

Т. И. Кузнецов¹✉

Методы проведения комплексного мониторинга земель занятых магистральными трубопроводами

¹ООО «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта»,
г. Москва, Российская Федерация

e-mail: KuznetcovTI@niitnn.transneft.ru

Аннотация. Для большого перечня задач в процессе эксплуатации магистрального трубопровода критически важной является информация о пространственном положении и геометрии его отдельных элементов (трубных секций). Сложность получения такой информации связана с подземным способом прокладки, а также со сложностями при организации и проведении работ по мониторингу классическими, полевыми методами. Предлагаемые подходы обеспечивают определение местоположения наземных и подземных объектов магистральных трубопроводов и их инфраструктуры с нормативной точностью для решения задач мониторинга земель, землеустроительной, кадастровой и градостроительной деятельности. С целью расчета пространственного положения секций трубопровода, установления границ земельных участков разработан и реализован в программном обеспечении алгоритм комплексной обработки данных ДЗЗ, полученных с использованием средств воздушного лазерного сканирования и внутритрубных инспекционных приборов. Для повышения точности определения пространственного положения магистрального трубопровода и границ земельных участков используется дифференциальная подсистема глобальных навигационных спутниковых систем. Приведенные методы существенно сокращают объем «ручного труда» за счет автоматизации обработки данных.

Ключевые слова: мониторинг земель, магистральный трубопровод, геотехнический мониторинг, внутритрубная диагностика, воздушное лазерное сканирование

T. I. Kuznetsov¹✉

Methods of complex monitoring of land used by main pipelines

¹Pipeline Transport Institute, LLC (Transnet R&D, LLC), Moscow, Russian Federation

e-mail: KuznetcovTI@niitnn.transneft.ru

Abstract. For a wide range of tasks in the process of operating a main pipeline, information about the spatial position and geometry of its individual elements (pipe sections) is critical. The complexity of obtaining such information is related to the underground method of laying, as well as to the difficulties in organizing and conducting monitoring activities using classical, field-based methods. The proposed approaches ensure the determination of the location of above-ground and underground objects of main pipelines and their infrastructure with regulatory accuracy for solving tasks related to land monitoring, land management, cadastral, and urban planning activities. In order to calculate the spatial position of pipeline sections and establish the boundaries of land plots for pipeline placement, an algorithm for complex processing of remote sensing data obtained using airborne laser scanning and in-pipe inspection devices has been developed and implemented in software. To improve the accuracy of determining the spatial position, a differential subsystem of global navigation satellite systems is used. These methods significantly reduce the amount of «manual labor» by automating data processing.

Keywords: land monitoring, main pipeline, geotechnical monitoring, in-pipe diagnostics, air laser scanning

Введение

Комплексный мониторинг полос отвода магистральных трубопроводов (МТ) включает:

- сбор сведений о параметрах окружающей среды и объекте мониторинга;
- моделирование объектов магистрального трубопровода по данным ДЗЗ [1-3];
- оценку текущего технического состояния объектов МТ с определением отклонений от нормативных значений, установление причин [4];
- моделирование прогнозного состояния системы «трубопровод-окружающая среда» на основании комплексной оценки расчетных прогнозных параметров эксплуатируемого объекта и окружающей среды;
- моделирование прогнозного состояния и использование земель, занятых инженерными сооружениями, на основании комплексной оценки расчетных прогнозных параметров размещенного эксплуатируемого объекта и окружающей среды;
- определение компенсирующих мероприятий и их последующую реализацию.

Значительное влияние на результаты прогнозных расчетов оказывает достоверность данных о текущем состоянии окружающей среды и эксплуатируемого объекта МТ, поэтому этап контроля параметров является наиболее важным. Наличие неточных или недостоверных исходных данных как правило приводит к некорректным решениям при определении компенсирующих мероприятий, необоснованным затратам при их реализации.

Методы исследования

Методы, используемые для контроля параметров окружающей среды и объекта мониторинга и последующей оценки текущего технического состояния объектов МТ предусматривают:

- контроль температурного режима грунтов основания методом наблюдений за температурами грунтов в термометрических скважинах;
- контроль деформаций грунтов основания методом систематических геодезических измерений планово-высотного положения объектов МТ по установленным деформационным маркам или методов воздушного лазерного сканирования (ВЛС), в том числе с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для повышения точности определений;
- выявление ненормативных изгибов и перемещений трубопровода методом внутритрубного диагностирования (ВТД) МТ с использованием внутритрубных инспекционных приборов;
- выявление наличия и динамики экзогенных геологических процессов в районах расположения объектов МТ методами визуальных наблюдений, ВЛС и цифровой аэрофотосъемкой [5-8];

- определение/уточнение и контроль климатических условий методами инженерных обследований (инженерно-геологических, инженерно- гидрометеорологические).

