

соб является самым точным, но трудоемким. Блок-схема операций представлена на рис. 3.

В качестве основного программного обеспечения, в котором была создана TIN сетка по облаку точек, применялась отечественная программа «Napasad облако точек 24.0».

В программе отсутствует функционал подсчета количественных характеристик конструкции (объем, площадь) для объемной геометрии, сформированной по облаку точек. Поэтому, для решения вышеуказанной проблемы, авторы экспортировали полученную геометрию в Blender 3.4.

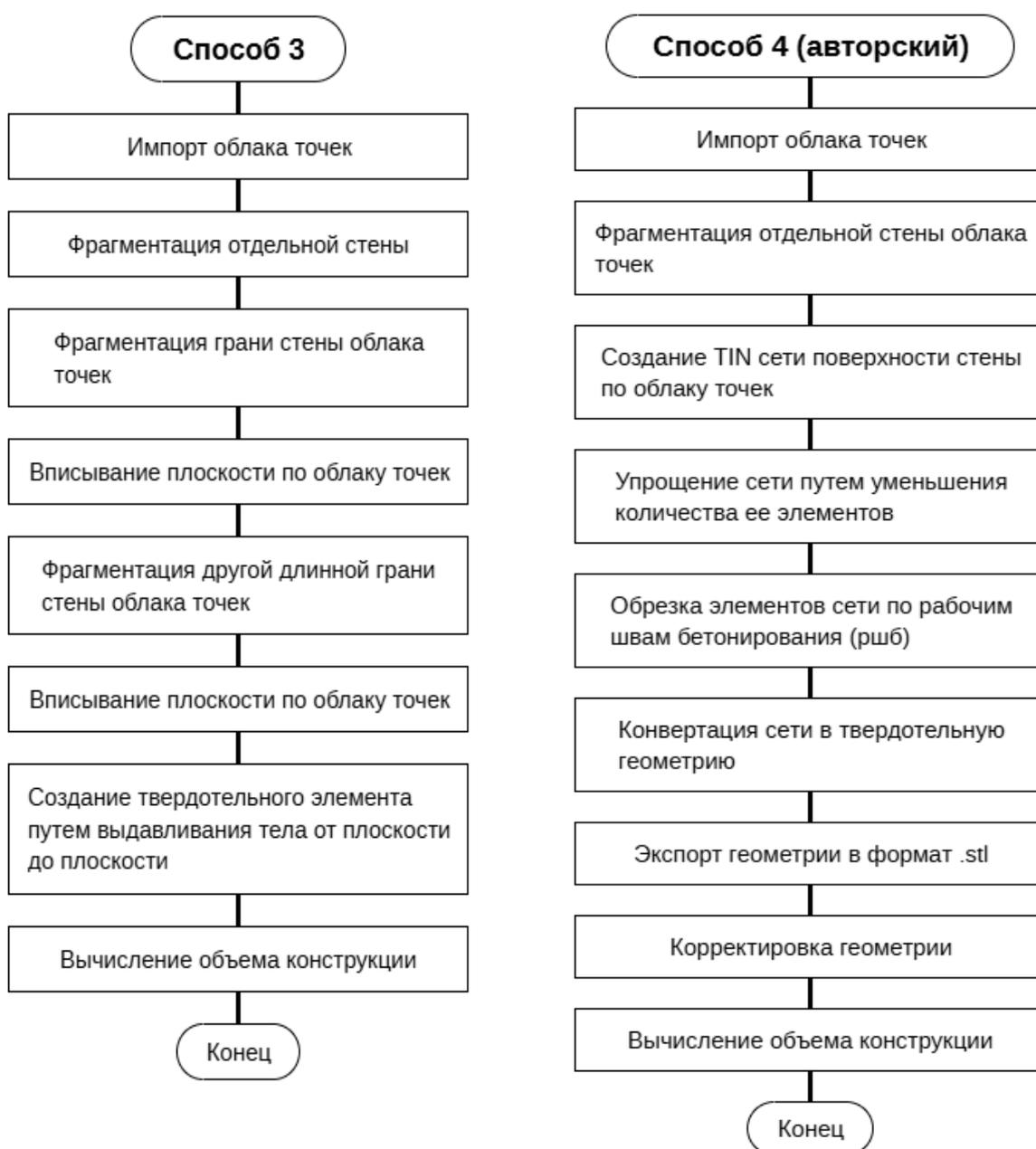


Рис. 3. Блок-схема реализации способов 3 и 4
Fig. 3. Block diagram of implementation of methods 3 and 4

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке объема монолитной стены размерами 1650×250×2650 мм (полученный объем – 1,093 м³) за идеальный результат был принят проектный объем из ЦИМ.

