

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по научной работе  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский  
государственный университет»**

**С. В. Микушев**

М.П.

*01.09.2023* 2023г.



## **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертацию Шарафутдиновой Анжелики Алексеевны «Разработка методики наземного лазерного сканирования промышленных объектов для создания цифровых информационных моделей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.22. Геодезия**

### **1. Актуальность темы диссертации**

Наземное лазерное сканирование является важным и актуальным инструментом для создания цифровых информационных моделей зданий и сооружений или Building Information Model (BIM). В современной строительной отрасли все больше компаний признают преимущества использования BIM и ее способность улучшить процессы проектирования, строительства и управления объектами. В этом контексте наземное лазерное сканирование играет ключевую роль в получении точных и полных данных о метрике существующих строительных объектах.

Актуальность наземного лазерного сканирования для BIM проявляется в нескольких аспектах, включающих возможность собирать данные с большой скоростью и эффективностью, что сокращает время выполнения проектов и повышает производительность; получение точного трехмерного представления объекта, включая его геометрию, размеры, формы и

ОТЗЫВ

ВХ.№9-258 от 11.09.23

пространственные особенности, что создает надежную основу для создания детальных и точных цифровых моделей в формате BIM; возможность обнаружения потенциально опасных участков еще на стадии проектирования, благодаря точным данным, полученным из облака точек лазерного сканирования.

Наземное лазерное сканирование позволяет отслеживать изменения, вносимые в объект со временем, и обновлять соответствующие цифровые модели BIM. Это позволяет обновлять и поддерживать актуальность цифровой информации об объекте на протяжении всего жизненного цикла промышленного объекта, что особенно важно для эффективного управления и обслуживания объектов после завершения строительно-монтажных работ и ввода объекта в эксплуатацию.

Таким образом, наземное лазерное сканирование является актуальным и неотъемлемым инструментом для создания BIM. Оно обеспечивает точные данные, ускоряет процессы проектирования и строительства, помогает выявлять проблемы и поддерживает актуальность информации об объекте. Это делает его необходимым компонентом современных проектов в области строительства и управления объектами.

При этом текущая нормативно-техническая база для разработки BIM содержит ряд проблем, таких, как например фрагментация и разнообразие стандартов, приводящие к несогласованности данных от стандарта к стандарту; отсутствие всемирных стандартов, создающее сложности при взаимодействии и совместной работе на глобальном уровне; сложность и недостаток обновлений, что затрудняет успешную реализацию проектов, связанных BIM. Регулярное обновление, согласование и принятие универсальных стандартов являются важными шагами для преодоления этих проблем и улучшения эффективности использования BIM в отрасли строительства и управления объектами.

Таким образом темы, затронутые в диссертационной работе, являются актуальными и отвечают текущим потребностям, связанным с применением наземного лазерного сканирования для разработки BIM промышленных объектов.

## **2. Научная новизна диссертации**

– разработаны требования к точности наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования с обоснованием их применения на стадиях инженерных изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации промышленного объекта для решения различных производственных задач;

– разработана методика проектирования и построения геодезической сети на промышленных объектах, основанная на двухуровневом проектировании и построении опорной и сканерной сетей и обеспечивающая требуемую точность измерений наземным лазерным сканером;

– определены и исследованы факторы, влияющие на точность лазерного сканирования промышленных объектов и разработаны предложения, учитывающие: ошибки измерения расстояний, зависящие от угла падения лазерного луча на поверхность объекта; выбор разрешения сканирования; выбор расстояния между станциями лазерного сканирования; методику съемки объекта; методику взаимного ориентирования моделей технологических блоков в единую модель.

– разработана методика взаимного ориентирования дискретных точечных моделей на основе метода квазиньютона, преимуществами которой являются высокая скорость сходимости и отсутствие необходимости вычисления производных второго порядка.

**3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций** определяется анализом соискателем большого объема отечественных и зарубежных трудов (182 источника), в области наземного лазерного сканирования, цифрового информационного моделирования, проектирования и построения геодезических сетей, а также методам численной оптимизации для обработки геодезических измерений. Главы и разделы диссертации включают теоретические и практические результаты исследований. Диссертация построена логично и четко структурирована. Исследование опирается на актуальные нормативные и правовые документы. При анализе исходных данных, обзоре результатов теоретических исследований в области наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования, соискатель применяет методы сравнительного анализа, теорию ошибок измерений, методы статистических испытаний, метод наименьших квадратов, численные методы оптимизации. Результаты исследований являются завершенными, основаны на использовании теоретической базы и имеют практическое значение.

Апробация результатов исследования проводилась на 8-и международных и всероссийских конференциях, что подтверждает обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Имеется акт о внедрении результатов в проектную деятельность (ООО «Промышленная геодезия», акт о внедрении от 03.06.2022 г.)