При организации работ по мониторингу как самих земель, занятых МТ, так и инженерных сооружений трубопровода в сложных природно-климатических условиях учитываются следующие факторы:

- значительная протяженность объектов мониторинга в труднодоступных районах;
- необходимость создания и сгущения пунктов наблюдательной сети применительно к каждому объекту;
- значительный объем «ручного труда» при проведении инструментальных измерений в сложных природно-климатических условиях, в том числе объектов, расположенных в арктической зоне.

ПАО «Транснефть» создана система геотехнического мониторинга для минимизации указанных факторов на объектах МТ, предусматривающая систему комплексной обработки данных ВТД и ВЛС, включающее цифровую аэрофото-съемку (ЦАФС). Указанная система обеспечивает получение данных для мониторинга за земельными ресурсами.

Современные внутритрубные инспекционные приборы с навигационными системами (ВИП) обеспечивают определение пространственного положения трубопровода и обладают возможностями:

- получения пространственной информации о всем трубопроводе по траекториям движения прибора;
- получения детальной информации о геометрических особенностях трубопровода (шаг измерений до 1 см);
- проведения обследований вне зависимости от сезона и погодных условий;
- определения геометрических дефектов (таких как вмятины, гофры), а также перемещений МТ по нескольким пропускам прибора.

Средства ВЛС, в том числе с ЦАФС, обеспечивают:

- определение координат и высот отдельных объектов с точностью до 5 см;
- создание цифровой модели рельефа (ЦМР) трассы МТ на всей его протяженности с пространственным разрешением до 6 см;
- определение динамики изменения рельефа по результатам обработки двух и более циклов обследований (процесс автоматизирован);
- выявление и определение динамики опасных экзогенных геологических процессов в полосе трассы МТ.

Для комплексной обработки данных ВЛС и ВТД разработан алгоритм комплексной обработки данных для мониторинга инженерного сооружения и занимаемых земель.

Результаты

Алгоритм комплексной обработки данных, полученных с использованием современных измерительных технологий, разработан для решения задач монито-

ринга земель, занятых магистральными трубопроводами, обеспечивает повышение точности определения местоположения наземных и подземных объектов магистральных трубопроводов и их инфраструктуры в единой установленной системе координат (рисунок 1).

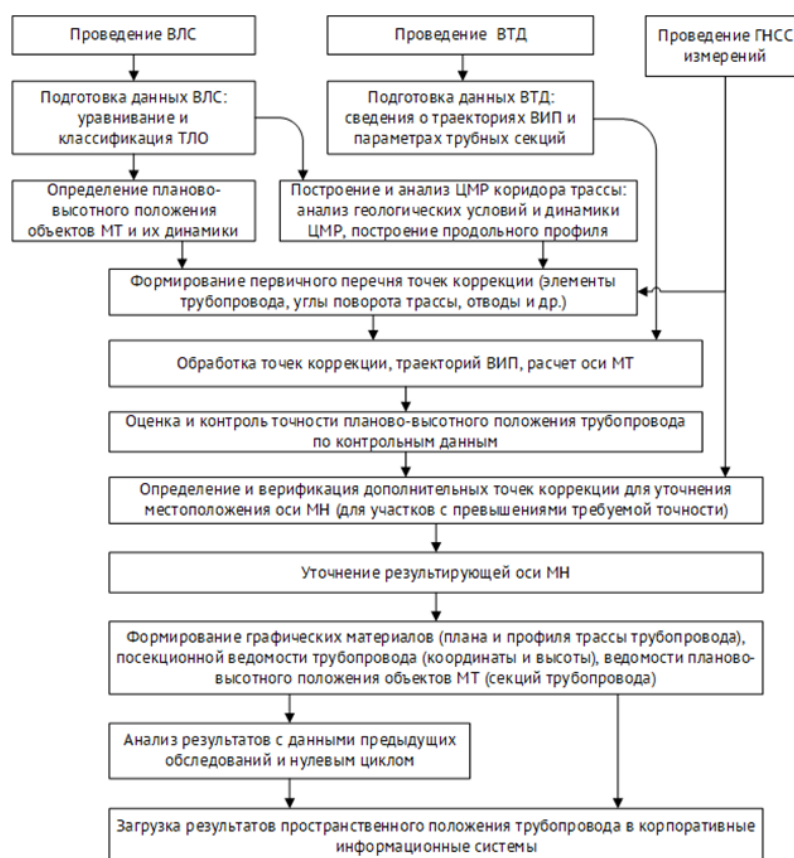


Рис. 1. Алгоритм комплексной обработки данных мониторинга земель, полученных с использованием современных измерительных технологий ВЛС, ВТД, ГНСС

Для обработки больших массивов данных ВЛС и ВТД, их комплексной обработки и анализа были разработаны программные модули:

- программный модуль автоматизированного определения планово-высотного положения магистрального трубопровода [9];
- программный модуль автоматизированного анализа параметров сложных геологических условий расположения объектов МТ и их динамики по данным ВЛС [10].