В качестве информации об изменении элемента по облаку точек по способу 2 в ИИМ был оставлен пользовательский комментарий: «длина изменена с 1650 на 1670 мм, толщина

с 250 на 270 мм» (полученный объем – 1,195 м³). Результат анализа облака точек в ИИМ, полученный по способу 2, представлен на рис. 4. Значительное влияние на результат определения объемов работ по способу 3 оказывает очистка облака точек от шумов и последующей фрагментации стены для «выдавливания» геометрии. Результат полученный по способу 3 представлен на рис. 5.

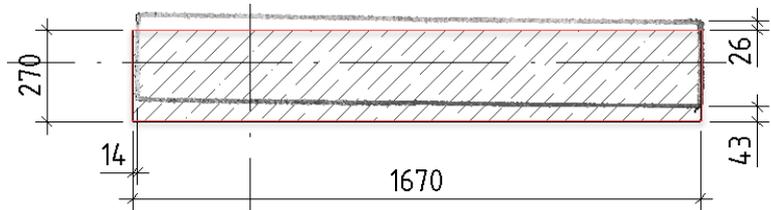


Рис. 4. Стена в измененной исполнительной информационной модели (красным выделены откорректированные грани стены, серым показано облако точек)
Fig. 4. Wall in the modified executive information model (the adjusted faces of the wall are highlighted in red, the cloud of points is shown in gray)

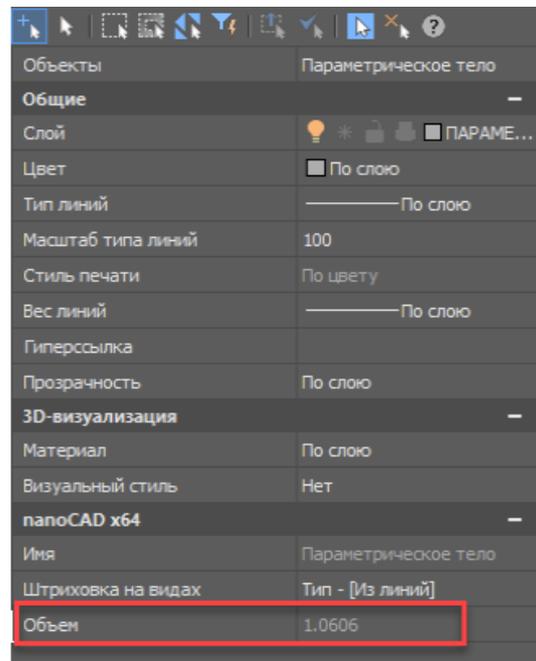
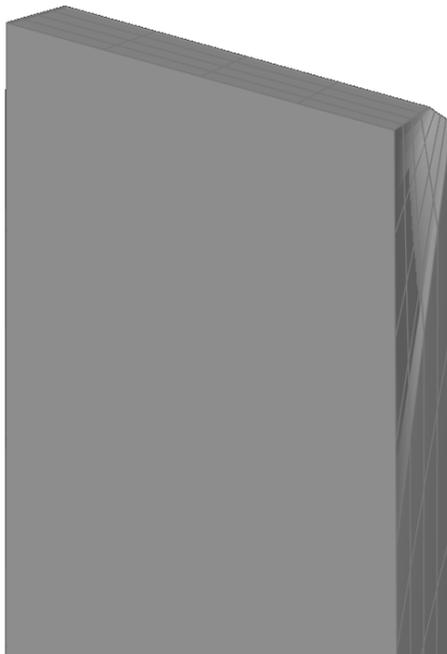


Рис. 5. Результат визуализации поверхности стены, полученный по способу 3
Fig. 5. The result of visualization of the wall surface obtained using method 3

На рис. 5 видно, как в верхнем углу стены сформировалась искаженная геометрия поверхности, которая не соответствует облаку точек (фактической геометрии).

