

Научная статья

УДК 343.1

DOI: 10.35854/2219-6242-2022-4-456-466

Теоретические и практические основы применения технологии трехмерного лазерного сканирования в судебной строительно-технической экспертизе

Оксана Геннадьевна Карнаухова^{1✉}, Туяна Бабасановна Дондукова²,
Елизавета Максимовна Самусенко³

^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

¹ oksana309@list.ru✉

² dtb66@mail.ru

³ lsamusenko2000@mail.ru

Аннотация. В статье раскрыты вопросы о применении технологий лазерного 3D-сканирования в судебной строительно-технической экспертизе, а также о преимуществах использования данного метода. Авторами выполнен анализ основных видов лазерного сканирования с учетом величины, сложности объекта и его технических особенностей. Рассмотрены примеры эффективного использования лазерного 3D-сканирования в судебной строительно-технической экспертизе.

Ключевые слова: лазерное 3D-сканирование, судебная строительно-техническая экспертиза, развитие технологий, цифровизация, моделирование

Для цитирования: Карнаухова О. Г., Дондукова Т. Б., Самусенко Е. М. Теоретические и практические основы применения технологии трехмерного лазерного сканирования в судебной строительно-технической экспертизе // Социология и право. 2022. Т. 14. № 4. С. 456–466. <https://doi.org/10.35854/2219-6242-2022-4-456-466>

Original article

Theoretical and practical bases of application of three-dimensional laser scanning technology in forensic construction and technical expertise

Oksana G. Karnaukhova^{1✉}, Tuyana B. Dondukova², Elizabeth M. Samusenko³

^{1, 2, 3} St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

¹ oksana309@list.ru✉

² dtb66@mail.ru

³ lsamusenko2000@mail.ru

Abstract. The article deals with the application of 3D laser scanning technologies in forensic construction and technical expertise, as well as the advantages of using this method. The analysis of the main types of laser scanning is carried out taking into account the size, complexity of the object and its technical features. Examples of effective use of 3D laser scanning in forensic construction and technical expertise are considered.

Keywords: 3D laser scanning, forensic construction and technical expertise, technology development, digitalization, modeling

© Карнаухова О. Г., Дондукова Т. Б., Самусенко Е. М., 2022

For citation: Karnaukhova O. G., Dondukova T. B., Samusenko E. M. Theoretical and practical bases of application of three-dimensional laser scanning technology in forensic construction and technical expertise. *Sociology and Law. 2022;14(4):456-466.* (In Russ.). <https://doi.org/10.35854/2219-6242-2022-4-456-466>

Введение

Строительная отрасль на современном этапе оперирует большим количеством технологий, максимально востребованных в строительстве. Однако увеличение темпов и масштабов строительства зданий за счет новых технологий приводит и к негативным последствиям. В частности, становится больше случаев возведения зданий, не соответствующих технологиям, а значит, больше человеческих жертв и, как следствие, возникают случаи причинения материального ущерба физическим и юридическим лицам.

Согласно исследованиям, проведенным экспертами негосударственной экспертной организации “iQB Technologies” в рамках изучения лазерных сканирующих устройств компании “FARO”, стоимость переделок в строительстве составляет 30 %, что свидетельствует о пяти-шести % общих затрат. В результате таких потерь 90 % материалов не используется, задействование сотрудников составляет примерно 40–60 % [1]. Причины сложившейся ситуации состоят в некорректности предварительных расчетов (речь идет о количестве материалов и сотрудников, времени и т. д.). Все это ведет к ошибкам в проектировании, снижению уровня качества строительного объекта, повышению сметы, простоям на площадке.

С целью предотвращения подобных случаев в рамках судебной строительно-технической экспертизы проводятся исследования, связанные с уменьшением числа ошибок и снижения рисков на всех этапах строительства.

Материалы и методы

Методологической базой исследования являются эмпирические методы (наблюдение, описание, сравнение, анализ, синтез), а также специальные методы познания — социологический и исторический. Заключение судебных строительно-технических экспертиз послужили эмпирическим материалом в контексте проведенного исследования.

