

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.8
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 27.09.2023 № 5

О присуждении Шарафутдиновой Анжелике Алексеевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методики наземного лазерного сканирования промышленных объектов для создания цифровых информационных моделей» по специальности 1.6.22. Геодезия принята к защите 23.05.2023, протокол заседания № 3, диссертационным советом ГУ.8 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 156 адм.

Соискатель, Шарафутдинова Анжелика Алексеевна, 05 февраля 1991 года рождения, В 2013 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет» по специальности Городской кадастр.

С 01.10.2020 г. по настоящее время, соискатель осваивает программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре очной формы обучения кафедры «Инженерная геодезия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Работает руководителем проектов в обществе с ограниченной ответственностью «Триметари Консалтинг».

Диссертация выполнена на кафедре «Инженерная геодезия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Федеральное агентство железнодорожного транспорта.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Брынь Михаил Ярославович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Инженерная геодезия», профессор.

Официальные оппоненты:

Щербаков Владимир Васильевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», кафедра «Инженерная геодезия», заведующий кафедрой;

Аврунев Евгений Ильич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», советник при ректорате по научной деятельности; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»**, г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подготовленном Войнаровским Александром Евгеньевичем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры картографии и геоинформатики Института наук о Земле и Тюриным Сергеем Вячеславовичем, кандидатом технических наук, доцентом той же кафедры, подписанном Паниди Евгением Александровичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой картографии и геоинформатики Института наук о Земле и утвержденном Микушевым Сергеем

Владимировичем, проректором по научной работе, указала, что 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.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 14 работ, в том числе в 4 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 5,87 печатных листов, в том числе 4,54 печатных листа – соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Кузнецова, А. А. (**Шарафутдинова А. А.**) Применение наземного лазерного сканирования для выявления отклонений конструкций от их проектных значений / А. А. Кузнецова (**Шарафутдинова А. А.**) // Геодезия и

картография. – 2018. – Т. 79. – № 12. – С. 2–7 (ВАК №736 от 30.11.2018), (ссылки в диссертации на страницах 100-106)

Соискателем предложена и реализована технология наземного лазерного сканирования в комплексе с цифровым информационным моделированием для сопровождения строительства технологических установок промышленных объектов, которая была применена как инструмент геодезического контроля для выявления отклонений смонтированных конструкций от проектных значений.

2. **Шарафутдинова, А. А.** Опыт применения наземного лазерного сканирования и информационного моделирования для управления инженерными данными в течение жизненного цикла промышленного объекта / **А. А. Шарафутдинова**, М. Я. Брынь // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26. – № 1. – С. 57–67. (ВАК № 611 от 23.03.2021), (ссылки в диссертации на страницах 106-110)

Соискателем показаны результаты совместного применения информационного моделирования и лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла объекта. Приведен результат выявленных коллизий между разделами проектной документации. Приведен результат выявленных коллизий между проектируемыми и существующими конструкциями. Приведены результаты выявленных отклонений на этапе строительства промышленных объектов. Отмечена эффективность использования наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования в решении инженерных задач.

3. **Шарафутдинова, А. А.** Методика проектирования и построения геодезической сети при наземном лазерном сканировании крупных промышленных объектов / **А. А. Шарафутдинова**, М. Я. Брынь // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27. – № 2. – С. 72–85 (ВАК № 641 от 27.04.2022), (ссылки в диссертации на страницах 68-81)

Соискателем обоснована методика проектирования и построения сети, которая включает два этапа: первый этап – проектирование и оценка

точности положения пунктов опорной сети, координаты которых определяются от исходных пунктов традиционными методами геодезии; второй – проектирование и оценка точности положения пунктов сканерной сети, координаты которых определяются от пунктов опорной сети. Разработана технологическая схема построения геодезической сети, основанная на выполнении взаимного ориентирования с использованием точек сканирования и выполнении внешнего ориентирования аналитическим методом с использованием специальных марок. Определена зависимость значений средней квадратической ошибки взаимного ориентирования и средней квадратической ошибки определения положения станций лазерного сканирования от расстояния между станциями, участвующими в оптимизации.

