

На правах рукописи

Кузнецов Тарас Иванович



Разработка методики комплексного мониторинга земель,
занятых магистральными трубопроводами,
с использованием современных измерительных технологий

1.6.15. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – доктор технических наук Долгополов Даниил Валентинович.

Официальные оппоненты:

Мустафин Мурат Газизович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», заведующий кафедрой инженерной геодезии;

Чилингер Лилия Наримановна, кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (г. Тюмень).

Защита состоится 26 мая 2026 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/kuznetsov-taras-ivanovich/>

Автореферат разослан 26 марта 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дубровский Алексей Викторович

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 16.02.2026.

Формат 60 × 84 1/16. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 20.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Земли, занятые магистральными трубопроводами (МТ), представляют собой сложную природно-хозяйственную территориальную систему. Обеспечение рационального землепользования таких систем достигается безопасной эксплуатацией входящих в их состав производственных объектов МТ, которая невозможна без определения пространственного положения и геометрии МТ и его элементов – трубных секций. Данные о положении МТ являются основой для установления границ его охранных зон, зон минимальных расстояний.

Кроме того, наличие сведений о геометрии МТ необходимо для оценки напряженно-деформированного состояния трубопровода и своевременного предупреждения аварийных ситуаций, планирования и проведения ремонтных работ, рационального использования земель. Получение указанных данных осуществляется в отдельности средствами воздушного лазерного сканирования (ВЛС), внутритрубной диагностики, а также инструментальными измерениями с использованием трассопоисковых приборов. В настоящее время данные мониторинга получают в разных системах координат, отдельными не связанными между собой массивами без возможности комплексного анализа.

Используемые при диагностике внутритрубные инспекционные приборы, оборудованные навигационной системой (ВИП), позволяют получить информацию о геометрии каждой трубной секции и наличии дефектов на ней, своевременное выявление которых необходимо для обеспечения экологической безопасности территорий. Однако они не позволяют локализовать положение этой секции на местности с необходимой точностью, ошибки определений достигают сотен метров, что не позволяет «связать» дефектные секции с протекающими процессами и геологическими условиями, участками земель. Сложившаяся практика определения пространственного положения МТ инструментальными измерениями с использованием трассопоисковых приборов не дает возможность достоверно установить пространственное положение его трубных секций, что существенно затрудняет работы по установлению границ земельных участков и зон

с особыми условиями использования территорий.

Таким образом, в настоящее время существует необходимость разработки методики комплексного мониторинга земель, которая обеспечит получение информации о пространственном положении, глубине заложения линейной части (ЛЧ) МТ, границ земель и земельных участков, занятых его инфраструктурой, необходимой для качественной оценки состояния и использования земель, обеспечения их рационального использования при безопасной эксплуатации трубопроводов. Такая методика может быть построена с использованием комплекса средств ВЛС, ВИП, а также с применением дифференциальной подсистемы глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

Исходя из вышеизложенного, тема диссертационного исследования является актуальной и способствует расширению знаний в области комплексной диагностики состояния природно-хозяйственных территориальных систем.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время имеется значительное количество научно-технических работ, посвященных анализу технологий по получению и обработке пространственных данных для решения задач кадастровой, землеустроительной и градостроительной деятельности. Это научные труды следующих известных ученых:

– Карпика А. П., Лисицкого Д. В., Мелкого В. А., Сизова А. П., Трубиной Л. К., Хлебниковой Т. А., Oosterom P., Ploeger H., Stoter J., Zlatanova S. в области кадастра, мониторинга земель и геоинформационного моделирования объектов природно-технических систем;

– Брыня М. Я., Комиссарова А. В., Мустафина М. Г., Уставича Г. А., Хорошилова В. С., Шоломицкого А. А., Gruendig L., Milev I. в области высокоточных методов определения геометрических параметров инженерных сооружений.

Научное исследование опирается также на труды российских ученых в области прочности, безопасной эксплуатации и мониторинга объектов трубопроводного транспорта Лисина Ю. В., Махутова Н. А., Неганова Д. А. и зарубежных – Morgenstern N., Nixon J. F., Williams P. J.

Вместе с тем, вопросам мониторинга земель, занятых МТ, комплексного получения и обработки данных ВЛС и внутритрубного диагностирования с целью

определения пространственного положения МТ и его элементов уделено недостаточное внимание.

Цель исследования. Разработка методики комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами с использованием современных измерительных технологий.

Задачи исследования:

1) выполнить информационно-аналитический анализ требований нормативных документов, научно-технических публикаций о существующих технологиях мониторинга земель и земельных участков, занятых комплексом инженерных сооружений;

2) разработать методику комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами, с использованием современных измерительных технологий (воздушное лазерное сканирование, диагностика внутритрунными инспекционными приборами, дифференциальные подсистемы глобальных навигационных спутниковых систем);

3) разработать алгоритм комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий, для определения местоположения наземных и подземных объектов магистральных трубопроводов и их инфраструктуры для установления на местности границ зон с особыми условиями использования территорий;

4) выполнить апробацию разработанной методики комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами, проложенными на территории Российской Федерации.

Объектом исследований являются методы проведения исследований и комплексной диагностики пространственного состояния природно-хозяйственных территориальных систем.

Предмет исследования – система технологических операций, выполняемых при комплексном мониторинге земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами, с использованием современных измерительных технологий.

Научная новизна исследований, проведенных в рамках настоящей диссертационной работы, заключается в следующем:

1 Разработана методика комплексного мониторинга земель и земельных

участков, занятых магистральными трубопроводами, объединяющая возможности применения современных измерительных технологий (воздушное лазерное сканирование, диагностика внутритрубными инспекционными приборами, дифференциальные подсистемы глобальных навигационных спутниковых систем).