Таким образом, для повышения качества формирования поверхности по критерию ее соответствия облаку точек необходимо более детально вычищать облако точек путем ручной обрезки облака точек от единичных, локальных точек, находящихся на удалении от основного массива точек конструкции.

Визуализация поверхности стены, сфор-

мированной в результате применения способа 4, показана на рис. 6.

Сравнивая между собой изображения поверхности стены на рис. 5 и 6 стоит отметить, что способ 4 позволяет получить более реальную поверхность конструкции, содержащую полости, каверны, местные неровности и т. п., которые образовались в результате нарушения технологии производства опалубочных и бетонных работ. Количественные значения объемов стены, определенные по всем способам, представлены в таблице.

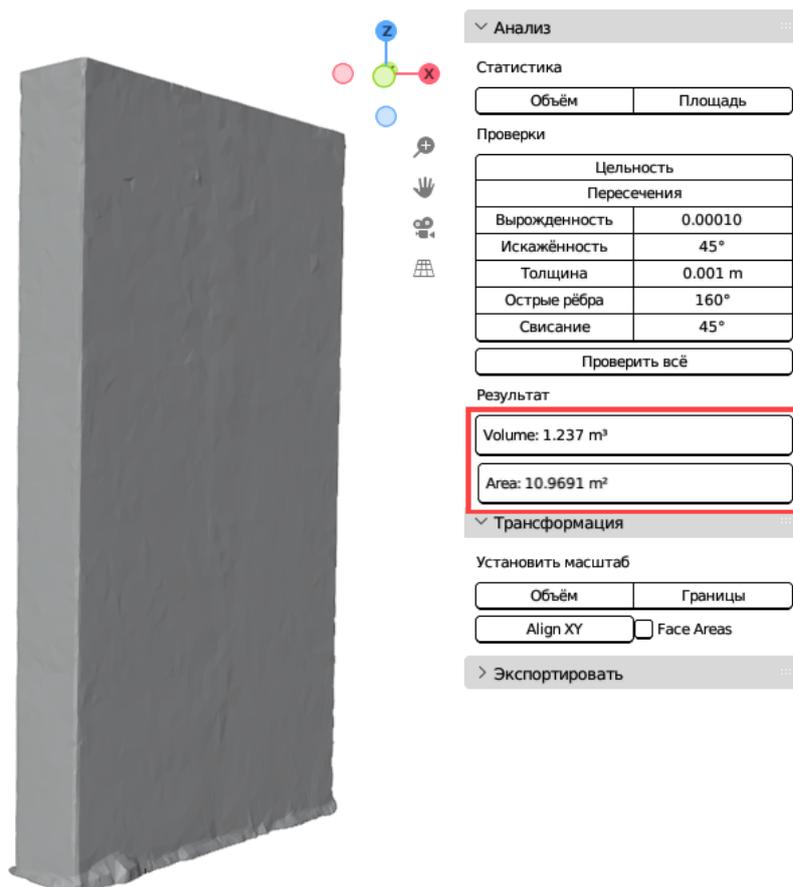


Рис. 6. Результирующая визуализация поверхности стены, сформированной по способу 4
Fig. 6. Resulting visualization of the wall surface formed using method 4

Количественные значения объемов стены, определенные по всем способам
 Quantitative values of wall volumes determined by all methods

Порядковый номер способа	Объем монолитной железобетонной стены, определенный по данному способу, м ³	Расхождение полученного результата, по сравнению с проектным значением объема стены в цифровой информационной модели, %
1	1,093	0
2	1,195	9,3
3	1,061	3,2
4	1,237	13,1

Из таблицы видно, что наибольшее отклонение от проектного значения объема было получено по авторскому способу 4. Отсюда можно сделать следующий вывод по выбору способа анализа облака точек – чем более точный результат оценки объема обеспечивает способ, тем большее отклонение от проектной величины будет получено в результате его применения.

