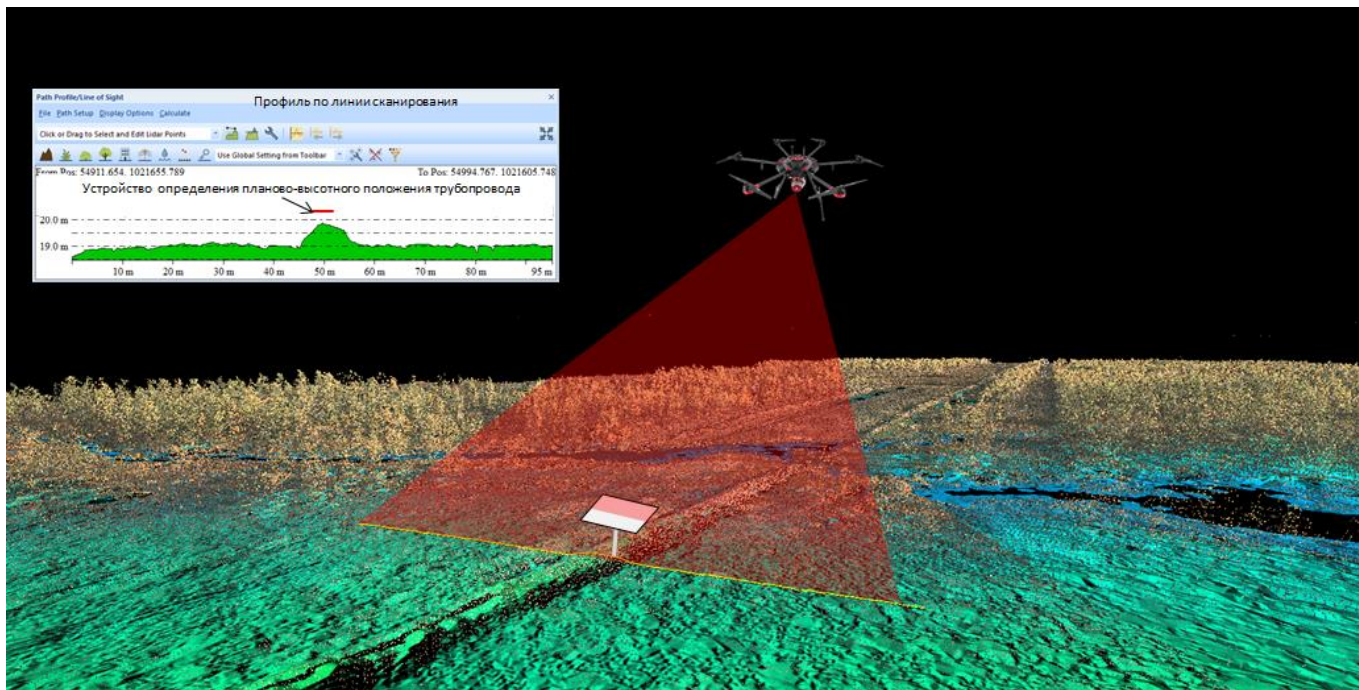


## Новые подходы в мониторинге опасных геологических процессов на трубопроводах



В статье рассматриваются две технологии: воздушное лазерное сканирование и внутритрубная диагностика. Обе они имеют потенциал комплексного применения для целей мониторинга трубопроводов. Кратко рассмотрены особенности применения воздушного лазерного сканирования для определения планово-высотного положения трубопровода подземной прокладки. Рассмотрена компиляция данных воздушного лазерного сканирования и внутритрубной диагностики для повышения безаварийной эксплуатации.

**Баборыкин Максим Юрьевич**

Главный аналитик центра геоинформационных систем АНО ВО «Университет Иннополис», кандидат геолого-минералогических наук

**Жидиляева Елена Вячеславовна**

Старший преподаватель кафедры нефтяной геологии, гидрогеологии и геотехники Института географии, геологии, туризма и сервиса ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

### Введение

Бесперебойная и безопасная эксплуатация трубопроводов является приоритетной политикой нефтегазодобывающих и транспортных компаний. Однако воздействие опасных геологических процессов на трубопроводы может привести к

возникновению аварийных ситуаций. Согласно нормативной документации (действующей и обязательной для применения в целях выполнения требований технического регламента ФЗ №384), опасные геологические процессы, оказывающие негативное воздействие на трубопроводы, связаны с такими компонентами геологических опасностей, как растепление многолетнемерзлых грунтов, солифлюкция, эрозия, оползни, обвалы и т.д.