2 Разработан алгоритм комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий, для определения с нормативной точностью в единой установленной системе координат местоположения наземных и подземных объектов магистральных трубопроводов и их инфраструктуры при комплексном мониторинге земель и земельных участков.

Теоретическая значимость работы заключается в разработанной методике комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами, позволяющей научно обоснованно устанавливать местоположение объектов и инфраструктуры магистральных трубопроводов, а также границ зон с особыми условиями использования территорий на основании предложенного алгоритма комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий.

Практическая значимость обусловлена возможностью применения разработанной методики, в том числе реализованного в программном модуле алгоритма комплексной обработки пространственных данных, для своевременного планирования и реализации мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию магистральных трубопроводов в составе сложной природно-хозяйственной территориальной системы. На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований подготовлен и используется в настоящее время ГОСТ Р 71416-2024 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Определение границ и площади отвода земель для объектов магистрального трубопровода.

Методология и методы исследования. При проведении теоретических исследований применялись методы статистической обработки данных, математические методы, такие как матричные преобразования координат, решение систем линейных уравнений, а также методы обработки ГНСС-измерений. При проведении натурных исследований применялись измерение параметров, математическая обработка, сравнение с расчетными данными.

Положения, выносимые на защиту:

1 Разработанная методика комплексного мониторинга земель и земельных

участков, занятых магистральными трубопроводами, позволяет научно обоснованно устанавливать границы зон с особыми условиями использования территорий, выполнять оценку состояния и использования земель, планировать их рациональное использование при безопасной эксплуатации трубопроводов в составе сложной природно-хозяйственной территориальной системы (ст. 3 паспорта научной специальности).

2 Разработанный алгоритм комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий (воздушное лазерное сканирование, диагностика внутритрубными инспекционными приборами, дифференциальные подсистемы глобальных навигационных спутниковых систем), обеспечивает повышение точности определения местоположения наземных и подземных объектов магистральных трубопроводов и их инфраструктуры в единой установленной законодательством системе координат (ст. 29 паспорта научной специальности).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует областям исследований: 3 – Методы проведения исследований и комплексной диагностики состояния природных, природно-хозяйственных и социально-экономических территориальных систем; 29 – Разработка методов, технологий и методик выполнения съемочных работ и инженерно-геодезических изысканий, по разработке технически обоснованных норм обработки данных дистанционного зондирования Земли в землеустройстве, кадастре и мониторинге земель паспорта научной специальности 1.6.15. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

Апробация результатов исследований. Основные результаты исследований докладывались автором и обсуждались на XII Международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2017» (24–25 мая 2017 г., г. Уфа); 13 Pipeline Technology Conference (12–14 марта, 2018 г., г. Берлин, Германия); 5th European Conference On Permafrost (23 июня – 1 июля 2018 г., Шамони, Франция); Международной конференции «Криосферные ребусы» (15–18 апреля 2019 г., г. Пушчино); Международной конференции «Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике» (8–12 ноября 2021 г., г. Салехард); XV Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (26 апреля 2022 г., Москва); Шестой конференции геокриологов России «Мониторинг в криолитозоне» с

участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов (14–17 июня 2022 г., Москва); 16-й Международной конференции и выставке по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (26–29 сентября 2023 г., г. Санкт-Петербург); Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (2025 г., г. Новосибирск); Международной конференции «Проблемы криосферы Земли» (12–16 мая 2025 г., г. Пущино); IX Национальной научно-практической конференции «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» (24–28 ноября 2025 г., г. Новосибирск).

Результаты исследования внедрены в производственный процесс ООО «НИИ Транснефть», а также использованы при разработке государственных стандартов:

- 1) ГОСТ Р 71416-2024 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Определение границ и площади отвода земель для объектов магистрального трубопровода;
- 2) ГОСТ 34968 2023 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Инженерные изыскания.

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 19 научных публикациях, из них 7 – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 4 – свидетельства о регистрации программы для ЭВМ; 1 – патент на полезную модель.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 171 страницу машинописного текста. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, включающего 116 наименования, содержит 7 таблиц, 48 рисунков, 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении определена актуальность научного исследования, показана степень изученности данного направления, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методы исследования, положения, выносимые на защиту.

В первом разделе выполнен анализ требований нормативных документов, научно-технических публикаций о существующих технологиях мониторинга земель и земельных участков, занятых комплексом инженерных сооружений.

Анализ существующих технологий подтвердил возможность использования результатов дистанционного зондирования Земли (в том числе метода ВЛС), метода ВТД с применением ВИП, наземных измерений методом ГНСС для мониторинга земель и земельных участков, занятых инженерными сооружениями, а также для мониторинга магистральных трубопроводов.

