

Мобильное лазерное сканирование городских дорог: оценка трудозатрат для получения качественного результата

Е.А. Гребенюк^{1,2}, С.И. Ротков¹

¹ Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет; ул. Ильинская, д.65, г. Нижний Новгород, 603000, Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия

Аннотация

Мобильное лазерное сканирование является наиболее комплексным видом инженерных изысканий для подготовки информационных моделей автомобильных дорог с прилегающей инфраструктурой. В настоящей статье приводятся авторские наблюдения, основанные на обработке результатов мобильного лазерного сканирования дорог регионального центра РФ летом 2021 года в рамках тендера на актуализацию КСОДД для городских дорог, подведомственных региональному комитету по транспорту. В статье также приводятся численные формулы, по которым можно оценить трудозатраты на проведение и обработку результатов сканирования (выраженные в человекочасах и рублях), которые можно использовать для расчета предварительной стоимости государственных тендеров на проведение и обработку результатов мобильного лазерного сканирования автомобильных дорог общего пользования. Так, на 1000 км городских дорог цена может колебаться от 59.6 млн до 150.1 млн рублей в ценах на середину 2023 года.

Ключевые слова

Мобильное лазерное сканирование, ГИСОГД, ГИС, сканирование дорог, бюджет, трудозатраты, транспорт.

Mobile Laser Scanning of Urban Roads: Cost Estimation for a High-quality Result

Е.А. Grebenyuk^{1,2}, S.I. Rotkov¹

¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering; 65 Ilinskaya str., Nizhny Novgorod, 603000, Russia

² Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University; Polytechnicheskaya, 29, St.Petersburg, 195251, Russia

Abstract

Mobile laser scanning is the most comprehensive type of engineering surveys for the preparation of information models of highways with adjacent infrastructure. This article presents the author's observations based on the processing of the results of mobile laser scanning of roads of the regional center of the Russian Federation in the summer of 2021 as part of the tender for updating the CSODD (comprehensive scheme organization of road's traffics) for urban roads subordinated to the regional transport committee. The article also provides numerical formulas to use it to estimate the labor costs for conducting and processing scanning results (expressed in man-hours and rubles), which can be used to calculate the preliminary cost of public tenders for conducting and processing the results of mobile laser scanning of public roads. So, for 1000 km of urban roads, the price can range from 59.6 million to 150.1 million rubles in prices for the middle of 2023.

ГрафиКон 2023: 33-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-21 сентября 2023 г., Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

EMAIL: inj5@yandex.com (Е.А. Гребенюк); rotkov@mail.ru (С.И. Ротков)

ORCID: 0000-0002-0683-2786 (Е.А. Гребенюк); 0000-0003-2530-3297 (С.И. Ротков)



© 2023 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Keywords

Mobile laser scanning, GIS, roads scanning, budget, labor costs, transport.

1. Введение

На эксплуатацию существующих автомобильных дорог ежегодно выделяются значительные государственные субсидии, и, как во всей строительной отрасли они с одной стороны, слабо поддаются контролю, а с другой стороны – прогнозированию, какая сумма будет нужна для покрытия всех эксплуатационных расходов. Проблема обоснования расходов, как и проблема их прогнозирования проистекают из факта отсутствия у субъектов исполнительной власти точных данных о текущем состоянии подведомственной транспортной инфраструктуры, а также парка техники, позволяющей сканировать дороги самостоятельно, что приводит к необходимости организовывать тендеры на сканирование и обработку результатов по рыночным ценам.

В отношении городских автомобильных дорог круглосуточно проводится комплекс мероприятий, в который вовлечено множество различных служб и отраслевых комитетов/министерств, что вкупе с бумажным оборотом документов и фактами ненадлежащего исполнения обязанностей\коррупцией\подлогом часто приводит к фальсификации или устареванию данных, что в итоге сказывается на необъективности общей картины состояния дорог. Говоря именно о городских дорогах, мы намеренно рассматриваем более сложную ситуацию, чем, например – на региональных дорогах с меньшим трафиком движения, более простой схемой движения и, соответственно, необходимыми техническими средствами организации дорожного движения (здесь и далее – ТСОДД) для его обеспечения.