Безусловно, технологию лазерного сканирования сложно назвать простым инструментом оценки качества выполнения работ, однако такая технология позволяет обеспечить до-

стоверность результатов контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа трех существующих способов подсчета объемов работ по облаку точек был выявлен один существенный недостаток – фактическая геометрия конструкции на строительной площадке не соответствует геометрии конструкции в информационной модели. Это может иметь негативное последствие, обусловленное возможностью использования некорректной информации для подтверждения в исполнительной документации выполненных работ.

Для устранения выявленного недостатка авторами предложен усовершенствованный способ подсчета объема работ (конструкции), основанный на создании TIN сетки по облаку точек и дальнейшем экспорте ее в твердотельную геометрию. Данный способ пока относительно трудоемкий, по сравнению с другими, из-за отсутствия необходимого функционала в отечественных программах, реализующих работу с облаком точек.

Вместе с этим, данный способ позволяет получить более реалистичную поверхность конструкции, содержащую технологические дефекты. Авторы надеются, что разработчики отечественных программных комплексов обратят внимание на данную проблему и функционально обеспечат возможность работы с результатом лазерного сканирования в едином цифровом пространстве для ускорения

процесса обработки облаков точек.

В результате моделирования (на примере монолитной железобетонной стены) представлены количественные результаты подсчета объема стены по каждому способу. Сравнение полученных значений объемов с проектной (идеальной) величиной позволило авторам сделать следующий вывод – чем более точный результат оценки объема обеспечивает способ, тем большее отклонение от проектной величины будет получено в результате его применения.

Авторы продолжают исследования по проблемам формирования ИИМ и эффективного использования данных моделей на этапах жизненного цикла строительного объекта. В следующей публикации запланировано структурировать проблемы, которые возникают при подсчете объемов работ по облаку точек.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bariczova G., Erdelyi J., Honti R., Tomek L. Wall Structure Geometry Verification Using TLS Data and BIM Model // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. Iss. 24. P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/app112411804>.
2. Могучев С.Б. Строительный контроль с использованием облака точек и информационной модели здания // *Инженерный вестник Дона*. 2022. № 6. С. 580–589. EDN: AORUME.
3. Young-Jin Cha, Wooram Choi, Büyükoztürk O. Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2017. Vol. 32. Iss. 5. P. 361–378. <https://doi.org/10.1111/mice.12263>.
4. 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. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43>. EDN: KYKCUL.
5. Молоков П.В. Создание трехмерных моделей объектов историко-культурного наследия с использованием наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки // *Экология. Экономика. Информатика*. Серия: геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2024. Т. 2. № 9. С. 55–63. <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2024-2-9-55-63>. EDN: YBEUUA.
6. Sharif M., Rausch C., Ndiongue S., Haas C., Walbridge S. Using 3D Scanning for Accurate Estimation of Termination Points for Dimensional Quality Assurance in Pipe Spool Fabrication // *International Journal of Industrialized Construction*. 2021. Vol. 2. Iss. 1. P. 54–69. <https://doi.org/10.29173/ijic253>.
7. Курбанов О.А. Оценка перспектив применения наземного 3D-лазерного сканирования при строительно-монтажных работах нежилых зданий // *Интернаука*. 2024. № 20-1. С. 17–23. EDN: IDKEQL.
8. Al-Fugara A., Al-Adamat R., Al Haddad M., Al-Shawabkeh Y., El-Khalili M., Obaidat D. Using of Laser Scanning and Dense Stereo Matching for 3D Documentation and Virtual Reconstruction of the Ancient Sama Monastery/Jordan // *International Journal of Remote Sensing Applications*. 2016. Vol. 6. P. 19–29. <https://doi.org/10.14355/ijrsa.2016.06.003>.
9. Castellazi G., D'Altri A.M., Bitelli G., Selvaggi I., Lambertini A. From Laser Scanning to Finite Element Analysis of Complex Buildings by Using a Semi-Automatic Procedure // *Sensors*. 2015. Vol. 15. Iss. 8. P. 18360–18380. <https://doi.org/10.3390/s150818360>.
10. Fan Xie, Xiao Pan, Yang T.Y., Ernewein B., Minghao Li, Robinson D. A Novel Computer Vision and Point Cloud-Based Approach for Accurate Structural Analysis of a Tall Irregular Timber Structure // *Structures*. 2024. Vol. 70. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107697>.
11. Justo A., Lamas D., Sanchez-Rodriguez A., Soilan M., Riveiro B. Generating IFC-Compliant Models and Structural Graphs of Truss Bridges from Dense Point Clouds // *Automation in Construction*. 2023. Vol. 149. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104786>.
12. Yunping Fang, Mitoulis S.-A., Boddice D., Jialiang Yu, Ninic J. Scan-To-BIM-To-Sim: Automated Reconstruction of Digital and Simulation Models from Point Clouds with Applications On Bridges // *Results in Engineering*. 2025. Vol. 25. P. 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104289>.
13. Jingdao Chen, Yong K. Cho, Jun Ueda Sampled-Point Network for Classification of Deformed Building Element Point Clouds // *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 2018. P. 2164–