Результаты анализа существующих технологий мониторинга земель и магистральных трубопроводов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа существующих технологий мониторинга земель и магистральных трубопроводов

№ п/п	Технологии	Метод	Требуемая точность	Заключение по точности
1.	Технологии с применением методов дистанционного зондирования Земли	Космическая съемка	СКП определения координат точек для земель: с/х, индивид. – 0,2 м (7 см размер проекции пикселя для АФС/ космоснимок); с/х, прочие – 2,5 м (35 см размер проекции пикселя для АФС/ космоснимок); промышленности – 0,5 м (9 см размер проекции пикселя для АФС/ космоснимок); лесного фонда, запаса, водного – 5 м (60 см размер проекции пикселя для АФС/ космоснимок)	Обеспечивает
		ИРЛС		Обеспечивает
		ЦАФС		Обеспечивает
		ВЛС		Обеспечивает
2.	Технологии с применением наземных методов	Съемка с применением геодезического и трассопоискового оборудования	Не определена (метод не используется в существующих методиках)	Обеспечивает
		Автоматизированные системы		Обеспечивает
3.	Технологии ВТД	Пропуск внутритрубного инспекционного прибора	Не определена (метод не используется в существующих методиках)	Требуется обработка по контрольным данным

По результатам анализа установлены требования к точности обследований и их периодичности, подтверждена возможность использования результатов мониторинга ЛЧ МТ для мониторинга земель, занятых МТ.

В рамках научной работы разработаны технически обоснованные нормы определения границ и площади отвода земель для объектов магистрального тру-

бопровода, которые легли в основу ГОСТ Р 71416-2024 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Определение границ и площади отвода земель для объектов магистрального трубопровода. На основании технически обоснованных норм разработана схема процесса комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых МТ.

Второй раздел содержит обоснование и разработку методики комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых МТ, с использованием современных измерительных технологий.

Разработанная методика комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами, содержит технически обоснованные нормы обработки данных ВЛС, ВИП, ГНСС и включает следующие этапы:

- получение средствами ВЛС сведений о пространственном положении объектов МТ (УЗА, УОВ, КПП СОД), поверхности Земли;
- получение сведений о траектории ВИП, параметрах трубных секций;
- получение наземными геодезическими ГНСС-измерениями сведений о пространственном положении элементов и/или объектов ЛЧ МТ;
- определение посекционного пространственного положения ЛЧ МТ;
- формирование границ зон с особыми условиями использования территорий;
- получение сведений о границах земельных участков из ЕГРН;
- установление границ и площади зоны влияния ЛЧ МТ на земли и земельные участки (в соответствии с разработанным автором ГОСТ Р 71416);
- оценка технического состояния ЛЧ МТ;
- прогнозирование технического состояния ЛЧ МТ, разработка компенсирующих мероприятий для обеспечения его безопасной эксплуатации;
- оценка использования и состояния земель с учетом результатов оценки текущей и прогнозных технических состояний ЛЧ МТ;
- прогнозирование состояния земель, разработка компенсирующих мероприятий;
- публикация результатов в информационных системах.

Технологическая схема комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых МТ, представлена на рисунке 1.

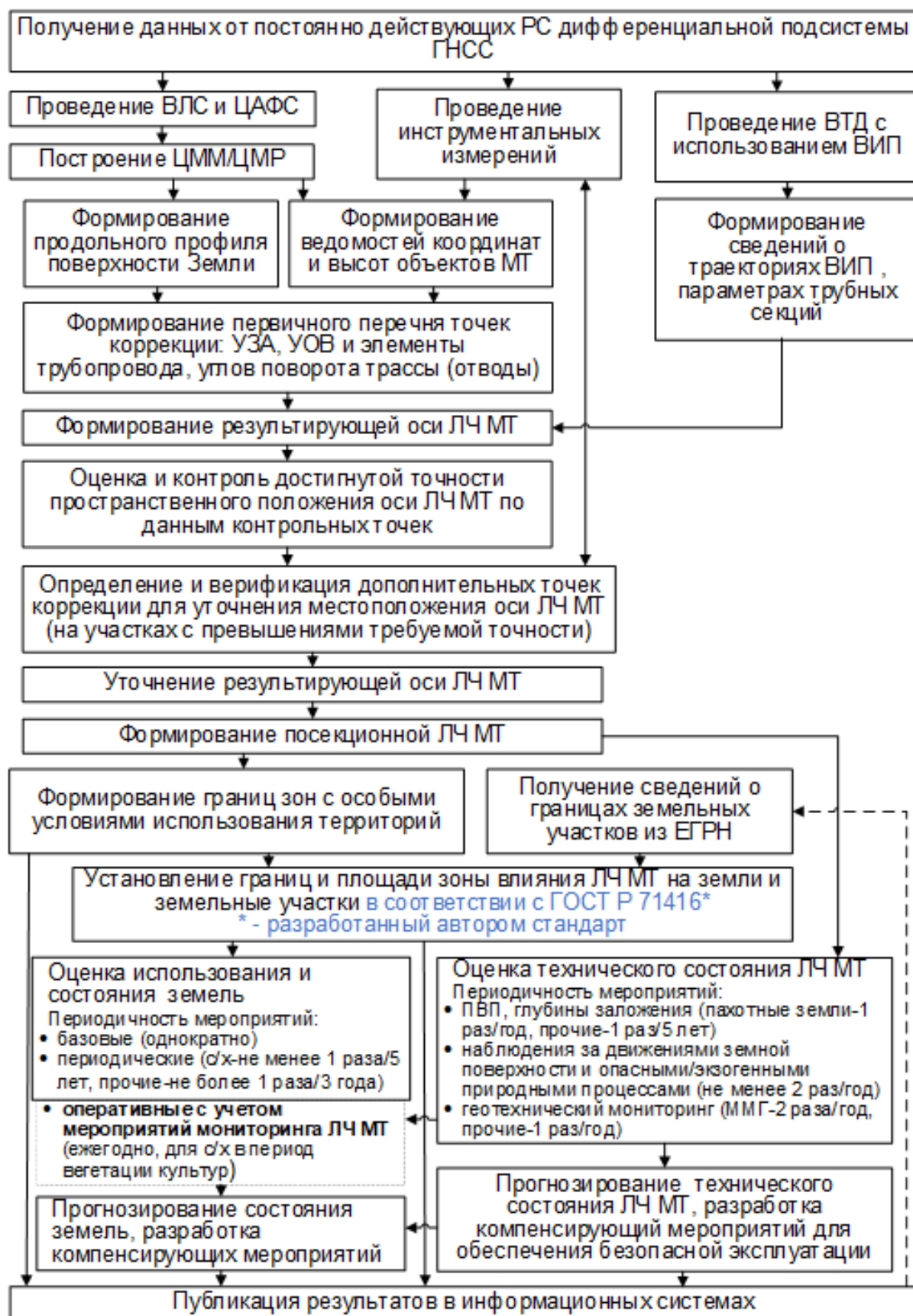


Рисунок 1 – Технологическая схема комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых МТ