Результаты

Технологии трехмерного лазерного сканирования в судебной строительно-технической экспертизе обеспечивают огромную экономию времени и ресурсов, а также предотвращают различные ошибки экспертных заключений. Сегодня эксперты считают наземное лазерное сканирование одним из наиболее точных методов, который позволяет получить максимально полную информацию о пространственном объекте. Кроме того, указанный метод лазерного сканирования признан самым быстрым по производительности.

Обсуждение

Судебная строительно-техническая экспертиза отличается целым рядом применения различных инструментов и средств. Наряду с классическими приборами геодезического измерения (тахеометром и нивелиром) в экспертизе активно применяются технологии лазерного 3D-сканирования. Лазерным 3D-сканированием

называют технологию измерения и создания трехмерных моделей объектов с максимальной точностью и детализацией.

Исследования, проведенные американским журналом *Point of Beginning (POB)* с 2016 по 2018 г., показали, что востребованность в применении технологии лазерного сканирования в строительстве значительно возросла. Так, в 2016 г. спрос составлял 20 %, в 2017 г. возрос до 22 %. Но через год, в 2018 г., уровень спроса увеличился до 57 %. Предполагается, что ежегодный прирост объемов в настоящее время будет составлять около 15 %. Денежный оборот рынка технологий лазерного 3D-сканирования в 2016 г. оценивался в три миллиарда долларов. Однако, по прогнозам специалистов, к 2024 г. ожидается прирост финансового потока до десяти миллиардов долларов [2]. Развитие технологий и их цифровизация в строительно-экспертной области обеспечит огромную экономию времени и ресурсов, а также предотвратит различные риски и ошибки.

Существует три основных вида лазерного сканирования в производстве строительно-технической экспертизы, которые чаще всего используют судебные эксперты. В зависимости от величины, технических особенностей и в целом от сложности объекта применяется один из следующих видов сканирования. Рассмотрим каждый из них подробнее.

1. Наземное лазерное сканирование — наиболее распространенный вид съемки. Статический прибор является главной особенностью съемки, за счет него происходит основной процесс в целом. Цифровой объект создается двумя способами: первый — путем наведения визира на материальный объект, второй — при помощи предварительного сканирования с небольшой плотностью координатных точек [3, с. 69].

2. Мобильное лазерное сканирование. Съемка производится в непрерывном режиме с водного или наземного носителя. Принцип процесса съемки аналогичен наземному лазерному сканированию. Отличие состоит в том, что приборы закрепляют на какое-либо транспортное средство, которое направляют по заданному маршруту. Данная технология лазерного сканирования используется в целях 3D-моделирования линейных инфраструктурных объектов либо массивованного картографирования [4, с. 57].

3. Самым детальным и быстрым сегодня признано сканирование с воздуха. Этот вид позволяет в дальнейшем работать с отдельными объектами инфраструктуры, зданиями, строениями, рельефом земной поверхности. Картографирование линейных объектов происходит в масштабе от 1:500 до 1:5 000, что позволяет сделать высокоточные картинки с учетом всех особенностей рельефа.

Таким образом, трехмерное изображение формируется за счет работы системы, которая с высокой скоростью производит замеры расстояний от сканера до поверхности исследуемого объекта, обрабатывает и регистрирует, а затем передает информацию на носитель. С учетом этого становится очевидным, что лазерное сканирование — самый быстрый и точный метод измерительной съемки, позволяющий получить максимально полную информацию о пространственном объекте в судебной строительно-технической экспертизе [5, с. 185].

При сравнении со спутниковыми и оптическими геодезическими методами наземное лазерное сканирование отличается точностью измерений, высокой скоростью и детальностью. Принцип работы заключается в нахождении координат точек объекта исследования в пространстве. Процесс измерения расстояния от сканирующего устройства до всех видимых точек исследуемого объекта происходит за счет безотражательного дальномера с типом фазового или импульсного метода измерения. Точность измерения расстояния в процессе съемки, исходя из инструкции МИ СМК 71.12.12, как видно из таблицы 1, зависит от диффузной

отражательной поверхности — альbedo. Из таблицы становится понятным, что увеличение расстояния напрямую влияет на точность измерений.