4. **Шарафутдинова, А. А.** Требования к точности наземного лазерного сканирования для решения инженерно-геодезических задач с помощью цифрового информационного моделирования / **А. А. Шарафутдинова, М. Я. Брынь** // Геодезия и картография. – 2021. – Т. 82. – № 8. – С. 2–12. (ВАК №831 от 12.07.2021), (ссылки в диссертации на страницах 45-57)

Соискателем обоснована взаимосвязь характеристик точности измерений, указанных в нормативно-технической документации (проектных, строительных и эксплуатационных) и средних квадратических ошибок определения положения точек. Предложена схема перехода от характеристик точности измерений к средним квадратическим ошибкам определения положения точек для каждого из видов инженерно-геодезических работ.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

5. Kuznetsova, A. (**Sharafutdinova A.**) The Use of Terrestrial Laser Scanning for the Development and Control the Design Documentation of Reconstruction Projects / A. Kuznetsova (**Sharafutdinova A.**) // Transportation

Soil Engineering in Cold Regions, Volume 2 Proceedings of TRANSOILCOLD-2019, Lecture Notes in Civil Engineering 50, Springer Nature Singapore Pte. Ltd. 2020, p. 177–184. (ссылка в диссертации на странице 13)

Кузнецова А. (**Шарафутдинова А.**) Применение наземного лазерного сканирования для разработки и контроля проектной документации / А. Кузнецова (**А. Шарафутдинова**) // Транспортное строительство в холодных регионах: тезисы докладов международной научно-технической конференции TRANSOILCOLD-2019, Lecture Notes in Civil Engineering. Springer Nature. – 2020. – № 50. – С.177–184. (ссылка в диссертации на странице 13)

Соискателем приведены результаты реализованных проектов по выявлению коллизий между проектируемыми и существующими конструкциями инженерных сооружений. Предложена методика совмещения технологии наземного лазерного сканирования и системы автоматизированного проектирования.

6. Kuznetsova, A. (**Sharafutdinova A.**) The Terrestrial laser scanning during the industrial object construction results analysis / A. Kuznetsova (**Sharafutdinova A.**), M. Bryn // IOP conference series: materials science and engineering. – 2019. – P. 044008. (ссылка в диссертации на странице 13)

Кузнецова А. (**Шарафутдинова А.**) Анализ результатов наземного лазерного сканирования при сопровождении строительства промышленного объекта / А. Кузнецова (**А. Шарафутдинова**), М. Я. Брынь // Строительство и архитектура – теория и практика инновационного развития: сборник трудов III Международной научно-технической конференции SATPID-2020. – 2019 – № 698. – С.044008. (ссылка в диссертации на странице 13)

Соискателем показаны результаты, полученные в ходе выполнения проекта по сопровождению строительства промышленного объекта с применением наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования.

Публикации в прочих изданиях:

7. **Шарафутдинова, А. А.** Анализ результатов регистрации взаимного ориентирования данных наземного лазерного сканирования с помощью итерационного алгоритма ближайших точек / **А. А. Шарафутдинова, М. Я. Брынь** // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Наука и образование: Сборник материалов III всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06–08 ноября 2019 года / Научный редактор О.А. Лазебник. – Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2019. – С. 129–134. (ссылка в диссертации на странице 23)

Соискателем показаны результаты проведенного эксперимента по взаимному ориентированию данных наземного лазерного сканирования методами ориентирования по маркам и визуальной сшивки с применением итерационного алгоритма ближайших точек.

8. **Шарафутдинова, А. А.** Анализ возможностей применения наземного лазерного сканирования для мониторинга деформаций промышленных объектов / **А. А. Шарафутдинова** // Современные проблемы инженерной геодезии : труды международной научно-практической конференции. 14 ноября 2019 г., Санкт-Петербург / Под ред. проф. М. Я. Брыня. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. – С. 146–149. (ссылки в диссертации на страницах 58-62)

Соискателем показаны результаты анализа точности определения координат деформационных марок, полученных с помощью наземного лазерного сканирования.