Третий раздел содержит разработанный алгоритм комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий (ВЛС, ВИП, ГНСС).

Алгоритм состоит из следующих процедур:

- подготовки данных ВЛС;
- подготовки данных по результатам наземных ГНСС-измерений элементов и/или объектов ЛЧ МТ;
- подготовки данных ВТД;
- обработки точек лазерного отражения с выводом ведомости координат и высот объектов МТ;
- обработки цифровой модели рельефа (ЦМР) с выводом продольного профиля поверхности Земли;
- создания первичного перечня точек коррекции;
- обработки точек коррекции, траекторий ВИП и расчета оси ЛЧ МТ;
- оценки расчетной результирующей оси ЛЧ МТ;
- корректировки результирующей оси ЛЧ МТ;
- анализа, вывода результатов.

Блок-схема комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий (ВЛС, ВИП, ГНСС), разработанная для мониторинга земель и земельных участков, занятых МТ, приведена на рисунке 2.

В алгоритме обработки точек коррекции, траекторий ВИП и расчета оси ЛЧ МТ реализуется решение пространственной задачи преобразованием траектории ВИП по координатам и высотам точек коррекции и вычисляемому масштабному коэффициенту с предварительным переходом в приведенную систему координат (система координат с началом отчета в точке коррекции: X, Y, Z), используя матрицы преобразования и поворота на вычисляемые углы.

Преобразования траекторий ВТД представлены на рисунках 3, 4.

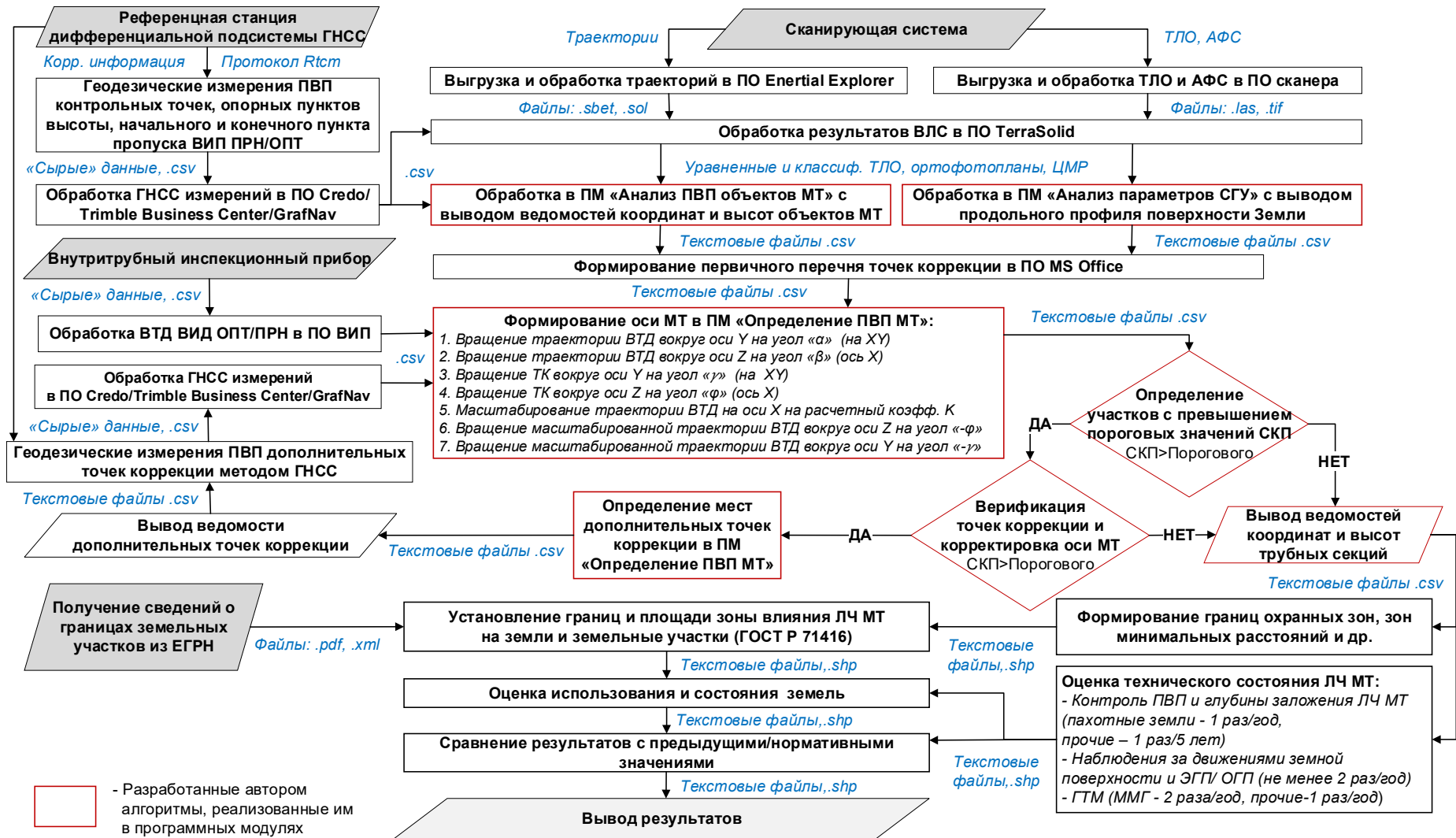


Рисунок 2 – Блок-схема комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий (ВЛС, ВИП, ГНСС), разработанная для мониторинга земель и земельных участков, занятых МТ