Таблица 1

Точность измерений в работе с лазерным сканером

Расстояние, м	Альbedo 14 %, мм	Альbedo 37 %, мм	Альbedo 80 %, мм
10	0,5	0,4	0,3
25	1	0,6	0,5
50	2,7	1,2	0,8
100	10	3,8	2

Замеры производятся с высокой скоростью: тысячи, десятки тысяч, а иногда и миллионы измерений в секунду. Результат съемки содержит набор данных — «облако точек». На завершающей стадии процесса съемки все данные формируются в общий массив путем «сшива». На указанном этапе происходит создание сферической панорамной карты здания, позволяющей эксперту просматривать панораму с любой точки сканирования и делать заметки.

Далее в таких программах, как *PointShape*, *FARO*, *Geomagic*, *Creaform*, происходит обработка данных сканирования с последующим созданием трехмерной копии физического объекта. Собранные данные используются для цифровых, 2D- или 3D-моделей, плоского чертежа, набора сечений, поверхности и т. д. Изложенный подход существенно упрощает взаимодействие со всеми участниками строительного процесса (девелопером, строителем, проектировщиком и т. п.).

Значительное отличие лазерного сканера от других видов инструментов измерительной съемки посредством лазера состоит в возможности проведения съемки объектов, находящихся в труднодоступных местах, на отдаленных расстояниях и под любым углом: 360° горизонтально и 270° вертикально [6, с. 109]. Повышенная степень автоматизации при наземном сканировании дает преимущества по сравнению с остальными информационными методами.

Во-первых, речь идет о разнообразных территориальных условиях (например, о применении технологии в полевых условиях). Лазерное сканирование определяет координаты заданных точек объекта без привязки к ориентировочным объектам на местности. Затем 3D-визуализация в реальном времени позволяет неэксплуатируемым участкам обрести форму на этапе полевых работ.

Во-вторых, точность измерения настолько высока, что нет необходимости сканировать объект в двух положениях. В-третьих, удаленное сканирование гарантирует защищенность работников при съемке в опасных или труднодоступных местах.

Рынок наземных лазерных сканирующих устройств сегодня разнообразен. Выбор устройства напрямую зависит от его технических характеристик, которые наиболее полно раскрываются в зависимости от вида строительного объекта и задач. В процессе выбора устройства необходимо учитывать следующие параметры: скорость, точность, дальность. Наземный лазерный сканер — это техническое устройство, состоящее из взаимосвязанных функциональных частей. Поэтому одним из наиболее важных параметров, который сказывается на характеристике устройства, служит дальность. В сканерах дальномеры делятся три вида, в зависимости от метода измерения: фазовый, импульсный, импульсный с оцифровкой сигнала и триангулярный.

Рассмотрим подробнее каждый тип.

Фазовый метод измерения расстояний заключается в следующем: измеряют посылаемые сигналы и принимаемые сигналы на каждой фазе, сравнивают их. Особенность данного метода состоит в точности на небольших расстояниях, как показано на рисунке 1. Суть импульсного метода измерения расстояний сводится к тому, что измеряют время прохождения сигнала от устройства, передающего сигнал, до изучаемого объекта и обратно, как видно на рисунке 2. Импульсные дальномеры с оцифровкой сигнала — наиболее современный, быстрый и точный метод, что отражено на рисунке 3.

При триангулярном методе измерения расстояний процесс измерения происходит путем определения пространственного положения точки за счет построения треугольника.