Решение проблемы несоответствия фактического и документально-подтвержденного состояния – это проведение инвентаризации текущего состояния улично-дорожной сети и внедрение правил дальнейшей работы с данными в рамках взаимодействия между предприятиями, и если второе – это вопрос, по большому счету административный, то первое – непосредственно связано с инженерными изысканиями и их последующей обработкой, как можно в более сжатые сроки.

Задача инвентаризации – это съемка существующих дорог и создание по ним паспортов или проектов организации дорожного движения. При этом сама съемка, как правило, проводится автоматизированными системами сканирования (как правило, лазерными), что ускоряет процесс съемки и её обработку. Кроме того, лазерное сканирование существенно снижает вероятность ошибки позиционирования элементов обустройства при дорогах, и также при съемке идет параллельная съемка 360-градусных панорам (снимки высокого разрешения), являющихся дополнительным источником информации о местности.

Рассмотрим далее публикации отечественных исследователей о применении мобильного лазерного сканирования для съемки автодорог и публикации об этих процессах.

2. Отечественный опыт применения лазерного сканирования для автодорог

Для оценки состояния автомобильных дорог и мостовых конструкций должен происходить их регулярный мониторинг. Классические обследования долгое время включали только визуальный осмотр, в то время как развивающиеся в дорожной одежде микротрещины могли быть долгое время незаметны, и впоследствии привести к большим операционным издержкам при ремонтах. Отмечают, что основным видом разрушения асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог является усталостное напряжение, проявляющееся визуально в виде сеток мелких коротких трещин. [1, 2]

Фактор неопределенности планирования объемов ремонта, а также объемов денежных средств, потребных для эксплуатации дорог (и в частности, их ремонта) потребовали механизации классических обследований, результатом чего стало появление специализированных дорожных лабораторий, проводящих комплексные обследования состояния дорожного покрытия, и фиксацию ТСОДД. В состав исследований могут водить

устройства для выемки и анализа кернов из текущей дорожной одежды, модуль измерения колеи, проверки сцепления колеса с дорожным покрытием, системы сканирования поверхности дороги и рядом расположенных конструкций. [2, 3]

Как правило, дорожными лабораториями оснащаются профильные организации и агентства, занимающиеся эксплуатацией автомобильных дорог и мостов, в то время как исполнительные органы власти, в ведомстве которых находятся общественные автомобильные дороги городского или регионального значения, таким парком техники не обладают, и для сканирования зачастую привлекают в рамках тендеров частных подрядчиков или сторонние коммерческие организации со своей техникой – чаще мобильными лазерными сканирующими устройствами.

В зависимости от объекта исследования (мостовые сооружения, городские дороги, региональные дороги) выделяют различные способы сканирования – классическое наземное лазерное сканирование (НЛС), мобильное лазерное сканирование (МЛС), воздушное лазерное сканирование (ВЛС), съемку с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), аэрофотосъемку (АФС). В условиях городской застройки, как правило, единственным вариантом сканирования остается МЛС, в силу невозможности разрешить пролет устройств и в связи с ограничениями безопасности. Также можно опираться на данные спутниковой съемки высокого разрешения (если они имеются на местность, или их возможно заказать для данной территории).

Несмотря на то, что на практике наиболее часто встречается именно мобильное лазерное сканирование, ряд исследований касается также вопроса сравнения МЛС с АФС или другими альтернативными вариантами съемки. Так, отмечалось, что АФС более применимо к подготовке крупномасштабных топографических планов и при съемке дорог с прилегающей растительностью результат будет не вполне достоверным, по сравнению с данными МЛС [4, 5, 6].

В сравнении стоимости проведения и обработки съемки МЛС и АФС отмечают интересную статистику: стоимость оборудования для проведения МЛС выше в 4 раза необходимого комплекта для осуществления АФС, а стоимость съемки методом МЛС в 6 раз выше стоимости выполнения аэрофотосъемочных работ с БПЛА. [5]

Отечественные публикации в области мобильного лазерного сканирования начинаются с 2010х годов, что свидетельствует о сравнительно недавнем интересе к подобному виду обследований и высокой стоимости самого сканирования, а также оборудования для него. В современных условиях многие западные производители ограничили ввоз оборудования в РФ, что также сказалось на росте стоимости услуг, рискам и издержкам при ремонте оборудования.