9. Брынь, М. Я. Опыт наземного лазерного сканирования крупного промышленного объекта для формирования цифровой информационной модели / М. Я. Брынь, М. Н. Аникушкин, **А. А. Шарафутдинова** // Совершенствование средств и методов сбора и обработки геопространственной информации и системы подготовки специалистов: Материалы III всероссийской научно-практической конференции, Санкт-

Петербург, 15 мая 2020 года. – Санкт-Петербург: Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, 2021. – С. 291–298. (ссылка в диссертации на странице 15)

Соискателем предложена технология проведения работ по наземному лазерному сканированию технологических установок нефтегазоконденсатного месторождения. Предложены рекомендации по развитию сети планово-высотного обоснования, процессу лазерного сканирования и камеральной обработки результатов. Показаны основные факторы, влияющие на ошибки измерений в условиях проведения работ на промышленных объектах.

10. **Шарафутдинова, А. А.** О применении технологий лазерного сканирования и информационного моделирования на различных стадиях жизненного цикла промышленного объекта / **А. А. Шарафутдинова** // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 12–16 апреля 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 177–179. (ссылка в диссертации на странице 13)

Соискателем приведены результаты совместного применения технологий наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования для решения производственных задач в течение жизненного цикла промышленного объекта.

11. **Шарафутдинова, А. А.** Применение итерационного метода численной оптимизации для решения задачи взаимного ориентирования данных наземного лазерного сканирования / **А. А. Шарафутдинова** // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 1. – С. 214–217. (ссылка в диссертации на странице 33)

Соискателем предложен метод Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно для решения задачи оптимизации взаимного ориентирования точечных моделей. Показано, что метод обладает сверхлинейной

сходимостью, а также обеспечивает высокую вычислительную производительность в отношении временных затрат на каждую итерацию что может быть наиболее эффективным при решении задач с большим объемом исходных данных.

12. **Шарафутдинова, А. А.** Разработка требований к точности пространственного положения элементов в цифровой информационной модели / **А. А. Шарафутдинова** // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : Сборник научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летнему юбилею кафедры землеустройства и землеустроительного факультет, Омск, 30–31 марта 2022 года / Министерство сельского хозяйства российской федерации, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2022. – С. 304-307. (ссылка в диссертации на странице 44)

Соискателем разработана спецификация уровня точности элементов эксплуатационной цифровой информационной модели и требования к точности определения пространственного положения элементов. В результате сформулированы требования к точности выполнения лазерного сканирования и трехмерного моделирования объектов. Проведенное исследование может быть полезно для разработчиков и пользователей и формирует общее представление о требованиях к уровню точности при создании эксплуатационной цифровой информационной модели для решения различных производственных задач.

13. **Шарафутдинова, А. А.** Результаты построения геодезической сети при выполнении наземного лазерного сканирования промышленного объекта / **А. А. Шарафутдинова, М. Я. Брын** // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Наука и образование : Сборник материалов IV всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 2021

года / Научный редактор И.Е. Сидорина. – Санкт-Петербург: Политехника, 2021. – С. 192–196. (ссылка в диссертации на странице 115)

Соискателем показаны результаты построения геодезической сети при наземном лазерном сканировании промышленного объекта.

14. **Шарафутдинова, А. А.** Современное состояние цифрового информационного моделирования промышленных объектов / **А. А. Шарафутдинова, М. Я. Брынь** // Изыскательский вестник. – 2022. – № 24. – С. 153–162. (ссылки в диссертации на страницах 12-13)

Соискателем показаны результаты анализа требований к ЦИМ для решения производственных задач на различных стадиях жизненного цикла промышленного предприятия.

Свидетельство на объекты интеллектуальной собственности:

15. **Шарафутдинова, А.А.** Проектирование геодезической сети при выполнении наземного лазерного сканирования / **А.А. Шарафутдинова, М.Я. Брынь** // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.: правообладатель Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. – рег. № 2022616904 от 18.04.22. – М.: Роспатент, 2022.