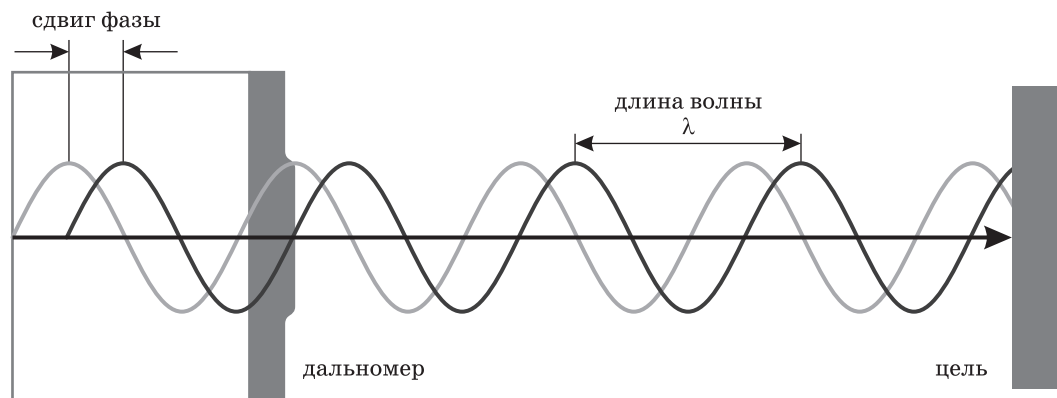


Рис. 1. Принцип работы фазового дальномера



Рис. 2. Принцип работы импульсного дальномера

Современный рынок изобилует разнообразием фирм-производителей лазерных сканеров. Ведущими и наиболее популярными компаниями в данном сегменте остаются производители лазерных сканеров — *Leica*, *Trimble*, *Surphaser* [7]. Выбор фирмы напрямую зависит от принципа действия сканирующего устройства, максимально измеряемого расстояния и его точности, как видно на рисунке 4.

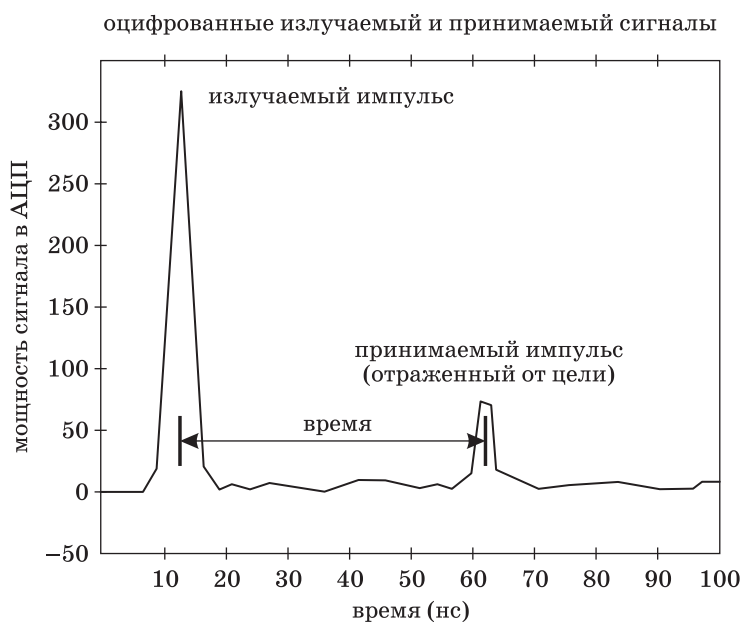


Рис. 3. Принцип работы дальномера — импульсного с оцифровкой сигнала

Принцип измерения	Максимальное измеряемое расстояние, м	Точность определения расстояния, мм	Фирмы-производители лазерных сканеров данного типа
Импульсный метод определения расстояния	50–300	до 10	<i>Callidus, Leica, Trimble, Optech, Riegl</i>
		до 20	<i>Optech, Riegl</i>
Фазовый метод определения расстояния	до 100	до 10	<i>IQSun, Leica, VisImage, Z+F</i>
Метод оптической триангуляции	до 5	до 1	<i>Trimble, Minolta</i>

Рис. 4. Лазерный сканер по принципу действия

Результатом работ с использованием лазерного сканирования являются следующие материалы:

- 1) топографический план местности (M1:1000, M1:500, M1:200 и выше);
- 2) визуализированная цифровая модель объекта;
- 3) интеллектуальная 3D-модель (формат *AVEVA PDMS*);
- 4) трехмерные модели:
 - a) *TIN*-модель (формат *STL, OBJ, VRML, X3D*);
 - b) модель в виде *NURBS*-поверхности (формат *IGES, STEP*);
 - c) геометрическая твердотельная модель (формат *AVEVA PDMS, Intergraph SmartPlant, Intergraph SmartMarine* и др.);
- 5) чертежи, схемы, измерения в графическом и табличном варианте (координаты, отклонения, расстояния, радиусы, уклоны и т. д.);

- 6) данные об отклонении физического объекта от трехмерной модели в интерактивной среде;
- 7) набор отчетов о проделанной работе, проверке точности, построении сети съемочного обоснования.

Разобравшись в теоретических основах работы лазерного 3D-сканирования, следует перейти к практической составляющей. Данная технология применяется в разных областях, в основном в строительстве.

Рассмотрим пример использования лазерного сканирования в области монтажа мостовых секций при производстве судебной строительно-технической экспертизы, что отражено на рисунке 5. В частности, показательным является строительство моста через реку Иртыш, самого длинного в Центральной Азии, с помощью *FARO Focus* — наиболее востребованного оборудования среди наземных лазерных 3D-сканеров. К задачам, которые выполняет это оборудование, относятся контроль качества и реверс-инжиниринг при работе с крупногабаритными объектами строительства и открытыми пространствами.

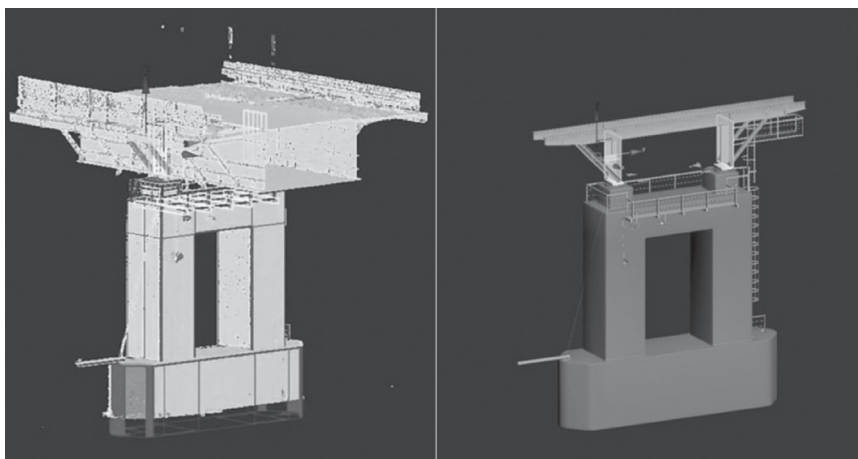


Рис. 5. 3D-моделирование опоры моста по образцу точек лазерного сканирования (слева) и готовая модель опоры (справа)

Указанный образец обладает большой дальностью действия (до 350 м), портативностью, высокой точностью и возможностью эксплуатации в условиях разной сложности, а также относительной простотой в работе и эффективной интеграцией с различными системами автоматизированного проектирования (САПР). Все трехмерные лазерные сканеры указанного производителя внесены в государственный реестр Российской Федерации (РФ) в качестве средств измерений.

Процесс 3D-сканирования и моделирования моста происходит в следующем порядке:

1. Производитель предоставляет CAD-модель секции моста.
2. С помощью *FARO Focus S150* производится сканирование секции, в результате образуется так называемое облако точек.
3. Программное обеспечение *Geomagic Control X* проводит сравнение полученных данных с CAD-моделью. В результате получается карта отклонений геометрии. Далее происходит проверка размеров.
4. Размеры проверяются в плоскости и сечении.
5. На заключительном этапе автоматически генерируется метрологический отчет.

По итогам выполненной работы получены результаты, которые дали полный отчет об эффективности и безопасности конструкций данного моста. Таким образом, в заключении отражена годность деталей конструкций. В рамках экспертизы использование высокотехнологичных инструментов контроля геометрии обеспечило большую точность в измерениях и повысило надежность монтажа мостовых секций [8, с. 92].