Зарубежный опыт сканирования свидетельствует о более ранней истории вопроса, что объясняется большей технологичностью европейских стран в организации внутреннего транспортного сообщения и доступности оборудования для проведения сканирования. [7]

В публикациях ряда авторов отмечается необходимость предварительной обработки материалов сканирования, при котором производят черновую классификацию облаков точек, выполняют удаление шумов, привязку облака к целевой системе координат (при необходимости), производят выравнивание данных относительно маркеров на земле. [8]

Непосредственно программная обработка результатов лазерного сканирования выполняется в разном программном обеспечении (ПО далее). Среди российских производителей ПО популярностью издавна пользуется Индорсофт, сотрудники которого помимо разработки, также иногда участвуют в обработке материалов лазерного сканирования [9-12]. Среди проводимых работ можно отметить их градацию в зависимости от цели сканирования: для проектирования, для паспортизации или для геоинформационных систем, при этом для каждого из вариантов фиксируются минимальная точность сканирования и потребные характеристики.[9] В другой публикации предлагается метод оценки колеи автомобильных дорог на основе облаков точек – они загружаются в среду IndorCAD, по ним строится цифровая копия дороги, после чего по поперечным профилям оценивается колеиность. [10]

Вопросу обработки облаков точек МЛС от посторонних шумов посвящено исследование [11]. В другом исследовании приведена оценка трудозатрат традиционными методами геодезической съемки (тахеометрическая съемка) и лазерного сканирования на участке федеральной автомобильной дороги Р-255 «Сибирь», подъезд к г. Томску, км 71+000- км 82+000. В частности,

общие трудозатраты на 11 км дорогу указываются как 756 трудочасов без учета подготовки местности к работе. [12]

Похожая работа с оценкой трудозатрат была проведена другими авторами для 18-км участка местной дороги на юге России. Согласно приведенным результатам при 2-часовой съемке с Lynx Mobile Mapper M1 было получено 170 Гб сырых данных и почти 30 000 фотографий. [13]

Цель проведения лазерного сканирования помимо операционной оценки колеиности или состояния дорог и мостов также сводится к формированию паспорта автомобильной дороги или ее цифровой модели, по которой также формируется паспорт или схема организации дорожного движения (в зависимости от условия). [14-16] Отмечается, что схема организации дорожного движения на протяженную территорию (района/города) называется КСОДД - комплексная схема организации дорожного движения, и её надо отличать от проектов ОДД на локальные улицы или участки дорог. [14]

Дальнейший путь полученных данных касается по большей части встраивания обработанных данных (паспортом и информационных моделей) в государственные информационные системы обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД) [17-19], а также разработке и тестированию новых методик съемки и обработки данных для трехмерных информационных моделей. [20]

В силу того, что внедрение ГИСОГД на уровне регионов представляет собой долгий процесс согласований и работу, как правило, в закрытом режиме, публикаций на этот счет очень мало, что также отмечалось авторами при разработке своей стратегии обработки данных МЛС для последующей интеграции в геоинформационную базу данных для передачи региональному министерству по транспорту [21]. Связанные с этим проблемы сопоставления данных из сред автоматизированного проектирования (САПР) в геоинформационные системы (ГИС) также имели место быть, и освещались в ряде публикациях [22, 23]. В рамках этой же серии исследований имело место публикация анализа зависимости качества итоговых данных от скорости движения автомобиля с установленным сканером по улицам города, по результатам которого формулировался вывод о недопустимости движения сканирующего автомобиля со скоростью более 40 км\ч. [24]

3. Методика обработки МЛС

Один из авторов настоящей статьи входил в состав рабочей группы, выполнявшей работы в рамках открытого государственного тендера по разработке проектов организации дорожного движения на период эксплуатации в 2021-2022 годах для одного из региональных центров РФ. В таблице 1 представлены основные технические показатели проекта на стадии задания. Ниже представлены часть основных метрических характеристик проекта, которому посвящена данная статья.