Апробация диссертационной работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня:

– Международная научно-техническая конференция «Транспортное строительство в холодных регионах (TRANSOILCOLD – 2019)», г. Санкт-Петербург, 20–23 мая 2019 года. (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2019 год), тема доклада «The Use of Terrestrial Laser Scanning for the Development and Control the Design Documentation of Reconstruction Projects»;

– Международная научно-техническая конференция «Строительство и архитектура: теория и практика инновационного развития» (САТРИД – 2019), г. Кисловодск, 1–5 октября 2019 года, тема доклада «Terrestrial laser scanning during the industrial object construction results analysis»;

– III Всероссийская научно-практическая конференция «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Наука и образование» (ГеоКа – 2019), г. Санкт-Петербург, 6–8 ноября 2019 года. (Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2019 год), тема доклада «Анализ результатов регистрации взаимного ориентирования данных наземного лазерного сканирования с помощью итерационного алгоритма ближайших точек»;

– Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы инженерной геодезии», г. Санкт-Петербург, 14 ноября 2019 года. (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2019 год), тема доклада «Анализ возможностей применения наземного лазерного сканирования для мониторинга деформаций промышленных объектов»;

– III Всероссийская научно-практическая конференция «Совершенствование средств и методов сбора и обработки геопространственной информации и системы подготовки специалистов» (ВНПК – 2020), г. Санкт-Петербург, 15 мая 2020 года. (Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, 2020 год), тема доклада «Опыт наземного лазерного сканирования крупного промышленного объекта для формирования цифровой информационной модели»;

– XIX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» г. Санкт-Петербург, 14–16 апреля 2021 года. (Санкт-Петербургский горный университет, 2021 год), тема доклада «О применении технологий лазерного сканирования и информационного моделирования на различных стадиях жизненного цикла промышленного объекта»;

– XVII Международный форум-конкурс студентов и молодых учёных «Актуальные проблемы недропользования» г. Санкт-Петербург, 31 мая – 6 июня 2021 года. (Санкт-Петербургский горный университет, 2021 год), тема

доклада «The use of laser scanning and BIM technologies at different stages of the industrial facility life cycle»;

– IV Международная научно-практическая конференция «Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития» г. Омск, 30–31 марта 2022 года. (Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2022 год), тема доклада «Разработка требований к точности пространственного положения элементов в цифровой информационной модели».

В диссертации Шарафутдиновой Анжелики Алексеевны отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: директора Ассоциации саморегулируемая организация «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада», д.т.н., доцента **Е.П. Тарелкина**; доцента кафедры геодезии, землеустройства и кадастров, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», к.т.н., доцента **Е.Г. Толстова**; заместителя директора ООО НПО «Экологическая безопасность», к.т.н., профессора **В.А. Середовича**; доцента кафедры геоинформатики и кадастра ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н., доцента **В.М. Лазарева**; доцента кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», к.т.н. **С.Б. Ожигиной**; профессора кафедры «Изыскания и проектирование железных и автомобильных дорог» ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», д.т.н., доцента **А.В. Никитина**; заведующего кафедрой гидрографии моря ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», д.т.н., профессора **А.Л. Тезикова**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и

практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. Согласно нормативной документации к некоторым объектам установлены высокие требования к точности выполнения геодезических измерений. В связи с этим возникает вопрос о возможности и целесообразности использования лазерных сканеров для выполнения высокоточных геодезических работ (д.т.н. **Е.П. Тарелкин**).

2. Во втором защищаемом положении в разработанной методике проектирования и построения геодезических сетей предложено выполнять ориентирование лазерного сканера с помощью специальных марок, координаты которых известны. Однако нет аргументации, почему ориентирование не может быть выполнено путем установки лазерного сканера на исходные пункты, что могло бы оказаться перспективнее (д.т.н. **Е.П. Тарелкин**).

3. На мой взгляд, сомнительно рекомендовать наземное лазерное сканирование при изысканиях и исполнительной съемке. Исключение может быть при изыскательских работах на этапе реконструкции, капитального ремонта или ликвидации объекта. При исполнительной съемке важно получение результата в режиме реального времени, в то время как НЛС требует постобработку (к.т.н. **Е.Г. Толстов**).