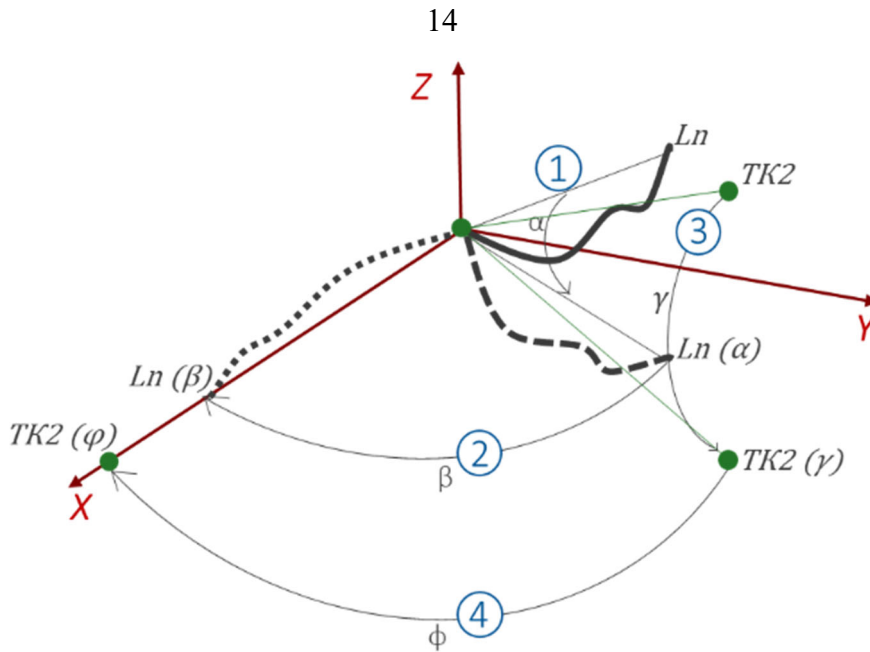


Рисунок 3 – Вращение траектории ВТД и точек коррекции вокруг осей Y и Z

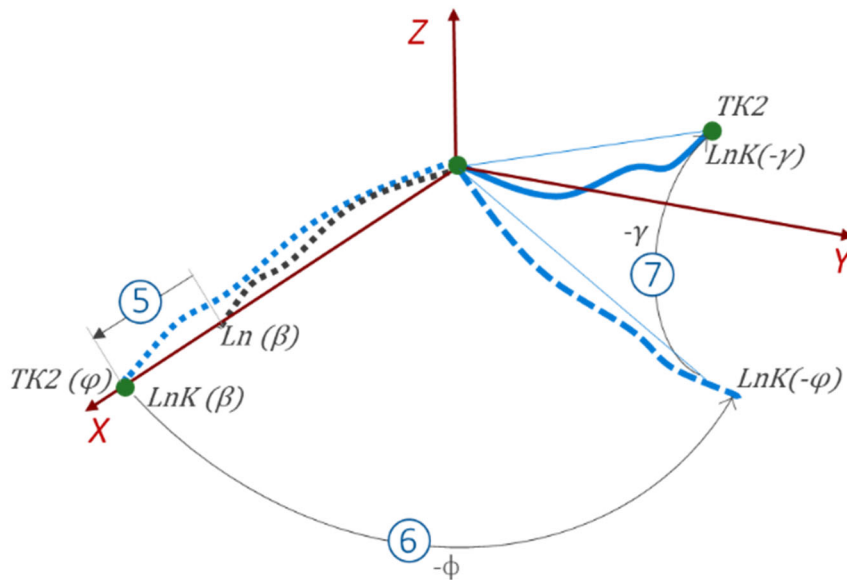


Рисунок 4 – Масштабирование и вращение траектории ВТД

Координаты ($XK_i; YK_i$) и высоты (ZK_i), а также глубины заложения (h_i) трубных секций определяются сводной итоговой матрицей $M_{Kih}^{ВТД}$:

$$M_{Kih}^{ВТД} = \begin{bmatrix} XK_1 & YK_1 & ZK_1 & h_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ XK_i & YK_i & ZK_i & h_i \\ XK_{i+1} & YK_{i+1} & ZK_{i+1} & h_{i+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ XK_n & YK_n & ZK_n & h_n \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Для формирования матрицы используются:

– $M^{ВД}$ – матрица раскладки секций, полученная по ВД пересчетом координат и высот стыков трубных секций по данным гироскопа и одометра ВИП из матрицы $M^{Гироскоп}$.

$$M^{Гироскоп} = \begin{bmatrix} X_{Г1} & Y_{Г1} & Z_{Г1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{Гn} & Y_{Гn} & Z_{Гn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $L_i^{одометр}$ – дистанция каждой трубной секции по одометру ВИП.