Таблица 1 – Основные технические показатели проекта на стадии задания

Наименование показателя	Значение показателя
Срок исполнения работ по сканированию, подготовке и сдаче проектов ОДД по ним	2021 год
Протяженность анализируемых дорог (с МЛС)	~2500 км
Количество анализируемых улиц	~ 1000 штук
Форма выдачи результата	Проект организации дорожного движения по каждой улице + графическая часть (чертежи ОДД в dwg)

3.1. Метрические показатели проекта и процесса разработки документации

В таблицах далее приведены показатели, по которым производилось сканирование и велась подготовка документации.

В приведенной таблице 2 ниже представлены основные показатели проведенного мобильного лазерного сканирования.

Таблица 2 – Основные показатели данных МЛС

Наименование показателя	Значение показателя
Суммарный файловый вес и объем исходных данных (облака точек laz с шумами)	~ 5 Тб (~400...500 млрд точек с RGB-кодом и геопривязкой)
Количество панорамных изображений (съемка велась параллельно со сканированием)	~275 000 шт (~ 1 Тб)
Название сканера	Trimble MX9
Использовавшееся ПО для обработки облаков точек	Bentley Terrasolid, Autodesk ReCap, Autodesk Civil 3D, CloudCompare, утилиты lastools

По результатам МЛС формировались 2 набора данных – первичное позиционирование ТСОДД, а также растровая подоснова для отрисовки горизонтальной дорожной разметки.

Позиционирование ТСОДД выполнялось посредством ручной простановки точечных маркеров в AutoCAD, используя преобразованные облака точек в Autodesk ReCap (процедуры конвертации совершались пакетно, по ночам на выделенных компьютерах, потому в трудочасах фактически не учитывались). Ориентировочные трудозатраты на подготовку позиционирования в течение всего проекта заняли порядка 4000 человеко-часов.

Подготовка растровой подосновы по облаку точек сперва велась с использованием CSF-фильтра в CloudCompare, но из-за высокой длительности эта операция позже была заменена программной обработкой с использованием средств разработки (чтение облака точек и формирование растровых изображений по вертикальному срезу облака точек) в фоновом режиме, поэтому фактические трудозатраты в итоге составили порядка 100 человеко-часов.

Итоговые схемы организации дорожного движения формировались в среде IndorTrafficPlan, а трудозатраты (разработка + нормоконтроль) составили порядка 20000 человеко-часов.

Трудозатраты на подготовку текстовой части (пояснительной записки) включая конечную печать и формирование бумажных версий ПОДДов заняли ориентировочно 8000 человеко-часов.

В таблице 3 далее приведены метрики по результатам обработки облаков точек для получения первичного позиционирования ТСОДД и растровых подоснов, а также уточненные количественные данные после создания на основе предварительных данных информационных моделей в среде IndorTrafficPlan.

Таблица 3 – Основные показатели обработанных данных МЛС

Наименование предоставленных объектов	Число объектов, шт	Окончательное число объектов, шт (включая данные ручных обследований)
Остановки общественного транспорта	8812	9739
Отдельные светофоры	38 259	28 676
Искусственные неровности (лежащие полицейские)	4501	4205
Места установки дорожных знаков (включая столбы освещения, стойки, светофорные колонки)	219 317	98 439

Наименование предоставленных объектов	Число объектов, шт	Продолжение таблицы 3
		Окончательное число объектов, шт (включая данные ручных обследований)
Дорожные знаки	-	219 092*
Стационарные опоры освещения	179 540	111 879
Освещение на тросах (висячее)	29 834	-
Горизонтальная дорожная разметка, длина	-	~5030 км
Вертикальная дорожная разметка, количество	-	24 467
Дорожное и пешеходное ограждение, длина	1952 км	1473 км

*двусторонние знаки (например, пешеходный переход 5.19.1 или 5.19.2) заменены на 2 односторонних в общем числе

Итоговые удельные и абсолютные трудозатраты обработки МЛС, подготовки информационных моделей, оформления текстовой и графической частей ПОДДов приведены в таблице 4 ниже.