4. В автореферате на странице 14 приведена формула (8) для вычисления СКО взаимного ориентирования. В качестве аппроксимирующей функции принят полином третьей степени, график которой представлен на рисунке 3. Вид экспериментальных данных наводит на мысль о простой линейной функции аппроксимации. Чем объясняется выбор более сложной функции? (к.т.н. **С.Б. Ожигина**).

5. На стр.14 автореферата представлена формула (8) вычисления СКО взаимного ориентирования в виде полинома третьей степени, при этом из рисунка 3 видно, что значения имеют небольшой разброс. Поэтому

целесообразно было бы указать, на основании чего выбран данный вид функции (д.т.н. А.В. Никитин).

6. В формуле вычисления СКО определения положения центров специальных марок лазерным сканированием (6) присутствуют эмпирические коэффициенты, хотелось бы уточнить, они задавались автором самостоятельно или есть первоначальный источник? (д.т.н. А.Л. Тезиков).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая экспериментальная методика наземного лазерного сканирования, учитывающая особенности геодезической съемки промышленных объектов, позволяющая повысить точность определения пространственного положения объектов при создании цифровых информационных моделей, за счет предрасчета точности наземного лазерного сканирования и трехмерного моделирования, выполнения проектирования и построения геодезической сети, включающую опорную и сканерную сеть и выполнения взаимного ориентирования дискретных точечных моделей методом численной оптимизации;

предложен новый подход к проектированию и построению геодезической сети для последующего внешнего ориентирования результатов наземного лазерного сканирования промышленного объекта, предполагающий: проектирование и предрасчет точности положения пунктов опорной сети, координаты которых определяются от исходных пунктов традиционными методами геодезии; проектирование и предрасчет точности положения пунктов сканерной сети, координаты которых определяются от пунктов опорной сети в ходе лазерного сканирования; методику взаимного ориентирования дискретных точечных моделей с применением метода

Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно, основанную на выполнении предварительной оптимизации, вычислении значения целевой функции и градиента целевой функции на итерации через оператор векторизации, поиске длины шага с соблюдением сильных условий Вольфе и построении графиков для определения оптимального значения длины шага на итерации; **доказана** необходимость перехода при наземном лазерном сканировании от характеристик точности, указываемых в проектной, строительной и эксплуатационной документации, в зависимости от вида геодезических работ к средним квадратическим ошибкам определения пространственного положения точек.

введена уточненная трактовка понятия «цифровая информационная модель», учитывающая влияние условий проектирования, строительства и эксплуатации промышленных объектов и раскрывающая состав элементов и уровень проработки модели, важных для планирования геодезических работ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны защищаемые положения, расширяющие границы применения методики наземного лазерного сканирования промышленных объектов, позволяющей повысить точность определения пространственного положения объектов при создании цифровых информационных моделей;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** методы сравнительного анализа, теория ошибок измерений, методы статистических испытаний, метод наименьших квадратов, а также численные методы оптимизации;

изложены элементы теории наземного лазерного сканирования, включающие особенности выполнения измерений на промышленном объекте, а также выявлены факторы, влияющие на решение производственных задач посредством выполнения геодезических работ на различных стадиях жизненного цикла промышленного объекта;

раскрыто существенное проявление теории влияния на величину средних квадратических ошибок взаимного ориентирования точечных моделей расстояния между станциями лазерного сканирования, участвующими в оптимизации, и количества соответствующих пар точек, найденных в двух моделях; определено, что при расстоянии, не превышающем 25 м между станциями лазерного сканирования, средние квадратические ошибки взаимного ориентирования не превышают 10 мм;

изучены факторы влияющие на процесс создания цифровых информационных моделей промышленных объектов с учетом специфики информации необходимой для решения производственных задач на стадиях инженерных изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации и инструменты решения данных задач; противоречия между все более широким использованием в строительной отрасли цифровых информационных моделей и отсутствием методик создания трехмерных моделей на основе данных наземного лазерного сканирования.