Необходимость контроля активизации и развития опасных геологических процессов для обеспечения безопасной эксплуатации прописаны в ФЗ №384 [1].

### **Мониторинг на трубопроводах**

Мониторинг на трубопроводе проводится с целью обеспечения его безопасной эксплуатации. В рамках мониторинга с целью своевременного обнаружения или выявления изменений, которые могут привести к риску возникновения аварийной ситуации, выполняется контроль процессов, протекающих в грунтах, и отслеживание изменений в элементах конструкции.

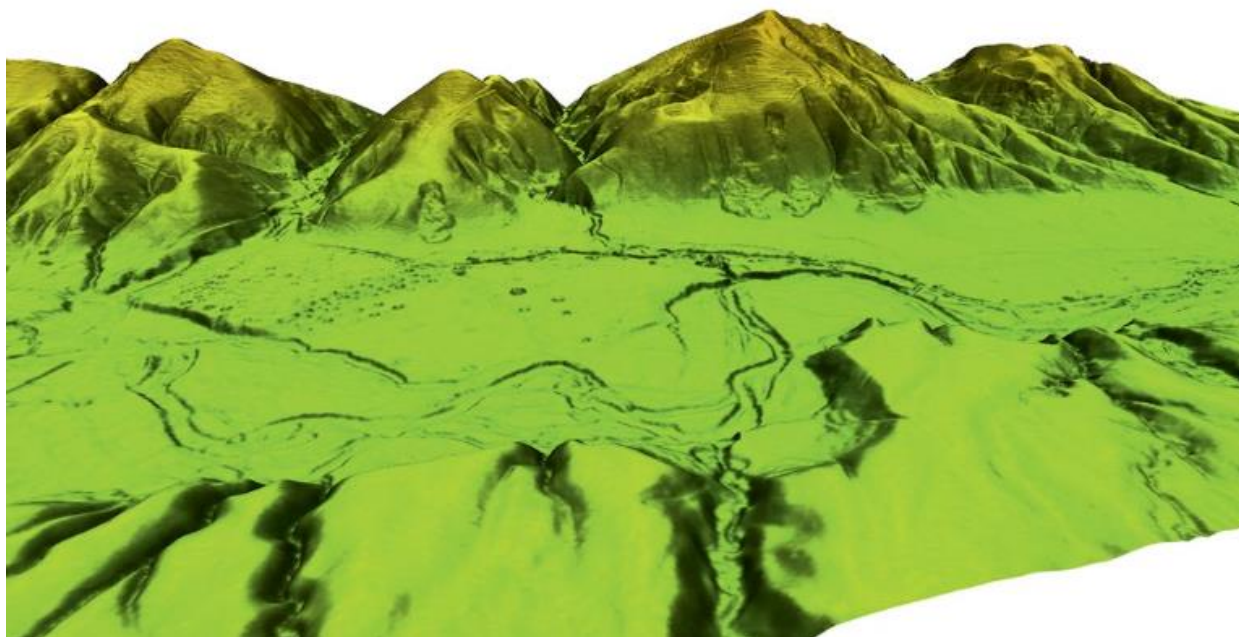
Учитывая, что подземная прокладка трубопроводов на пересечённой местности сопряжена с нарушением естественных природных условий (изменение теплового режима и водного режима грунтов, потеря устойчивости склонов и т.д.), она сопровождается активизацией имеющихся геологических процессов или появлением новых. При этом различные опасные геологические процессы могут воздействовать как независимо, так и в совокупности, в том числе усиливая друг друга с точки зрения воздействия на три главных элемента трубопровода – труба, траншея, засыпка траншеи.

Таким образом, получение информации о состоянии поверхности в земельном отводе и состоянии трубопровода является очень важным.

### **Технологии ВЛС и ВТД**

Воздушное лазерное сканирование позволяет получить цифровую модель рельефа, передав детали, а эффективным способом контролирования технического состояния трубопровода специализированными средствами, позволяющими получить информацию о дефектах, является внутритрубная диагностика (ВТД).

Материалы, получаемые с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, подходят для изучения земной поверхности [2, 3]. Полученная статическая модель при соблюдении технологии [4] отображает не только детали рельефа (рис. 1), но и формы (конфигурацию и расположение) опасных геологических процессов [5].