Таблица 4 – Удельные и абсолютные показатели трудозатрат в ходе проекта

№	Наименование вида работ	Примерные удельные трудозатраты, человекочасы/ед. работ	Абсолютные (итоговые) трудозатраты на 2500 км, человекочасы
1	Проведение МЛС и подготовка сырых данных	1.0...2.0/ 1 км	1000...2000
2	Планирование МЛС (подготовка треков движения и технического задания)	0.01..0.04/ 1 км	30...120
3	Первичное позиционирование элементов ТСОДД по данным МЛС включая растеризацию облака точек	0.8... 1.5 / 1 км	4000
4	Подготовка информационной модели (для ПОДД)	0.5...6 / 1 км	13700
5	Нормоконтроль информационной модели и небольшие корректировки	0.2...5 / 1 км	6300
6	Передача в dwg графической составляющей и оформление	1...4 / 1 км	4100
7	Создание пояснительной записки*	1 / 1 дорогу	2400
8	Печать, фальцовка чертежей и документации	0.5...4 / 1 дорогу	1400

с применением средств автоматизации

3.2. Прогнозирование стоимости работ

Расчет стоимости проведения МЛС и последующих работ по подготовку документации (пунктов, указанных в Таблице 4 выше) можно свести к следующей численной формуле 1:

$$S = \left(\sum_{i=2}^6 k_i * L + \sum_{i=7}^8 k_i * N \right) * S_1 + k_1 * S_2 * L \quad (1)$$

где $\sum_{i=2}^6 k_i$ – это сумма коэффициентов трудозатрат для 2-6 позиции в км. пути L и $\sum_{i=7}^8 k_i$ сумма коэффициентов трудозатрат для 7-8 позиции, в числе дорог N , которые в идеальном случае будут выполняться внутри одной организации по стоимости S_1 рублей за L километров дорог. Удельная стоимость S_2 за километр дорог – это цена, за которую согласится сканировать дороги другая организация (или эта же, при наличии оборудования). При этом в сумму $S_2 * L$ входят трудозатраты на пост-обработку результатов МЛС (или не входят, в зависимости от бюджета), а также дополнительно учитывается поправочный коэффициент k_1 , учитывающий сложность проведения сканирования и необходимость проехать более чем по одному разу по дороге.

На практике для городских дорог соотношение общего километража и числа улиц составляет примерно 1:1 (для МЛС это соотношение составляет обычно 2...2.5:1, так как под МЛС отдаются наиболее протяженные и технически-сложные улицы), поэтому в формуле 1 могла бы быть введена замена $N = L/2$, но тем не менее, рекомендуется считать с конкретным значением N).

Важное примечание касается величины длины дороги L , поскольку на ряде улиц присутствует разделительная полоса с барьерным дорожным ограждением и зеленой полосой, что вынуждает проезжать по данной дороге как минимум дважды для захвата всех ТСОДД на ней, и итоговый километраж соответствующим образом возрастает. Не имея точной информации о длине улиц можно отталкиваться от административных документов, утверждающих перечень улиц региона/населенного пункта с их километражем, и «домножать» длину улиц, имеющих в названии слова «набережная», «шоссе», «проспект» на поправочный коэффициент, учитывающий сложность и ширину улицы (что приведет в конечном итоге к увеличению сканируемой длины).

Для оценки минимальной стоимости величина суммы коэффициентов с 1 по 6 (с 7 по 8) будет составлять примерно 3.11 (1.5), а для максимальной расценки – 17.54 (5). Приводя формулу 1 к численному виду, получим определение 2 для минимальной S_{\min} и максимальной S_{\max} суммы:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= (3.11 * L + 1.5 * N) * S_1 + 1.0 * S_2 * L \\ S_{\max} &= (17.54 * L + 5 * N) * S_1 + 2.0 * S_2 * L \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, при текущей среднерыночной цене на сканирование 1 км дороги в $S_2 = 50000$ рублей и оплатой труда инженера $S_1 = 2500$ рублей за тот же 1 км, итоговая минимальная и максимальная суммы для сканирования $L = 1000$ км и $N=500$ составит 59.6 млн и 150.1 млн соответственно. Для других значений сумм зависимость приведена на рисунке 1 ниже. Также на нем приведено усредненное значение для обоих случаев $S_{\text{средн}}$.