#### **4. Научные результаты, их ценность**

Основная ценность полученных научных результатов заключается в том, что разработанная методика наземного лазерного сканирования учитывает особенности промышленного объекта. Автором выполнен расчет требований к точности измерений в зависимости от видов решаемых геодезических задач. Предложено использовать разработанные требования при создании цифровых информационных моделей. Одним из научных результатов также является разработанная методика проектирования и построения сканерной сети, которая основана на выполнении взаимного ориентирования моделей с применением итерационного алгоритма ближайших точек и выполнении внешнего ориентирования аналитическим методом с использованием специальных марок.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 14 печатных работах, в том числе в 4 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, (далее – Перечень ВАК); в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования *Scopus*. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

## **5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Теоретическая значимость результатов диссертации заключается в разработке теоретических основ в частности: методики расчета требуемой точности наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования в зависимости от вида геодезических работ; методики проектирования опорной и сканерной сети на промышленных объектах; методики взаимного и внешнего ориентирования результатов лазерного сканирования основанной на методе численной оптимизации.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в реализации разработанной методики для решения задач на различных этапах жизненного цикла промышленных объектов.

## **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты исследований, затронутые в диссертационной работе, являются важным шагом в направлении решения текущих проблем, связанных с применением наземного лазерного сканирования для разработки BIM промышленных объектов.

Разработанные автором дополнения к детализации информационной модели на уровнях LOD, LOI, LOA включают полезную информацию как для

участников проекта капитального строительства, так и для служб эксплуатации. Рекомендуется дальнейшее внедрение данных дополнений как на уровне локальных нормативных документов, так и на уровне стандартов для разработки BIM промышленных объектов.

Учитывая опыт автора в практической реализации проектов согласно изложенной в работе методике наземного лазерного сканирования, рекомендуется ее дальнейшее применение при реализации аналогичных проектов.

## 7. Замечания и вопросы по работе

1. На стр.22 в разделе 1.3.1 автор пишет: «Угол падения лазерного луча на поверхность объекта зависит от расстояния сканера до объекта и угла расхождения лазерного луча». Наверное, этот угол еще зависит от кривизны поверхности (формы) объекта?
2. При рассмотрении алгоритма ближайших точек не уделено внимание первому этапу – поиску соответствующих точек. Этот этап, очевидно, имеет важное значение в работе алгоритма и может быть его «узким местом».
3. Эксперимент по сравнению точности определения марок лазерным сканером и тахеометром (который выступал в качестве эталона) не вполне корректный. Точность измерения линий у тахеометра (2 мм) ниже, чем у сканера (1.5 мм), и не может выступать в качестве эталона при построении сети в виде хода (Рисунок 2.3). Эталонные данные можно было бы получить таким прибором за счет более высокой точности угловых измерений (1" у тахеометра против 8" у сканера) в результате уравнивания жесткой пространственной линейно-угловой сети. Но, данная процедура, как видно из диссертации, не проводилась.
4. Замечания к эксперименту по исследованию точности взаимного ориентирования станций лазерного сканирования и расстояния между станциями:
  - а) на Рисунке 2.4 показано 4 группы станций, а в тексте и на графиках говорится о 7-ми;
  - б) хотя правильность выводов, полученных в результате данного исследования, и не вызывает сомнений, - наличие более подробной схемы или фотографии полигона, который использовался для эксперимента облегчило бы восприятие и анализ материала.
5. Целесообразность прокладки разреженных сетей в виде ходов лазерного сканирования (Рис. 2.9) вызывает сомнения, поскольку в вытянутых ходах ошибки будут накапливаться быстрее чем в сплошной сети сканирования, для которой эти данные автор предлагает использовать в качестве исходных. Применение сканерных ходов в качестве метода развития съемочной сети

может быть оправдано лишь в случае использования для их проложения более точного лазерного сканера чем тот который используется для массового сканирования промышленного объекта, реализуя известный принцип «перехода от общего к частному».