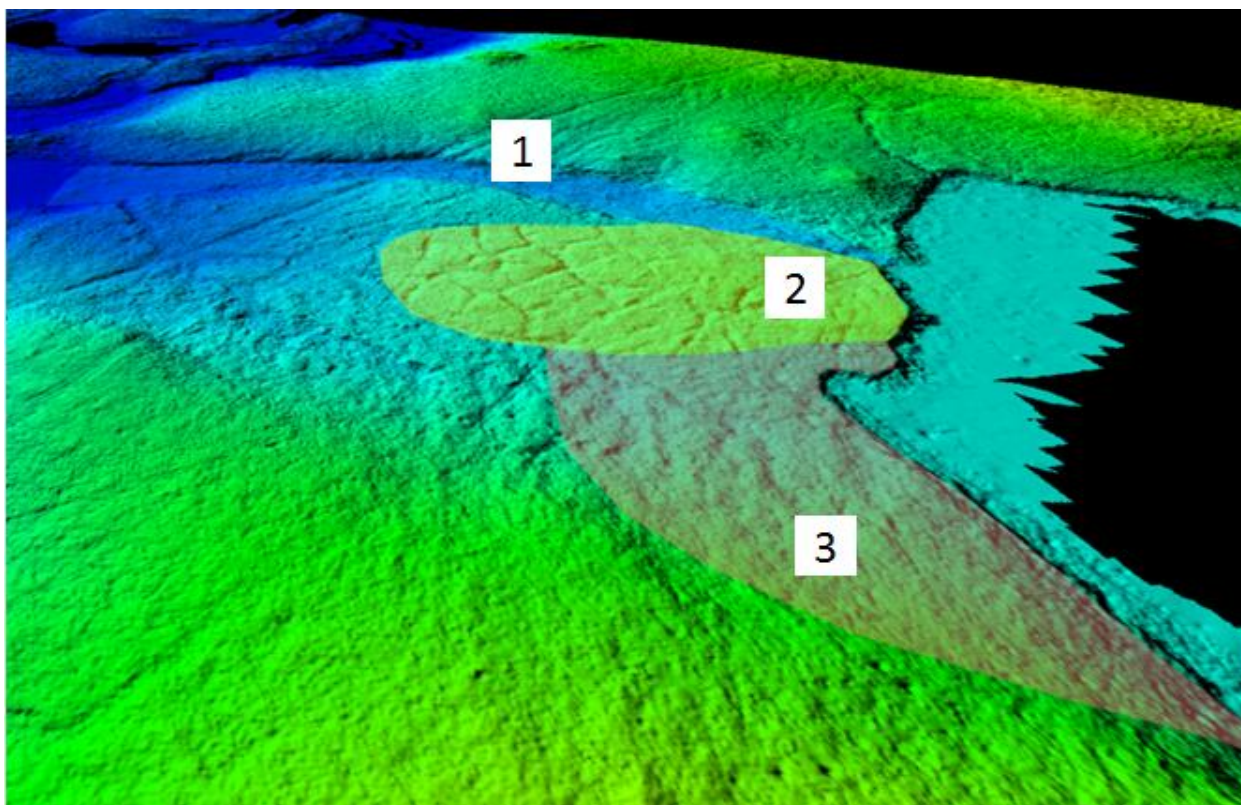


**Рис. 1.** Цифровая модель рельефа

Информация, получаемая с цифровой модели рельефа (ЦМР) с помощью дешифрирования, упрощает задачу контроля появления и активизации опасных геологических процессов, которые могут негативно влиять на безаварийность эксплуатирующихся сооружений. Следовательно, в мониторинг входит дешифрирование, как его неотъемлемая часть, позволяющая получать качественные и количественные характеристики [5, 6, 7, 8].

**Дешифрирование, как метод включает в себя:**

- 1) преддешифровочную проработку – сбор и обобщение доступных фондовых материалов. Данная проработка призвана ускорить само дешифрирование путём получения первичной информации: климатическая зона, инженерно-геологическая провинция и т.п.;
- 2) подготовительно-технические работы – формирование ЦМР, распознавание «геоморфологических образов» опасных геологических процессов и выделение их контуров, а также их классификация (определение типа) по прямым признакам (рис. 2);
- 3) определение качественных и количественных характеристик опасных геологических процессов для каталогизации и дальнейшего мониторинга.