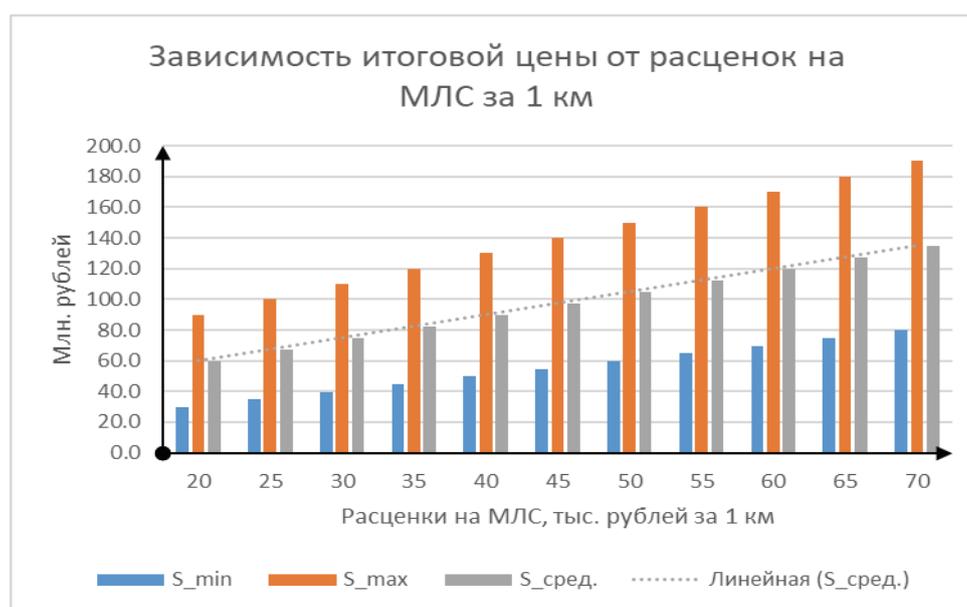


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости итоговой суммы от цены на МЛС

4. Заключение

В настоящей работе приведен краткий анализ отечественного опыта проведения мобильного лазерного сканирования автодорог и мостов. Отмечена наибольшая частота использования мобильного лазерного сканирования (МЛС). Также приведен авторский опыт участия в крупном проекте по созданию ПОДД на основе материалов мобильного лазерного сканирования для центра одного из российских регионов. Составлены таблицы 3 и 4, отражающие основные метрики проекта, а также удельные и абсолютные трудозатраты в человекочасах, по которым выведена формула 1, позволяющая оценить минимальную и максимальную (в зависимости от сложности) стоимость контракта на сканирование автомобильных дорог для последующего выставления на розыгрыш в виде государственного тендера без учета накладных расходов. Отмечается, что согласно текущим ценам на середину 2023 года стоимости сканирования и подготовки по результатам сканирования проектов организации дорожного движения по дорогам составит от 59.6 млн до 150.1 млн рублей.

5. Благодарности

Автор выражает благодарность старшему преподавателю Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства (ВШПГиДС), Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого (СПбПУ), заместителю директора ВШПГиДС по международной деятельности Талиповой Лилии Василевне за помощь в рецензировании статьи.

6. Список источников

- [1] Перспективы использования технологии информационного моделирования для эксплуатируемых автодорожных мостов. / Д.И. Бородай, О.А.Семенов, В.В.Федотов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, вып. 1 (147) (2021 г.).
- [2] Немчинов М.В., Молчанов А.В. Мониторинг и визуальная диагностика дорожных одежд автомобильных дорог. // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура, вып. 1 (19) (2019 г.).
- [3] К вопросу обследования и экспертизы автомобильных дорог / Л.М. Диденко, В.В. Харченко, Е.А. Рыбалка, К.А. Кучеренко // Вівісник придніпровської державної академії будівництва та архітектури, вып. 1 (261-262) (2020 г.). <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.260220.24.606>.
- [4] Сравнительная оценка мобильного лазерного сканирования, аэрофотосъемки с беспилотной авиационной системы и съемки с комплексной дорожной лаборатории при выполнении диагностики автомобильных дорог. / М. Я. Брынь, Д. Р. Баширова, А. Г. Багишян // Известия петербургского университета путей сообщения 18, вып. 2 (2021 г.). <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2021-2-211-221>.
- [5] Брынь М.Я., Баширова Д.Р. Сравнительная оценка эффективности мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов при съемке автомобильных дорог // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий) 26, вып. 3 (2021 г.). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-3-20-27>.
- [6] Хахулина Н. Б., Нестеренко И. В. Возможности технологий лазерного сканирования для получения геопространственных данных. // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект), вып. 1 (6) (2018 г.).
- [7] Технологии BIM, онтологий и управления активами на автомобильных дорогах Европы. / О. Н. Покусаев [и др.] // International journal of open information technologies 8, вып. 6 (2020 г.).
- [8] Алтынцев М.А., Сабер К.Х.М. Влияние результатов предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования на точность построения цифровых моделей