Полученная матрица раскладки секций по ВД:

$$M^{ВД} = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_i & Y_i & Z_i \\ X_{i+1} & Y_{i+1} & Z_{i+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n & Z_n \end{bmatrix}; \quad (3)$$

– $M^{ТК}$ – матрица точек коррекции (точка вращения, точка совмещения):

$$M^{ТК} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

– M^{Hi} – матрица выборки отметок поверхности Земли из ЦМР (H_i) по координатам трубных секций:

$$M^{Hi} = \begin{bmatrix} H_1 \\ \vdots \\ H_n \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Порядок преобразований:

1 Поворот в горизонтальную плоскость траектории ВИП и применяемой точки коррекции (вокруг Y) относительно предыдущей/следующей примененной точки коррекции (поз. 1, 3 рисунка 3):

– угол α для поворота на плоскость XU траектории ВИП вращением вокруг оси Y (поз.1), вычисляемый по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{Y_n^{\text{секц}} - Y_1^{\text{секц}}}{X_n^{\text{секц}} - X_1^{\text{секц}}} ; \quad (6)$$

– угол γ для поворота на плоскость XU двух точек коррекции вращением вокруг оси Y (поз.3), вычисляемый по формуле:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{y_2^{\text{ТК}} - y_1^{\text{ТК}}}{x_2^{\text{ТК}} - x_1^{\text{ТК}}} . \quad (7)$$

2 Поворот вокруг Z для совмещения траектории ВТД и точки коррекции с осью X (поз. 2, 4 рисунка 3):

– угол β для поворота на ось X траектории ВТД вращением вокруг оси Z (поз. 2), вычисляемый по формуле:

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{Z_n^{\text{секц}} - Z_1^{\text{секц}}}{X_n^{\text{секц}} - X_1^{\text{секц}}} ; \quad (8)$$

– угол φ для поворота на ось X двух точек коррекции вращением вокруг оси Z (поз. 4), вычисляемый по формуле:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{z_2^{\text{ТК}} - z_1^{\text{ТК}}}{x_2^{\text{ТК}} - x_1^{\text{ТК}}} . \quad (9)$$

3 Сжатие или растяжение траектории ВТД для совмещения с применяемой точкой коррекции (поз. 5 рисунка 4):

– коэффициент масштабирования K вычисляется по формуле:

$$K = \frac{x_2^{\text{ТК}} - x_1^{\text{ТК}}}{X_n^{\text{секц}} - X_1^{\text{секц}}} . \quad (10)$$

4 Повороты в обратной последовательности масштабированной траектории ВТД на значения углов «- φ », «- γ » (поз. 6, 7 рисунка 4).

5 Вычисление глубины заложения трубопровода по данным ЦМР, полученных средствами ВЛС:

– глубина заложения трубопровода до верхней образующей вычисляется по формуле:

$$hi = Hi - KZi - \frac{Dn}{2} , \quad (11)$$

где D_n – наружный диаметр трубопровода;

KZ_i – высотная отметка оси трубной секции.

Четвертый раздел содержит результаты проведения апробации разработанной методики комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых МТ.

В составе работ проводились:

- определение местоположения оси ЛЧ МТ по разработанной методике;
- контрольные геодезические измерения фактического положения трубных секций МТ;
- оценка точности алгоритма комплексной обработки пространственных данных (ВЛС, ВИП, ГНСС) при определении пространственного положения ЛЧ МТ подземной прокладки;
- оценка эффективности методики комплексного мониторинга земель, занятых МТ, с использованием средств ВЛС, ВИП и ГНСС, при оптимизации наблюдений и обследований.

Апробация методики проведена на МТ, проложенных на территории Российской Федерации в сложных природно-климатических условиях:

- МТ «Малгобек – Тихорецк»;
- МТ «Тихорецк – Туапсе-1»;
- МТ «Восточная Сибирь – Тихий океан».

Оценка точности алгоритма комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий (ВЛС, ВИП, ГНСС), заключалась в сравнении расчетных СКП с нормативными, оценке отклонения расчетных планового и высотного положений с контрольными геодезическими измерениями фактического положения трубных секций на участках вскрытий трубопровода.

Результаты оценки точности алгоритма комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий (ВЛС, ВИП, ГНСС), по разработанной методике приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты оценки точности алгоритма комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий (ВЛС, ВИП, ГНСС)

№, п/п	Секция	$ \Delta_{\text{план}} $, м	Расчетная предельная погрешность в плане, м	$ \Delta h $, м	Расчетная предельная погрешность по высоте, м	Соответствие полученной точности требованиям НД
1	2	3	4	5	6	7
1	12550	0,17	±1,10	0,23	±0,70	Соответствует
2	70880	0,51	±2,79	0,20	±0,60	Соответствует
3	70890	0,80	±2,69	0,20	±0,61	Соответствует
4	140120	0,53	±1,94	0,04	±0,57	Соответствует
5	140430	0,70	±1,86	0,19	±0,57	Соответствует
6	103870	0,47	±0,84	0,47	±0,62	Соответствует
7	103930	0,14	±0,74	0,14	±0,70	Соответствует
8	104740	0,12	±1,18	0,12	±0,56	Соответствует
9	106130	0,51	±0,77	0,51	±0,61	Соответствует
10	125290	0,07	±0,91	0,06	±0,84	Соответствует
11	141531	0,16	±0,73	0,05	±0,73	Соответствует
12	141631	0,24	±0,91	0,06	±0,77	Соответствует
13	148041	0,47	±1,80	0,03	±1,03	Соответствует
14	164660	0,67	±1,15	0,04	±0,84	Соответствует
15	170521	0,51	±0,90	0,04	±0,89	Соответствует
16	170522	0,51	±0,90	0,05	±0,89	Соответствует
17	76721	0,94	±1,14	0,03	±0,88	Соответствует
18	164800	0,23	±0,66	0,19	±0,56	Соответствует

Сравнение расчетных удельных стоимостей определения пространственного положения объектов ЛЧ МТ при использовании разработанных методики и алгоритма с классическими геодезическими методами подтверждает эффект от их применения (сокращение удельной стоимости работ до 10,7 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований цель диссертационной работы достигнута: разработана методика комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами, с использованием современных измерительных технологий, основанная на алгоритме определения пространственного положения объектов ЛЧ МТ с применением средств воздушного лазерного сканирования, внутритрубных инспекционных приборов, глобальных навигационных спутниковых систем.