6. Вид параметрического уравнения для зенитного расстояния (2.34) вызывает сомнения. При поправках в координаты определяемых пунктов должны быть частные производные функции зенитного расстояния по каждому из параметров, и они не могут быть одинаковы, как у автора.
7. Непонятно зачем необходимо выполнять 100 циклов моделирования ошибок измерений при проектировании (Шаг 9, стр. 75)? Если для оценки дисперсии единицы веса по результатам уравнивания, то при каждом случае такого моделирования будут получаться разные ее значения. Вместо многократного моделирования можно вычислить предельное значение данного параметра для нормального распределения ошибок используя, например, известный критерий хи-квадрат.
8. На стр. 79 автор анализирует точность привязки скана к маркам опорной сети (Шаг 4) и приводит формулу (2.40), которая ставит в зависимость точность такой привязки только от точности определения марки по сканам и числа марок. Считаем такой подход не верным (не полным), - он не учитывает «геометрический фактор», - взаимное расположение марок и станции, а это важнейший фактор при выполнении координатной привязки по маркам.
9. Алгоритм предварительной оценки точности взаимного ориентирования станций НЛС (Шаг 5, стр. 79, 80) считаем не вполне корректным. Точность взаимного ориентирования зависит не только от расстояния между станциями, но и от многих других факторов: площадь зоны перекрытия, геометрическая конфигурация данной зоны и т.д., которые автор не учитывает. Функция, показанная на Рис. 2.10 и описывающая полиномом зависимость между расстоянием между станциями и точностью взаимного ориентирования, справедлива только для того объекта, по сканам которого выведена. Например, если сканировать железнодорожное полотно в чистом поле, коэффициенты полинома будут совсем другие чем при сканировании железнодорожного полотна в условиях плотной городской застройки.
10. В представленных на стр. 81, 82 и Приложении А результатах расчета влияния угла падения лазерного луча на точность сканирования, приведены лишь 2 аргумента (расстояние и угол падения), в тоже время формула (1.1), по которой выполнялся расчет имеет 3-й аргумент, - угол расхождения лазерного луча, значения которого нигде не указано.
11. В таблице 2.13 (стр. 83) приводятся результаты расчета необходимого линейного разрешения сканирования в зависимости от размера наименьшего измеряемого объекта, коэффициента отражения поверхности объекта, расстояния до объекта и угла падения лазерного луча на поверхность

объекта. Однако из перечисленных аргументов кроме самих результатов расчета в таблице приведены лишь коэффициенты отражения различных материалов. Таким образом, физический смысл приведенных результатов не вполне понятен.

12. Критерий определения необходимого разрешения сканирования в зависимости от размера минимального конструктивного элемента по предлагаемой формуле (1.3), стр. 24, представляется нам сильно заниженным, поскольку при таком разрешении на минимальный по размерам объект (например, квадрат) будет попадать от 1-й до 4-х точек сканирования, чего явно недостаточно для описания его формы.
13. На стр. 101 указано, что для выполнения измерений при сгущении ГРО использовался прибор, обеспечивающий точность угловых измерений 2.0" и измерения выполнены двумя приемами. В то же время, по результатам уравнивания, приведенным в Таблице 4.1 средняя СКО уравниваемого угла в сети сгущения ГРО составила 7.1", что более чем в 3 раза хуже точности прибора.

## **8. Заключение по диссертации**

Несмотря на указанные замечания, диссертация «Разработка методики наземного лазерного сканирования промышленных объектов для создания цифровых информационных моделей», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.22. Геодезия полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Шарафутдинова Анжелика Алексеевна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.22. Геодезия.

Отзыв подготовили:

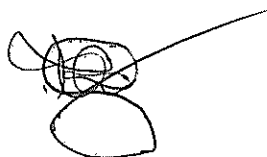
Доцент кафедры картографии и геоинформатики Института наук о Земле федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кандидат технических наук Войнаровский Александр Евгеньевич;

Доцент кафедры картографии и геоинформатики Института наук о Земле федерального государственного бюджетного образовательного

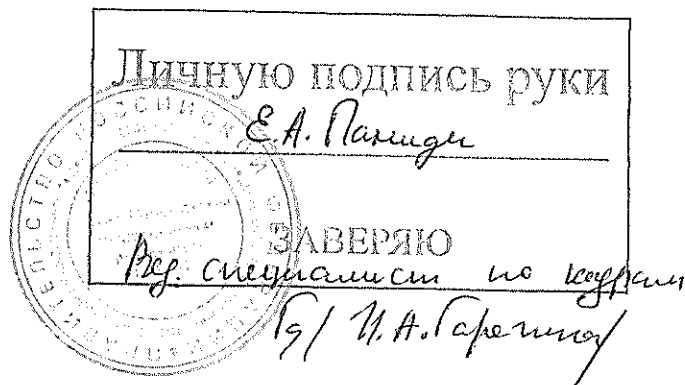
учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кандидат технических наук Тюрин Сергей Вячеславович.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации **Шарафутдиновой Анжелики Алексеевны** обсужден и утвержден на заседании кафедры картографии и геоинформатики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», протокол № 1 от 01 сентября 2023 года.

Заведующий кафедрой картографии и геоинформатики  
Института наук о Земле федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет»,  
доцент, кандидат технических наук



Паниди Евгений Александрович



**Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9. Телефон (812) 328-97-01

E-mail: [spbu@spbu.ru](mailto:spbu@spbu.ru)

Официальный сайт в сети Интернет: <https://spbu.ru>