проведена модернизация метода взаимного ориентирования дискретных точечных моделей, основанного на итерационном алгоритме ближайших точек, с условием вычисления параметров преобразования между двумя системами координат методом квазиньютона, позволяющего повысить точность конечных результатов за счет самокорректирующих свойств метода.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены в 2022 году в проектную деятельность ООО «Промгеодезия» (акт о внедрении от 03.06.2022 г.): универсальная методика предрасчета требуемой точности при выполнении наземного лазерного сканирования в зависимости от видов выполняемых геодезических работ; методика проектирования и построения геодезических сетей для внешнего ориентирования дискретных точечных моделей; технические предложения

по выполнению наземного лазерного сканирования с учетом факторов влияющих на точность измерений;

определены перспективы использования в геодезической практике разработанной методики, основанной на построении геодезической сети на основе ее предварительного проектирования и взаимного ориентирования дискретных точечных моделей методом численной оптимизации с использованием ближайших точек, и направленной на повышение точности определения пространственного положения элементов цифровой информационной модели;

создана математическая модель взаимного ориентирования дискретных точечных моделей с применением метода Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно, предполагающая выполнение предварительной оптимизации, вычисление значения целевой функции и градиента целевой функции на итерации через оператор векторизации, поиск длины шага с соблюдением сильных условий Вольфе и построение графиков для определения оптимального значения длины шага на итерации, позволяющая вычислять оптимальные значения параметров преобразования;

представлены предложения по использованию результатов исследования компаниями, осуществляющими деятельность в сфере наземного лазерного сканирования и разработки цифровых информационных моделей, а также управляющими компаниями для решения задач проектирования, строительства и эксплуатации промышленных объектов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на современных исследованиях в области наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования, включая методики предрасчета требуемой точности в зависимости от вида геодезических работ, проектирования и построения геодезических сетей, выполнения измерений и их дальнейшей камеральной обработки; согласуется с опубликованными научными работами по теме диссертации;

идея базируется на анализе результатов теоретических и экспериментальных исследований в области наземного лазерного сканирования промышленных объектов, обобщении передового опыта в повышении точности определения пространственного положения объектов при создании цифровых информационных моделей;

использованы результаты полевых измерений и камеральной обработки, полученных в ходе наземного лазерного сканирования 25 промышленных объектов для подтверждения выдвинутых гипотез;

установлено соответствие полученных результатов поставленной цели исследования и отсутствие противоречий выводов и рекомендаций соискателя положениям теоретико-методологической базы по теме диссертации;

использованы современные методы сбора, обработки и анализа научной информации и нормативно-технической документации по мировой и российской практике наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и формулировке задач диссертационного исследования; концептуализации научной идеи; анализе зарубежной и отечественной научной и нормативно-технической литературы в области применения наземного лазерного сканирования, цифрового информационного моделирования, проектирования и создания геодезических сетей, обработке результатов лазерного сканирования и применении математических методов численной оптимизации; разработке приведенной в диссертации методики наземного лазерного сканирования для создания цифровых информационных моделей; применении разработанной автоматизированной программы проектирования геодезических сетей при выполнении наземного лазерного сканирования в среде программирования C#, Visual Studio 2019; разработке методики взаимного ориентирования дискретных точечных моделей методом BFGS;

проведении экспериментальных исследований, подтверждающих корректность разработанных методик и автоматизированной программы.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Шарафутдинова Анжелика Алексеевна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 27 сентября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить **Шарафутдиновой Анжелике Алексеевне** ученую степень кандидата технических наук за научно-методические решения по обоснованию точности построения цифровых информационных моделей промышленных объектов, заключающиеся в разработанном программном алгоритме проектирования координатной основы и обработке численными методами оптимизации результатов наземного лазерного сканирования, имеющие существенное значение для развития геодезической отрасли страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 4 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 17, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета
Ученый секретарь
диссертационного совета



[Handwritten signature]

Мустафин
Мурат Газизович
Кузин
Антон Александрович

27.09.2023 г.