2169. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2018.8461095>.

14. Jingdao Chen, Yong K. Cho Point-to-point Comparison Method for Automated Scan-vs-BIM Deviation Detection // Proceedings of 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. 2018. P. 1–9.

15. Богданов А.Н., Алешутин И.А. Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 4. С. 326–332. EDN: VQTQVG.

16. Вареник К.А., Вареник А.С., Храмов Д.Д., Чамеев А.С. Создание цифровой информационной модели Георгиевского собора Юрьева монастыря на основе результатов лазерного сканирования и фотogramметрии // Перспективы науки. 2023. № 4. С. 80–86. EDN: AIMLVR.

17. Мелин М.А., Бреус Н.Л. Преимущества цифрового документооборота при подготовке и ведении исполнительной документации // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 3. С. 1–11. EDN: XSJWWX.

18. Фёдоров В.С., Тюменцев А.И. Геоинформационное и дистанционное обеспечение маркшейдерских съемок карьеров малой и средней глубины на базе беспилотных летательных аппаратов (на примере районов Иркутской области) // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2023. Т. 2. С. 87–92. EDN: NFIUKG.

19. Soomin Lee, Jung Yeoul Bae, Sharafat A., Jongwon Seo Waste Lime Earthwork Management Using Drone and BIM Technology for Construction Projects: The Case Study of Urban Development Project // KSCE Journal of Civil Engineering. 2024. Vol. 28. Iss. 2. P. 517–531. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1245-z>.

REFERENCES

1. Bariczova G., Erdelyi J., Honti R., Tomek L. Wall Structure Geometry Verification Using TLS Data and BIM Model. *Applied Sciences*. 2021;11(24):1-20. <https://doi.org/10.3390/app112411804>.

2. Moguchev S.B. Building Control Using Point Cloud and Building Information Model. *Engineering Journal of Don*. 2022;6:580-589. (In Russ.). EDN: AORUME.

3. Young-Jin Cha, Wooram Choi, Büyüköztürk O. Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2017;32(5):361-378. <https://doi.org/10.1111/mice.12263>.

4. Girya L.V., Trofimov G.P. Laser 3D Scanning of Architectural Monuments. *Journal of Construction and Architecture*. 2022;24(6):35-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43>. EDN: KYKCUL.

5. Molokov P.V. Creation of 3D Models of Historical and Cultural Heritage Objects Using Terrestrial Laser Scanning and Aerial Photography. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring*. 2024;2(9):55-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2024-2-9-55-63>. EDN: YBEUUA.

6. Sharif M., Rausch C., Ndiongue S., Haas C., Walbridge S. Using 3D Scanning for Accurate Estimation of Termination Points for Dimensional Quality Assurance in Pipe Spool Fabrication. *International Journal of Industrialized Construction*. 2021;2(1):54-69. <https://doi.org/10.29173/ijic253>.

7. Kurbanov O.A. Assessing The Prospects for The Application of Ground-Based 3D-Laser Scanning in Non-Residential Building Construction Work. *Internauka*. 2024;20-1:17-23. (In Russ.). EDN: IDKEQL.

8. Al-Fugara A., Al-Adamat R., Al Haddad M., Al-Shawabkeh Y., El-Khalili M., Obaidat D. Using of Laser Scanning and Dense Stereo Matching for 3D Documentation and Virtual Reconstruction of the Ancient Sama Monastery/Jordan. *International Journal of Remote Sensing Applications*. 2016;6:19-29. <https://doi.org/10.14355/ijrsa.2016.06.003>.