Другим примером применения трехмерного метода лазерного сканирования служит обследование технического состояния Георгиевского собора в Юрьеве-Польском, являющемся одним из самых известных памятников каменного зодчества Владимиро-Суздальской Руси XIII в., показанного на рисунке 6. Особенность уникального собора — белокаменный резной декор. Обрушение собора произошло в XV в., позднее проводились активные работы по его восстановлению. Но, к сожалению, целостность каменных рельефов утрачена. Впоследствии рельефы удалось восстановить благодаря архитекторам, но произвольно. Разные исследователи неоднократно пытались провести реконструкцию собора. Однако множество повреждений строения и разнообразность его рельефов затрудняли проведение таких работ.

В настоящее время существует множество информационных технологий, с помощью которых можно произвести реконструкцию и вернуть первоначальный облик собора, а также восстановить изображения древних сюжетов. Среди этих технологий — программы 3D-моделирования, лазерное сканирование, *BIM*-технологии, фотограмметрия [3, с. 68].

Специалистами разработана новая программная среда для систематизации каменных рельефов с целью реконструкции утраченных фрагментов библейских и мифических сюжетов, расположенных на стенах собора.



Рис. 6. Георгиевский собор в Юрьеве-Польском

Технология трехмерного лазерного сканирования постоянно совершенствуется: модернизируются новые конструкции лазерных сканеров, обновляется программное обеспечение, которое способно управлять различными приборами и выполнять обработку полученных данных. Наряду с преимуществами лазерного сканирования существуют небольшие трудности при внедрении в экспертную деятельность прогрессивного технического оборудования.

Рассмотрим недостатки и их возможные решения на примере наземного лазерного сканирования. Во-первых, сканирующее устройство способно распознать только видимые участки. Но в большинстве случаев на практике существуют здания, которые сложно отсканировать цельно, даже добавляя по периметру объ-

екта дополнительные вспомогательные станции установки прибора. Вспомогательным объектом экспертного исследования может стать инженерное сооружение, рядом с которым отсутствует точка выше данного объекта. В таких случаях эксперту необходимо искать иное инструментальное решение или дополнять полученные со сканера данные, взятые с другого оборудования. На наш взгляд, решением этой проблемы может стать использование технологии аэрофотосъемки. Совместная работа наземного лазерного сканера и материалов устройства при аэрофотосъемке в полном объеме решает проблему съемки «невидимых» зданий и сооружений [9, с. 327].

Во-вторых, наблюдается значительная сложность при сканировании стеклянных поверхностей (например, зданий с фасадным остеклением), что выступает недостатком технологии лазерного сканирования, который в большинстве случаев мешает проведению строительно-технической экспертизы. При сканировании стекла лазерный пучок отражается от поверхности, попадая обратно в приемник. В итоге данные получаются с существенным количеством помех и шумов. На наш взгляд, решение проблемы состоит в нанесении на абсолютно гладкие поверхности специального назначения меловых красок либо сканировании объектов без учета фасадов с остеклением [10, с. 27].

В-третьих, сканирующее устройство в полном объеме зависит от окружающей среды, а погодные условия легко могут воспрепятствовать реализации съемки или снизить результаты сканирования, создавая помехи в «облаке точек». Все это отражается на исследуемом объекте и препятствует достоверности результатов. Такие помехи недопустимы при сканировании нужного объекта, поскольку требуется максимальная точность.

Известны различные методы и приемы использования лазерного 3D-сканирования. В судебной строительно-технической экспертизе выбор зависит от цели и задачи исследования. Но единой методики работы с данным оборудованием не существует.

Выводы

В настоящее время судебные эксперты используют для производства строительно-технических экспертиз три основных вида лазерного сканирования: наземный, мобильный, сканирование с воздуха. Выбор вида зависит от величины и сложности объекта исследования, а также его внешних и технических особенностей.