**Рис. 2.** Цифровая модель рельефа с выделенными зонами опасных геологических процессов. 1 – термоэрозия; 2 – полигонально-жильные льды; 3 – солифлюкция

Воздушное лазерное сканирование, как и любая технология, имеет ограничения к использованию. В данном случае это сезонность, погодные условия, наличие снежного покрова и т.п. Эти ограничения не позволяют проводить сканирование качественно. Учитывая, что важной составляющей мониторинга при помощи ВЛС являются структурно-текстурные особенности, как геологических процессов, так и природно-технической системы в целом, важно проводить работы в период отсутствия снега. При этом современные сканеры имеют большое количество точек лазерных отражений (ТЛО), до 80 точек на 1 м. кв., по этой причине листва древесной растительности не является ограничением для сканирования в отличие от оборудования предыдущего поколения.

**Необходимо понимание применимости ВЛС для мониторинга трубопроводов по отношению показателей:**

- информативность;
- точность определения;
- скорость выполнения наблюдений;
- возможность получения информации на удаленных объектах.

Рассматривая плюсы и минусы ВЛС и классических геодезических методов по выше перечисленным показателям, представленным в таблице 1, можно сделать вывод о

том, что ВЛС является высокоинформативным и, относительно классических геодезических методов, более быстрым. Однако немаловажен тот факт, что классические геодезические методы обладают высокой точностью определения координат точки в пространстве, составляющие первые миллиметры (1-2 мм), а ВЛС на данном этапе развития способен выдавать абсолютную погрешность в условиях близких к идеальным первые сантиметры (от 4-5 см.).

**Таблица 1.** Сравнение методов ВЛС и классических геодезических наблюдений

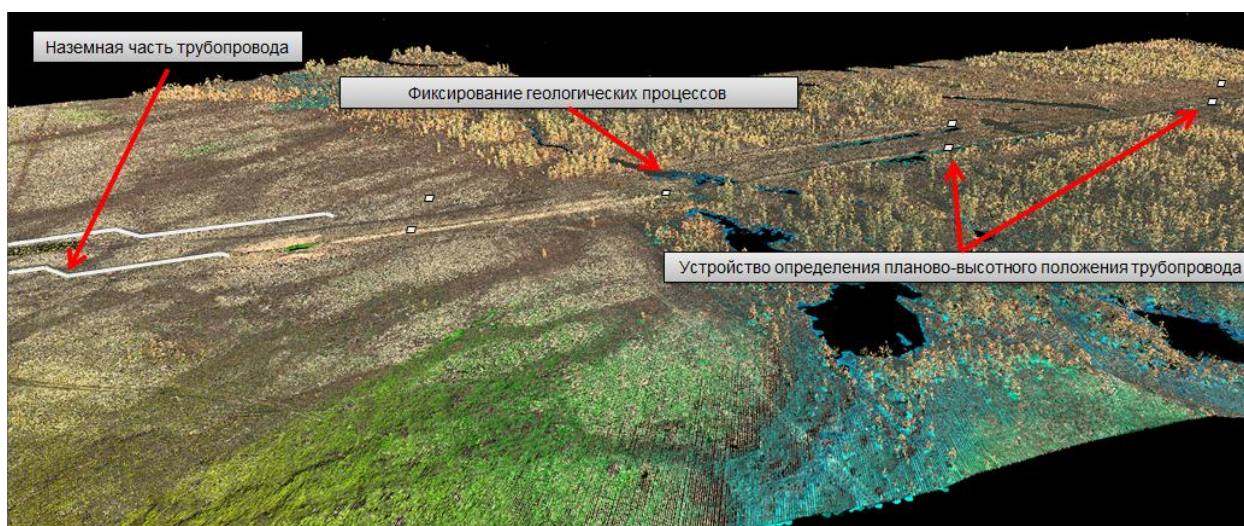
Показатель	ВЛС	Геодезические измерения
1	2	3
Удаленность объекта	Позволяет получать данные с удаленных и трудно-доступных объектов	Сложность получения данных с трудно-доступных и удаленных мест
Точность определения	Первые сантиметры	Первые миллиметры
Скорость выполнения наблюдений	Низкие временные затраты	Высокие временные затраты
Информативность	Определение положения трубопровода и съемка опасных геологических процессов (их наблюдение проводится одновременно при сканировании)	Определение положения трубопровода. Проведение отдельных работ по съемке опасных геологических процессов (отдельные работы по их наблюдению)