9. Castellazi G., D'Altri A.M., Bitelli G., Selvaggi I., Lambertini A. From Laser Scanning to Finite Element Analysis of Complex Buildings by Using a Semi-Automatic Procedure. *Sensors*. 2015;15(8):18360-18380. <https://doi.org/10.3390/s150818360>.

10. Fan Xie, Xiao Pan, Yang T.Y., Ernewein B., Minghao Li, Robinson D. A Novel Computer Vision and Point Cloud-Based Approach for Accurate Structural Analysis of a Tall Irregular Timber Structure. *Structures*. 2024;70:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107697>.

11. Justo A., Lamas D., Sanchez-Rodriguez A., Soilan M., Riveiro B. Generating IFC-Compliant Models and Structural Graphs of Truss Bridges from Dense Point Clouds. *Automation in Construction*. 2023;149:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104786>.

12. Yunping Fang, Mitoulis S.-A., Boddice D., Jialiang Yu, Ninic J. Scan-To-BIM-To-Sim: Automated Reconstruction of Digital and Simulation Models from Point Clouds with Applications On Bridges. *Results in Engineering*. 2025;25:1-21. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104289>.

13. Jingdao Chen, Yong K. Cho, Jun Ueda Sampled-Point Network for Classification of Deformed Building

- Element Point Clouds. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 2018:2164-2169. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2018.8461095>.
14. Jingdao Chen, Yong K. Cho Point-to-point Comparison Method for Automated Scan-vs-BIM Deviation Detection. *Proceedings of 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. 2018:1-9.
15. Bogdanov A.N., Aleshutin I.A. Land Laser Scanning in Construction and BIM-Technologies. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2018;4:326-332. (In Russ.). EDN: VQTQVG.
16. Varenik K.A., Varenik A.S., Khramov D.D., Chameev A.S. Creation of Digital Models of St. George's Cathedral of the Yuryev Monastery Using the Results of Laser Scanning and Photogrammetry. *Science Prospects*. 2023;4:80-86. (In Russ.). EDN: AIMLVR.
17. Melin M.A., Breus N.L. Advantages of Digital Document Management in The Preparation and Maintenance of Executive Documentation. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022;14(3):1-11. (In Russ.). EDN: XSJWWX.
18. Fedorov V.S., Tyumentsev A.I. Geoinformation and Remote Support for Mine Surveying of Shallow and Medium-Depth Quarries Using Unmanned Aerial Vehicles (Using The Example of Irkutsk Region Districts). *Problemy razrabotki mestorozhdenii uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh*. 2023;2:87-92. (In Russ.). EDN: NFIUKG.
19. Soomin Lee, Jung Yeoul Bae, Sharafat A., Jongwon Seo Waste Lime Earthwork Management Using Drone and BIM Technology for Construction Projects: The Case Study of Urban Development Project. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2024;28(2):517-531. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1245-z>.

Информация об авторах

Исупов Никита Сергеевич,

аспирант,
Уральский федеральный университет имени
первого президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия,
✉e-mail: isupovn98@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4301-3202>
Author ID: 1167047

Фомин Никита Игоревич,

к.т.н., доцент, директор института
строительства и архитектуры,
заведующий кафедрой промышленного,
гражданского строительства и экспертизы
недвижимости,
Уральский федеральный университет имени
первого президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17,
Россия,
e-mail: ni.fomin@urfu.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7095-7161>
Author ID: 241981

Information about the authors

Nikita S. Isupov,

Postgraduate Student,
Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N. Yeltsin,
19 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia,
✉e-mail: isupovn98@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4301-3202>
Author ID: 1167047

Nikita I. Fomin,

Cand. Sci (Eng.), Associate Professor,
Head of the Institute of Civil Engineering
and Architecture, Head of the Department
of Industrial and Civil Engineering and Estate
Expertise,
Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N. Yeltsin,
17 Mira St., Ekaterinburg 620002,
Russia,
e-mail: ni.fomin@urfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7095-7161>
Author ID: 241981

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 27.03.2025.
Одобрена после рецензирования 25.04.2025.
Принята к публикации 27.04.2025.

Information about the article

The article was submitted 27.03.2025.
Approved after reviewing 25.04.2025.
Accepted for publication 27.04.2025.