- поверхности автомобильных дорог // Интерэкспо Гео-Сибирь 1, вып. 1 (2020 г.). <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-1-1-74-85>.
- [9] Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование. // Сапр и ГИС автомобильных дорог, вып. 1 (1) (2013 г.).
- [10] Метод оценки колеечности автомобильных дорог с использованием мобильного лазерного сканирования. / И.И. Позняк, И.Г. Масурадзе, Ш.Г.Масурадзе // Конструкторское Бюро, вып. 5 (2017 г.).
- [11] Долгов Д.В., Позняк И.И. Мобильное лазерное сканирование для эксплуатации дорожной инфраструктуры. // Транспортное строительство, вып. 6 (2017 г.).
- [12] Метод проектирования ремонтов автомобильных дорог на основе мобильного лазерного сканирования. / А.Н. Байгулов, М.А.Романескул, Б.М. Шумилов, М.М. Губская // Сапр и ГИС автомобильных дорог, вып. 1 (1) (2013 г.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=21359279>.
- [13] Петров М.В. Опыт использования мобильной системы лазерного сканирования Lynx Mobile Mapper M1 для решения задач проектирования ремонта автомобильных дорог. // Интерэкспо Гео-Сибирь 1, вып. 3 (2013 г.).
- [14] Куфтинова Н.Г. Общие вопросы разработки комплексных схем организации дорожного движения. // XVIII Международная научно-практическая конференция (Пенза, 2018): статья в сборнике материалов конференции. В 2 частях, 1:115–19. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018.
- [15] Оформление проекта организации дорожного движения / В.В. Терентьев [и др.]. // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология, вып. 3 (2018 г.). <https://doi.org/10.15593/24111678/2018.03.09>.
- [16] Применение мобильного лазерного сканирования для создания паспорта автомобильной дороги. / С.К. Пшидаток [и др.] // Актуальные научные исследования в современном мире, вып. 12-10 (80) (2021 г.).
- [17] Актуальность государственных информационных систем обеспечения градостроительной деятельности / А.Ю. Горбачёв, Д.В. Гулякин, Ю.Ю. Канивец // Тенденции развития науки и образования, вып. 94–6 (2023 г.). <https://doi.org/10.18411/trnio-02-2023-334>.
- [18] Информационно-технологическое обеспечение формирования единой цифровой среды взаимодействия в градостроительной сфере / А.Г. Савина, Л.И. Малявкина, Д.А. Савин // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования, вып. 15 (2022 г.). <https://doi.org/10.36683/2500-249X/2022-15/60-65>.
- [19] Тарарин А.М. Цифровая трансформация градостроительной деятельности. // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий) 26, вып. 1 (2021 г.). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-1-110-121>.
- [20] Цветков В.Я., Андреева О.А. Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры по данным мобильного лазерного сканирования. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка 64, вып. 3 (2020 г.). <https://doi.org/10.30533/0536-101X-2020-64-3-354-360>.
- [21] Методика создания базы данных ТСОДД на базе PostgreSQL и IndorTrafficPlan / Ю.Г. Лазарев [и др.] // Путевой навигатор, вып. 52 (78) (2022 г.).
- [22] Анализ взаимодействия САПР и ГИС / М.В. Гриннер [и др.] // Неделя науки СПбПУ (Санкт-Петербург, 2022): сборник трудов конференции, т.1:121–23. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48687788>.
- [23] Perspectives of Interactions CAD and GIS Systems / L. Talipova [and other] // 449–64. Springer Nature, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14623-7_39.
- [24] Анализ зависимости качества результатов мобильного лазерного сканирования от скорости движения автомобиля / Е.В. Морозова, Е.А. Гребенюк, Л.В. Талипова // Неделя науки СПбПУ (Санкт-Петербург, 2023): сборник трудов конференции, т.2:94-96. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023.