Использование алгоритма комплексной обработки данных ВТД и ВЛС позволят:

- получать достоверные данные о текущем состоянии окружающей среды и эксплуатируемого объекта МТ по всей протяженности трассы с нормативной точностью (таблица 1);

- контролировать пространственное положение МТ подземной прокладки с определением участков перемещений за период между обследованиями (применяются устройства для определения высотного положения оси трубопровода);
- оптимизировать работы по определению пространственного положения объектов МТ наземными методами (сокращение объемов и периодичности измерений);
- сократить объем «ручного труда за счет автоматизации обработки данных.

Таблица 1. Результаты оценки точности алгоритма комплексной обработки данных, полученных с использованием технологий ВЛС, внутритрубного диагностирования, ГНСС

№, п/п	$ \Delta_{\text{план}} $, м	Нормативное СКП планового положения, м	$ \Delta h $, м	Расчетная предельная погрешность по высоте, м	Соответствие полученной точности требованиям НД
1	3	4	5	6	7
1	0,17	2,5	0,23	0,70	Соответствует
2	0,51	2,5	0,20	0,60	Соответствует
3	0,80	2,5	0,20	0,61	Соответствует
4	0,53	2,5	0,04	0,57	Соответствует
5	0,70	2,5	0,19	0,57	Соответствует
6	0,47	2,5	0,47	0,62	Соответствует
7	0,14	2,5	0,14	0,70	Соответствует
8	0,12	2,5	0,12	0,56	Соответствует
9	0,51	2,5	0,51	0,61	Соответствует
10	0,07	2,5	0,06	0,84	Соответствует
11	0,16	2,5	0,05	0,73	Соответствует
12	0,24	2,5	0,06	0,77	Соответствует
13	0,47	2,5	0,03	1,03	Соответствует
14	0,67	2,5	0,04	0,84	Соответствует
15	0,51	2,5	0,04	0,89	Соответствует
16	0,51	2,5	0,05	0,89	Соответствует
17	0,94	2,5	0,03	0,88	Соответствует
18	0,23	2,5	0,19	0,56	Соответствует

Заключение

Использование предлагаемых методов при организации и проведении мониторинга земель, занятых магистральными трубопроводами, обеспечивает:

- получение актуальной информации с требуемой точностью о пространственном положении объектов мониторинга, границах занятых земельных участков;

- снижение затрат на обследования при повышении точности данных, что в общем обеспечивает разработку более качественных компенсирующих мероприятий;
- общее снижение трудоемкости работ за счет оптимизации их состава и периодичности;
- повышение эффективности при управлении земельными ресурсами, надежности и безопасности эксплуатации МТ, снижение вероятности аварийных ситуаций за счет более точных оценок текущего и прогнозного состояний объектов МТ [11];
- обоснование границ зон с особыми условиями использования территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгополов, Д. В. Моделирование объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования / Д. В. Долгополов // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 5. – С. 43-51.
2. Технологические решения в области обеспечения геопространственной информации о магистральных трубопроводах и объектах их инфраструктуры / Е. И. Аврунев, Г. А. Уставич, А. О. Грекова [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 7. – С. 188-201.
3. Долгополов, Д. В. Теоретическое обоснование принципов формирования геопространственных моделей трубопроводных систем / Д. В. Долгополов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 5. – С. 87-97. – DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-5-87-97. – EDN RQMIUH.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025690081 Российская Федерация. Программа анализа изменения пространственной конфигурации подземного трубопровода по дискретным данным о кривизне и направлении изгиба трубопровода: заявл. 20.10.2025; опубл. 05.11.2025 / Ю. А. Сунгуров, А. С. Чернятин, А. А. Коротков [и др.]; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть», Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта».
5. Макарычева, Е. М. Системы геотехнического мониторинга магистральных нефтепроводов в криолитозоне / Е. М. Макарычева, Т. И. Кузнецов // Проблемы криосферы Земли: сборник тезисов Всероссийской научной конференции, Пушино, 12–16 мая 2025 года. – Пушино: Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 2025. – С. 122-123.
6. Макарычева, Е. М. методика районирования территории протяженных линейных объектов по условиям формирования термокарста / Е. М. Макарычева, В. П. Мерзляков, О. К. Миронов // Криосфера Земли. – 2023. – Т. 27, № 1. – С. 58-66. – DOI 10.15372/KZ20230106. – EDN OWALQR.
7. 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 // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 4. – С. 189-196. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-4-189-196. – EDN IKUVSN.
8. Определение дешифровочных признаков экзогенных геологических процессов при мониторинге земель трубопроводного транспорта по данным аэросъемок / Д. В. Долгополов, Ф. А. Шевчик, Е. М. Макарычева, В. А. Мелкий // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2026. – Т. 31, № 1. – С. 40-50.
9. 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.

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. Макарычева, Е. М. Геотехнический мониторинг на объектах магистральных нефтепроводов в криолитозоне / Е. М. Макарычева, Т. И. Кузнецов, А. И. Барышев // 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.

© Т. И. Кузнецов, 2026