Согласно СП 22.13330.2011 [9] в соответствии с постановлением Правительства РФ 1521 является обязательным в части исполнения разделов, указанных в постановлении [10], и СП 25.13330.2012 [11], необходимость проведения мониторинга зданий и сооружений является обоснованной. Учитывая, что подземная прокладка нефтепровода не имеет фундамента и в зонах отсутствия точек заземления трубопровода столь жесткие требования по классу точности определения координат в пространстве могут быть избыточными. Главную проблему появления деформации трубопровода подземной прокладки составляют перемещения под воздействием природных агентов влияющих на состояние грунтов особенно в точках заземления трубопровода. Следовательно, достаточными наблюдениями в точках заземления должны быть методы определения изменений, позволяющие получать первые миллиметры для контроля напряженно-деформированного состояния (НДС)

трубопровода. В зонах отсутствия точек заземления трубопровода подойдут методы определения изменений с погрешностью в первые сантиметры.

Учитывая сложность определения положения трубопровода подземной прокладки и дальнейшего расчета НДС за счет фиксации изменений, наиболее быстрыми средствами наблюдения становятся ВЛС и внутритрубная диагностика (ВТД).

Рассматривая первую составляющую мониторинга ВЛС, стоит отметить, что определение трубопровода в пространстве может производиться специализированными устройствами определения планово-высотного положения (рис. 3) [12]. Технология ВЛС, позволяющая получить поверхность со всеми геологическими процессами, проявившими себя на поверхности, позволяет получить с точностью 4-5 см (на данный момент развития оборудования) перемещения трубопровода, если таковые имеются.



**Рис. 3.** Цифровая модель рельефа, проведение мониторинга линейных сооружений по данным ЦАФС и ВЛС надземной и подземной прокладки

**Технология проведения мониторинга с применением ВЛС состоит из:**

- установки и привязки постоянно действующих опознавательных знаков для аэрофотосъемки;
- установки на трубопровод устройств определения планово-высотного положения [Патент № 173296];
- выявления точек заземления трубопровода по технологической схеме (элементы трубопроводов, жестко закрепленные с грунтовым основанием – фундаменты, сваи и т.п.);
- установки в точках заземления трубопроводов деформационных марок и устройств определения планово-высотного положения для обследования классическими геодезическими методами;
- периодического сканирования местности с аэрофотосъемкой;

- классификацию, формирование мозаики аэрофотосъемки, камеральную обработку;
- проведение декодирования ОГП (обнаружение) и интерпретации (классификация, описание, определение качественных и количественных характеристик);
- каталогизация;
- проведение режимных наблюдений;
- прогнозирование развития ОГП и воздействия на сооружение.

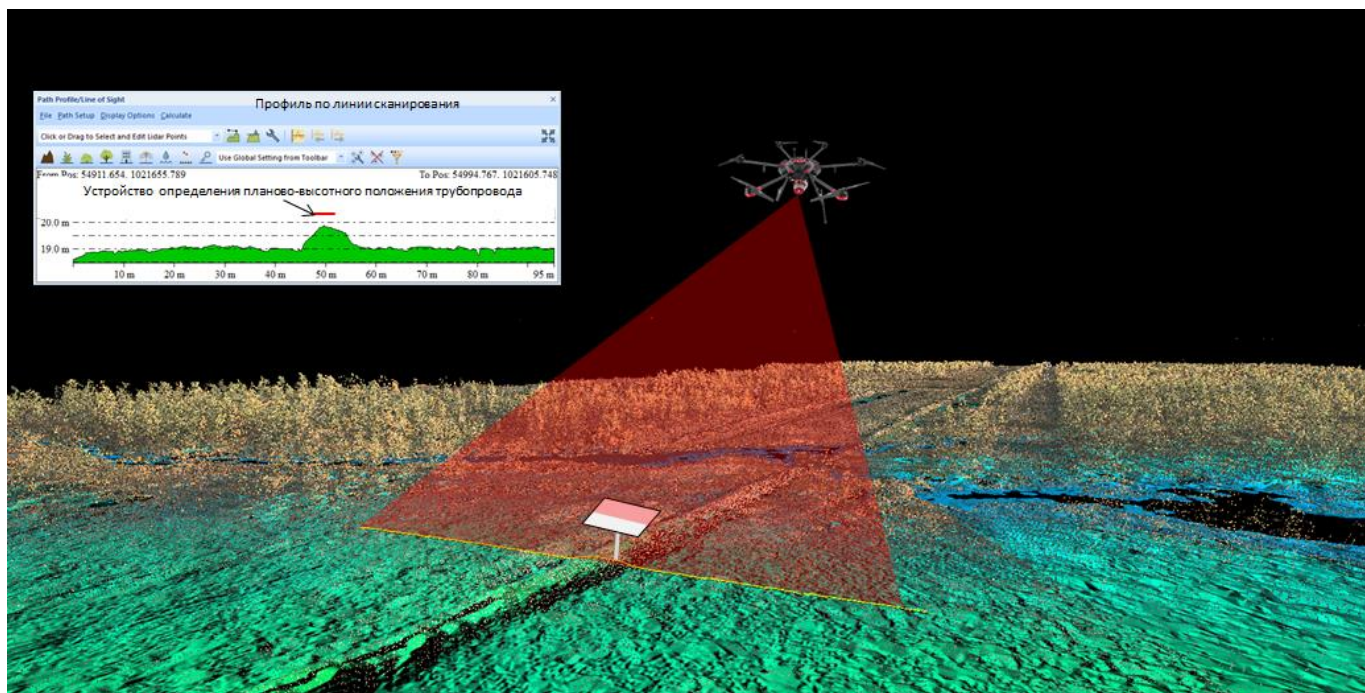
Принимая во внимание, что при каждом ВЛС формируется статическая модель с показателями, необходимо формировать динамические модели для анализа.