Основные научные и практические результаты при выполнении

поставленных задач:

1 Выполнен информационно-аналитический анализ требований нормативных документов, научно-технических публикаций о существующих технологиях мониторинга земель и земельных участков, занятых комплексом инженерных сооружений, на основании которого определены цели и задачи диссертационного исследования.

2 Разработана методика комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами, с использованием современных измерительных технологий (воздушное лазерное сканирование, диагностика внутритрубными инспекционными приборами, дифференциальные подсистемы глобальных навигационных спутниковых систем), позволяющая определять и контролировать пространственное положение наземных и подземных объектов магистральных трубопроводов и их инфраструктуры, формировать границы зон с особыми условиями использования территорий, включающие границы охранных зон трубопровода, зон минимальных расстояний, оценивать текущее и прогнозное состояния земель и земельных участков.

3 Разработан алгоритм комплексной обработки пространственных данных, полученных с использованием современных измерительных технологий (воздушное лазерное сканирование, внутритрубные инспекционные приборы, дифференциальная подсистема глобальных навигационных спутниковых систем), обеспечивающий повышение точности определения местоположения наземных и подземных объектов магистральных трубопроводов и их инфраструктуры для установления на местности границ зон с особыми условиями использования территорий в единой установленной законодательством системе координат. Алгоритм реализован в программном модуле для применения в соответствующих этапах разработанной методики.

4 Выполнена апробация разработанной методики комплексного мониторинга земель и земельных участков, занятых магистральными трубопроводами, проложенными на территории Российской Федерации: «Восточная Сибирь – Тихий океан», МН «Малгобек – Тихорецк», МН «Тихорецк – Туапсе». Контрольные геодезические измерения фактического положения трубных секций на участках

вскрытий трубопровода, выполненные с использованием высокоточных ГНСС-измерений, подтвердили необходимую точность определения элементов МТ, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения (расчетные СКП в плане соответствуют нормативным, отклонения фактического положения от расчетных соответствуют предельным погрешностям определений и составляют до 0,94 м в плане и до 0,51 м по высоте). Подтвержден эффект от применения разработанных методики и алгоритма (сокращение удельной стоимости работ до 10,7 %). Разработаны технически обоснованные нормы определения границ и площади отвода земель для объектов магистрального трубопровода, которые легли в основу ГОСТ Р 71416–2024.

Результаты исследования внедрены в производственный процесс ООО «НИИ Транснефть» и могут быть рекомендованы к использованию при комплексном мониторинге земель, занятых магистральными трубопроводами, уточнении пространственного положения объектов МТ (акт о внедрении результатов научных исследований от 07.10.2025).

Перспективы дальнейших исследований заключаются в теоретическом обосновании и разработке методов и норм установления зон влияния инфраструктуры магистрального трубопровода на природно-хозяйственные территориальные системы.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Совершенствование методов и средств прогнозных расчетов ореолов оттаивания, просадки и величины напряженно-деформированного состояния трубопроводов, проложенных в многолетнемерзлых грунтах / С. Г. Радионова, Ю. В. Лисин, Т. И. Кузнецов, А. А. Коротков, Э. Н. Фигаров – Текст: непосредственный // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2016. – № 1 (21). – С. 39–43.

2 Применение воздушного лазерного сканирования для геотехнического мониторинга объектов магистрального трубопровода / Е. М. Макарычева, Э. Р. Ибрагимов, Т. И. Кузнецов, К. Ю. Шуршин. – Текст: непосредственный // Наука и

технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 21–31.

3 3D-ГИС для сопровождения работ по геотехническому мониторингу объектов магистральных трубопроводов / Е. М. Макарычева, Т. И. Кузнецов, С. А. Половков, А. И. Барышев, Е. А. Покровская – Текст: непосредственный // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 342–351.

4 Организация высокоточной координатной системы на объектах магистральных трубопроводов / М. С. Куприянов, М. П. Гасилин, Е. М. Макарычева, Т. И. Кузнецов. – Текст: непосредственный // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2023. – Т. 13, № 6. – С. 512–521. (К 1).

5 Организация единого координатного пространства на объектах магистральных трубопроводов / М. С. Куприянов, М. П. Гасилин, Е. М. Макарычева, Т. И. Кузнецов. – Текст: непосредственный // Мониторинг. Наука и технологии. – 2025. – № 1(63). – С. 15–20. (К 2)

6 Построение трехмерных моделей объектов магистрального трубопровода по данным лазерного сканирования для формирования границы отвода земель / Д. В. Долгополов, Т. И. Кузнецов, А. Г. Ахундов, А. И. Барышев, В. А. Мелкий. – Текст: непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 117–130. (К 1).

7 Кузнецов, Т. И. Мониторинг земель, занятых магистральными трубопроводами: нормативные требования и технологии мониторинг/ Т. И. Кузнецов. – Текст: непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 6. – С. 173–182. (К 1).