По сравнению с оптическими геодезическими и спутниковыми методами лазерное трехмерное сканирование отличается точностью измерений, высокой скоростью и детальностью, что позволяет проводить исследование наиболее эффективно.

В заключение можно выделить несколько недостатков лазерного сканирования, проявляющихся в судебно-экспертной деятельности:

- описанное устройство способно сканировать лишь внешние участки объекта;
- нет возможности произвести сканирование, если поверхность стеклянная и гладкая;
- при плохих погодных условиях провести видеосъемку не представляется возможным, а следовательно, и результаты сканирования могут быть отрицательными.

Достоинствами и перспективами использования трехмерного лазерного сканирования в судебной строительно-технической экспертизе является существенная экономия ресурсов и времени, а также возможность предотвратить экспертные ошибки.

Список источников

1. *Попадюк С. М.* Как ускорить проектирование в строительстве: FAQ по программным продуктам FARO // iQB Technologies: блог. 2021. 13 мая. URL: <https://blog.iqb.ru/faq-faro-software/> (дата обращения: 05.10.2022).
2. Обзор применения лазерного сканирования в строительстве // Союз экспертов Северо-Запада. URL: <https://expert-szd.ru/lazernoe-skanirovanie-v-stroitelstve/> (дата обращения: 20.09.2022).
3. *Старостенко Р. В., Козин П. А.* Лазерное сканирование в судебной строительно-технической и стоимостной экспертизе при обследовании технического состояния здания и сооружений // Актуальные проблемы использования высокотехнологичных методов экспертных исследований: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 25 марта 2019 г. / под общ. ред. А. В. Табакова. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. С. 68–76.
4. *Фролов А. А.* Технологии трехмерного наземного лазерного сканирования // Лазерное сканирование. 2006. С. 57–61.
5. *Бутырин А. Ю.* Теория и практика судебной строительно-технической экспертизы. М.: Городец, 2016. 224 с.
6. *Харченко В. Б.* Особенности применения 3D-лазерного сканирования в судебной инженерно-технической экспертизе // Юридическая наука. 2019. № 10. С. 109–110.
7. Применение технологий лазерного сканирования // Geosystems.ru. 2017. URL: <https://geosystems.ru/use/> (дата обращения: 03.10.2022).
8. *Давиденко П. В., Кладиев Н. Н., Наумов А. Е., Жариков И. С., Ерижкова Е. С.* Совершенствование методики прогнозирования деформаций строительных конструкций объектов незавершенного строительства при проведении строительно-технических экспертиз // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова. 2019. № 5. С. 90–98. DOI: 10.34031/article_5ce292c50f67f9.02927539
9. *Храмлюк А. К., Романова Т. А., Акопян Г. Т.* Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Наука, техника, технологии (политехнический вестник). 2019. № 2. С. 327–330.
10. *Кошан Е. К.* Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 9. № 1. С. 27–30.

Информация об авторах

О. Г. Карнаухова — кандидат юридических наук, доцент, доцент кафедры судебных экспертиз; 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 5;

Т. Б. Дондукова — кандидат юридических наук, доцент, доцент кафедры судебных экспертиз; 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 5;

Е. М. Самусенко — студент 5 курса факультета судебных экспертиз и права в строительстве и на транспорте; 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 5.

Information about the authors

O. G. Karnaukhova — PhD in Law, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Forensic Examinations; 5, 2nd Krasnoarmeyskaya str., St. Petersburg 190005, Russia;

T. B. Dondukova — PhD in Law, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Forensic Examinations; 5, 2nd Krasnoarmeyskaya str., St. Petersburg 190005, Russia;

E. M. Samusenko — 5th year student of the Faculty of Forensic Examinations and Law in Construction and Transport; 5, 2nd Krasnoarmeyskaya str., St. Petersburg 190005, Russia.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest related to the publication of this article.

Статья поступила в редакцию 28.10.2022; одобрена после рецензирования 22.11.2022; принята к публикации 19.12.2022.

The article was submitted 28.10.2022; approved after reviewing 22.11.2022; accepted for publication 19.12.2022.