Динамическая модель представляет собой ряд последовательных пролетов во времени позволяющая получить прогрессирование процесса во времени с определением смещения в точках заземления трубопровода, оборудованных опознавательными устройствами.

Следовательно, динамическая модель – это не что иное, как выстраивание статических моделей во временном ряду [13].

Главные различия статических моделей и динамических моделей состоят в том, что составная часть дешифрирования (декодирование ОГП) производится только по статическим моделям, а интерпретация присуща как статическим, так и динамическим моделям.

При проведении анализа на статических моделях помимо ОГП определяется положение трубопровода подземной прокладки по устройствам определения плано-высотного положения трубопровода по прямым признакам. Метод фиксирования высотного положения трубопровода представлен на рисунке 4.

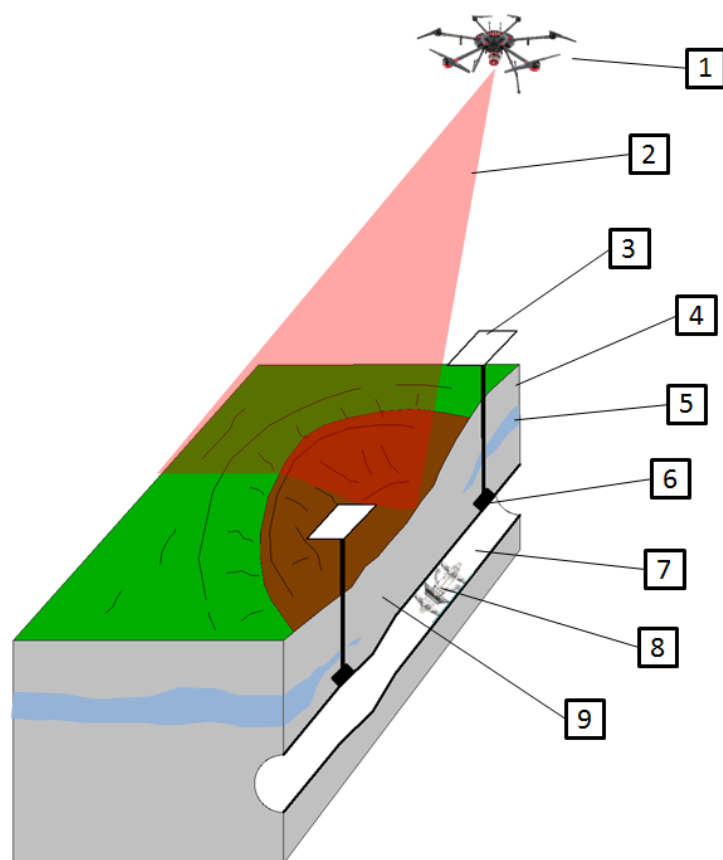


**Рис. 4.** Цифровая модель рельефа. Определение положения подземной части трубопровода по устройству определения планово-высотного положения

Однако применения одного метода определения положения трубопровода в пространстве не достаточно. Опираясь лишь на точечные измерения произвести расчет НДС трубопровода с высокой достоверностью нет возможности. Объединив две технологии – ВЛС и ВТД – получаем высокоинформативный способ проведения мониторинга. ВЛС для мониторинга является средством получения информации о дневной поверхности грунтов, протекания процессов как на земной поверхности, так и в грунтах (по прямым и косвенным признакам – например, образование просадок, появление блюдцев и провалов за счет растепления грунтов).