8 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017662021 Российская Федерация. Модель данных для расчетов планово-высотного положения с использованием программно-расчетного модуля: № 2017618892: заявл. 01.09.2017; опубл. 26.10.2017 / В. И. Суриков, Э. Р. Ибрагимов, Т. И. Кузнецов, Д. В. Долгополов, А. А. Захаров, С. Н. Чужинин, П. А. Ревель-Муроз, А. И. Барышев; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО

«Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»). – Текст: электронный.

9 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023680590 Российская Федерация. Программный модуль автоматизированного анализа планово-высотного положения объектов МТ и их динамики по данным ВЛС: № 2023680005: заявл. 29.09.2023: опубл. 03.10.2023 / Т. И. Кузнецов, А. И. Барышев, Е. А. Покровская, А. Л. Федотов, Е. М. Макарычева, Ю. А. Бухаркин; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть», Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта», Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть – Восток», Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть – Дальний Восток», Акционерное общество «Транснефть – Сибирь». – Текст: электронный.

10 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682372 Российская Федерация. Программный модуль автоматизированного анализа параметров сложных геологических условий расположения объектов МТ и их динамики по данным ВЛС: № 2023680694: заявл. 06.10.2023: опубл. 25.10.2023 / Т. И. Кузнецов, А. И. Барышев, Е. А. Покровская А. Л. Федотов, Е. М. Макарычева, В. О. Михайлов; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть», Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта», Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть – Восток», Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть – Дальний Восток», Акционерное общество «Транснефть – Сибирь». – Текст: электронный.

11 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025691119 Российская Федерация. Программный модуль автоматизированного определения планово-высотного положения магистрального трубопровода: № 2025691119: заявл. 21.10.2025: опубл. 12.11.2025 / Т. И. Кузнецов, А. И. Барышев, Е. В. Ольшевский, А. Л. Федотов, Ю. А. Бухаркин, Д. С. Курдыш; заявитель

Публичное акционерное общество «Транснефть», Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта», Акционерное общество «Черноморские магистральные нефтепроводы». – Текст: электронный.

12 Патент на полезную модель № 182554 U1 Российская Федерация, МПК F17D 5/00. Устройство определения планово-высотного положения магистрального нефтепровода: № 2018118608: заявл. 21.05.2018: опубл. 22.08.2018 / А. Г. Воронов, С. Н. Чужинин, А. А. Захаров, Т. И. Кузнецов, В. В. Полуянов, С. А. Шебунов, А. Ф. Пузиков, А. А. Пешков, С. М. Максимова, В. А. Бронников; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО «Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть – Восток» (ООО «Транснефть – Восток»), Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»). – 2 с. – Текст: непосредственный.

13 Geotechnical Monitoring of Pipelines Located in Difficult Climatic Conditions / E. M. Makarycheva, V. I. Surikov, T. I. Kuznetsov, D. V. Dolgoplov. – Текст: непосредственный // 13 Pipeline Technology Conference, Berlin, 12–14 March 2018. – Berlin: ESTREL CONVENTION CENTER, 2018. – P. 14–20.

14 Макарычева, Е. М. Оценка развития криогенных процессов и их влияния на устойчивость трубопроводов и сооружений на ММГ / Е. М. Макарычева, Т. И. Кузнецов. – Текст: непосредственный // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике, Салехард, 03–12 ноября 2021 года. – Салехард: Б. и., 2021. – С. 267–270.

15 Макарычева, Е. М. Геотехнический мониторинг на объектах магистральных нефтепроводов в криолитозоне / Е. М. Макарычева, Т. И. Кузнецов, А. И. Барышев. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: сборник трудов XV Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 26 апреля 2022 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, 2022. – С. 563–573.

16 Макарычева, Е. М. Организация системы мониторинга магистральных нефтепроводов в условиях криолитозоны / Е. М. Макарычева, Т. И. Кузнецов. – Текст: непосредственный // Мониторинг в криолитозоне: Сборник докладов Шестой конференции геокриологов России с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов, Москва, 14–17 июня 2022 года / ред. Р. Г. Мотенко. – Москва: «КДУ», «Добросвет», 2022. – С. 268–272.

17 Геоинформационные системы объектов магистральных трубопроводов, расположенных в сложных природно-климатических условиях / Т. И. Кузнецов, Е. М. Макарычева, А. И. Барышев, Е. А. Покровская. – Текст: непосредственный // 16-я Международная конференция и выставка по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ «RAO/CIS Offshore 2023»: Труды, Санкт-Петербург, 26–29 сентября 2023 года. – Санкт-Петербург: Перо, 2023. – С. 327–329.

18 Кузнецов, Т. И. Мониторинг трасс магистральных трубопроводов с использованием средств воздушного лазерного сканирования и дифференциальной подсистемы ГНСС / Т. И. Кузнецов, Д. В. Долгополов, А. И. Барышев. – Текст: непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 21–23 мая 2025 г., Новосибирск: сборник материалов в 8 т. Т. 4: Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск: СГУГиТ, 2025. № 4. – С. 189–196.

19 Долгополов, Д. В. Применение данных дистанционного зондирования Земли для информационного обеспечения геотехнического мониторинга магистральных трубопроводов / Д. В. Долгополов, Т. И. Кузнецов, А. Л. Федотов. – Текст: непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 21–23 мая 2025 г., Новосибирск: сборник материалов в 8 т. Т. 4: Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск: СГУГиТ, 2025. № 4. – С. 182–188.