ВТД является методом неразрушающего контроля для диагностики состояния трубопровода [14, 15]. Учитывая, что большая протяженность трубопроводов и распределительных сетей не позволяет производить непрерывное приборное освидетельствование как напряженного состояния в теле труб, так и сохранности изоляционных покрытий в процессе эксплуатации, сочетание методов ВЛС и ВТД является перспективной методикой проведения мониторинга на трубопроводах (рис. 5).





**Рис. 5.** Схема проведения мониторинга на основе ВЛС и ВТД. 1. летательный аппарат с ВЛС и фотокамерой; 2. сканирующий луч; 3. устройство определения планово-высотного положения трубопровода; 4. грунты; 5. линза высоко льдистых грунтов; 6. хомут крепления устройства определения планово-высотного положения трубопровода; 7. трубопровод; 8. прибор для проведения ВТД; 9. зона растепления грунтов

Обнаружение дефектов трубопровода необходимо увязывать с их местоположением [14, 15]. Отсюда, помимо фиксирования роликами прохождения снаряда по трубе, специальные датчики определяют хомуты крепления устройств определения планово-высотного положения к трубопроводу. Сочетание измерений проходки снаряда (ВТД) производится как по количеству оборотов ролика, так и по стационарным точкам (хомутам крепления устройств определения планово-высотного положения) тем самым увеличивая надёжность измерения расстояний. Установленные устройства определения планово-высотного положения на трубопроводе делят его на секции, что упрощает ведение технической документации, в том числе в цифровом виде (геоинформационная система с данными о мониторинге и техническом состоянии трубопровода).

## Заключение

Применение технологий ВЛС и ВТД в комплексе при проведении мониторинга формирует новую методику этих работ. Компилирование данных ВЛС и ВТД позволяет оценить природно-техническую систему в целом. Последние исследования в применимости ВЛС для мониторинга показывают погрешность от 3 см в надире 90 град. (М.Ю. Баборыкин, А.А. Бурцев, доклад на XIV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле», МГРИ – 2019). Согласно ГОСТ Р 55999-2014 «Внутритрубное техническое диагностирование газопроводов. Общие требования», таблица А.7, погрешность определения расстояния по продольной оси от маркера (расстояние между маркерами 2000 м) составляет  $\pm 0,2\%$ .

Исходя из выше сказанного, ВЛС и ВТД являются дополняющими друг друга технологиями в мониторинге трубопроводов, позволяющими обеспечить безаварийную эксплуатацию.

### Список литературы

1. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ.
2. Баборыкин М.Ю. Способ дешифрирования экзогенных геологических процессов и геологических условий. Патент на изобретение № 2655955.
3. Баборыкин М.Ю. Способ проведения геотехнического мониторинга линейных сооружений и площадных объектов на основе воздушного лазерного сканирования. Патент на изобретение № 2655956.
4. Баборыкин М.Ю. Воздушное лазерное сканирование как один из методов аэрогеологии при проведении дешифрирования опасных геологических процессов и явлений // Сборник статей. III Международная научная конференция «SCIENCE, TECHNOLOGY AND LIFE – 2016». Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow, 24-25 December 2016.
5. Баборыкин М.Ю., Жидиляева Е.В., Погосян А.Г. Выявление опасных геологических процессов при проведении инженерно-геологических изысканий на основе цифровых моделей рельефа // Инженерные изыскания. 2015. № 2. С.30- 37.
6. Баборыкин М.Ю., Ерух В.П., Жидиляева Е.В. Методико-технические аспекты при проведении дешифрирования опасных геологических процессов по данным воздушного лазерного сканирования // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи. Сб. науч. Трудов. Краснодар: Просвещение-Юг, 2015 г. С.: 185-190.
7. Баборыкин М.Ю., Кулижников А.М., Еремин Р.А. Комплексное обследование оползней // Журнал Автомобильные дороги. Февраль 2018 №2 (1035). С. 106-113.
8. Медведев Е.М. Лазерная локация земли и леса / Е.М. Медведев, И.М. Данилин, С.Р. Мельников. Учебное пособие. М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН 2007 г. С.: 94-100.

9. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. Москва 2011.
10. Постановление Правительства Российской Федерации № 1521. «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (в редакции, актуальной с 17 декабря 2016 г., с изменениями и дополнениями, внесенными в текст, согласно постановлениям Правительства РФ: от 29.09. 2015 г. № 1033, от 07.12.2016 г. № 1307).
11. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 (с изменением №1, №2). Москва 2012.
12. Баборыкин М.Ю. Устройство определения плано-высотного положения трубопровода. Патент на полезную модель № 173296.
13. Соловьёв В.А., Соловьёва Л.П. 2005. Глобальная экология (экология геосфер земли). Краснодар: Изд-во КубГУ, 2005. СС. 26, 310-314.
14. Маджитов З.З., Каландаров Н.О. Оценка надежности магистральных газопроводов // Техника. Технологии. Инженерия. №4, 2017. С. 21-27.
15. Поезжаева Е. В., Горетова В. А. Модернизация роботизированной внутритрубной диагностической системы // Молодой ученый. №1, 2019.С. 43-46.

### **Автореферат**

В статье рассматриваются две технологии воздушное лазерное сканирование и внутритрубная диагностика, имеющие потенциал в применении мониторинга трубопроводов как единый комплекс. Кратко рассмотрены особенности применения воздушного лазерного сканирования для определения планово-высотного положения трубопровода подземной прокладки. Рассмотрена компиляция данных воздушного лазерного сканирования и внутритрубной диагностики для повышения безаварийной эксплуатации.

Бесперебойная и безопасная эксплуатация трубопроводов является приоритетной политикой компании ПАО «Роснефть».

Воздействие опасных геологических процессов на трубопроводы могут привести к аварийным ситуациям.

Мониторинг на трубопроводах проводится с целью обеспечения безопасной его эксплуатации.

Воздушное лазерное сканирование позволяет получить цифровую модель рельефа, передав детали, а эффективным способом контролирования технического состояния трубопровода специализированными средствами, позволяющими получить информацию о дефектах при неразрушающем контроле, является внутритрубная диагностика.

Объединение двух технологий воздушного лазерного сканирования и внутритрубной диагностики позволяет получить высокоинформативный способ проведения мониторинга. Воздушное лазерное сканирование для мониторинга является средством получения информации о рельефе, протекании опасных геологических процессов, как на земной поверхности, так и в грунтах (по прямым и косвенным признакам – например, образование просадок, появление блюдеч и провалов за счет растепления грунтов). Внутритрубная диагностика является методом неразрушающего контроля для диагностики состояния трубопровода.

Применение технологий воздушного лазерного сканирования и внутритрубной диагностики при проведении мониторинга формируют новую методику проведения мониторинга. Компилирование данных воздушного лазерного сканирования и внутритрубной диагностики позволяет оценить природно-техническую систему в целом.

### **Abstract**

The article presents two technologies: LiDAR and In-line inspection. The features of using LiDAR to determine the horizontal and vertical position of an underground pipeline are briefly discussed. Compilation of LiDAR data and In-line inspection to increase uptime is considered.

Uninterrupted and safe operation of pipelines is a priority policy of Rosneft.

The impact of hazardous geological processes on pipelines can lead to emergency situations. Monitoring on pipelines is carried out in order to ensure its safe operation.

LiDAR allows you to get a digital elevation model by transferring details, and in-line inspection is an effective way to control the technical condition of the pipeline with specialized tools that allow you to obtain information about defects during non-destructive testing.

The combination of the two technologies of LiDAR and in-line inspections makes it possible to obtain a highly informative monitoring method. LiDAR for monitoring is a means of obtaining information about the terrain, the occurrence of hazards geological processes, both on the earth's surface and in soils (according to direct and indirect signs – for example, the formation of subsidence, the appearance of saucers and dips due to the thawing of soils). In-line diagnostics is a non-destructive testing method for diagnosing the condition of the pipeline.

The use of LiDAR technologies and in-line inspections during monitoring form a new monitoring method. Compilation of LiDAR data and in-line inspections makes it possible to evaluate the natural-technical system as a whole.