

**Современная наука и образование:  
новые подходы и актуальные исследования**

**УДК 66.042.945**

**Москалева Виктория Валерьевна,**

магистрант,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Майкопский государственный технологический  
университет», Российская Федерация, 385000, Республика Адыгея,  
г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191

**Меретуков Мурат Айдамирович,**

заведующий кафедрой нефтегазового дела и энергетики,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Майкопский государственный технологический  
университет», Российская Федерация, 385000, Республика Адыгея,  
г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ДИАГНОСТИКИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**

**Аннотация.** Проведен краткий обзор методов и средств технического диагностирования линейной части магистральных газопроводов. Обобщены методы, применяющиеся при техническом диагностировании линейной части магистральных газопроводов, расположенных на территории Краснодарского края. Рассмотрены разработки последних десяти лет, успешно применяющиеся в сфере контроля оползневых процессов и состояния линейной части газопроводов.

**Ключевые слова:** Техническое диагностирование, внутритрубная диагностика, линейная часть магистрального газопровода, оползневый процесс.

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

Предметом исследования настоящей статьи является изучение особенностей методов технического диагностирования линейной части магистрального газопровода в условиях Краснодарского края.

Применение методов технического диагностирования рекомендуется в целях обеспечения безопасности, определения фактического технического состояния магистральных газопроводов и возможности их дальнейшей эксплуатации на проектных технологических режимах, для расчета допустимого давления, необходимости снижения разрешенного рабочего давления и перехода на пониженные технологические режимы или необходимости ремонта с точной локализацией мест его выполнения и продления срока службы магистрального газопровода в процессе эксплуатации. Все это обеспечивает надежную и безопасную эксплуатацию газотранспортной системы, снижение рисков аварий и инцидентов на опасных производственных объектах и, как следствие, сохранение жизни и здоровья работников и минимизацию издержек от рисков природного и техногенного характера [3, с. 6].

Диагностика технического состояния магистрального газопровода проводится на всех этапах, начиная со строительства, ввода в эксплуатацию, функционирования до его восстановления и ремонта.

Техническое диагностирование линейной части магистральных газопроводов в условиях Краснодарского края имеет свои особенности, связанные со значительной протяженностью газотранспортной сети, эксплуатацией участков в сложных природно-ландшафтных условиях (горная местность, оползни). Все эти факторы предполагают использование обширного спектра методов и средств диагностического обследования, позволяющих получить наиболее полное представление о состоянии линейной части магистральных газопроводов.

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

В ходе исследования проводился анализ как общих методов технической диагностики линейной части магистральных газопроводов, так и специальных подходов, применяющихся для диагностики газопроводов, расположенных в горной местности, в том числе зоне проявления оползневых процессов.

Комплекс диагностических работ включает обнаружение на внутренних и наружных поверхностях труб, в том числе на сварных швах, нарушений сплошности металла; измерение (определение) геометрических параметров дефектов; выявление утечек газа; нарушений охранных зон магистрального газопровода; обследование состояния средств электрохимзащиты и их эффективности; трубопроводной арматуры в соответствии с методическими указаниями; определение технического состояния подводных переходов, переходов через автомобильные и железные дороги и других структурных элементов линейной части магистрального газопровода; оценку состояния изоляционного покрытия и глубины заложения трубопровода; определение возможностей прохождения очистных или измерительных внутритрубных снарядов и диагностических устройств; измерение толщины стенок труб и твердости металла; определение дефектов геометрии трубопровода; оценку состояния опор, креплений и других конструктивных элементов надземных переходов; оценку состояния узлов приема и запуска очистных устройств; наблюдение за динамикой условий эксплуатации, включая замеры давления, температуры продукта и окружающей среды [2, с. 578].

Результатом технического диагностирования является заключение о техническом состоянии магистрального газопровода с указанием места, вида и причины дефекта.

Для диагностики линейной части магистральных газопроводов наиболее эффективной является разработанная в 80-х годах XX века

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

внутритрубная дефектоскопия, во время которой снаряды-дефектоскопы, перемещаясь в потоке по трубопроводу, осуществляют сбор информации о дефектах. Современные ультразвуковые снаряды-дефектоскопы способны измерять толщину стенки трубы, различать наружные и внутренние дефекты, связанные с потерей металла, фиксировать параметры дефектов [4, с. 47]. Магнитные снаряды-дефектоскопы определяют стресс-коррозионные трещины. В условиях Краснодарского края внутритрубная дефектоскопия также стала основным инструментом обследования линейной части магистральных газопроводов.

В Краснодарском крае эксплуатируются более 300 км магистральных газопроводов в условиях повышенного риска возникновения или развития оползневых или тектонических процессов. К ним относятся газопроводы «Голубой поток» (морской вариант), «Майкоп-Самурская-Сочи», «Крымск-Новороссийск». Свыше 40 оползневых участков вдоль трасс магистральных газопроводов представляют потенциальную опасность для надежного газоснабжения таких городов как Сочи, Новороссийск, транспортировки газа в Турецкую Республику.

Самым сложным с точки зрения эксплуатации газопроводом является «Майкоп-Самурская-Сочи». Данный газопровод является стратегически важным транспортным объектом, поскольку это единственный источник газоснабжения для всего района Большого Сочи и объектов п. Красная Поляна. Практически ежегодно выявляются опасные и предаварийные ситуации. При этом, долгие годы основными техническими решениями являлись вынос в надземное положение всего участка газопровода в границах оползня и закрепление склона буронабивными сваями, которые зачастую были малоэффективны.

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

Эти обстоятельства способствовали разработке и внедрению средств мониторинга оползневых участков. Его основой стала концепция о комплексном контроле состояния и трубы газопровода, и характеристик самого грунтового массива. Были разработаны руководящие материалы для повышения качества обслуживания и инспекций оползневых участков газопровода.

Одним из видов диагностического обследования магистральных газопроводов, проводимого в горных условиях Краснодарского края, являются вертолетные облеты. На магистральных газопроводах ПАО «Газпром» вертолетные облеты осуществляются дважды в год. Кроме того, в последние годы широкое распространение получило обследование участков газопровода с помощью беспилотных летательных систем – дронов, которые без участия человека в автоматическом режиме проводят фото- и видеосъемку труднодоступных участков газопроводов.

Для получения информации о взаимодействии магистрального газопровода с окружающей средой в контрольной зоне широко применяются аэрокосмические методы.

Перспективным направлением технического диагностирования магистральных газопроводов, расположенных в горно-оползневых и сейсмических зонах Краснодарского края, является применение спутниковых систем. В качестве основных методов возможно использование цифровых фотографий высокого разрешения (1м) и радиоволновой съемки оползневого участка с относительной сантиметровой точностью. При этом используются данные со спутников IKONOS и RadarSAT. Для повышения точности измерений на каждом оползне применяются стационарные и подвижные реперы специальной конструкции для отслеживания их положения.

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

Налажено оперативное наблюдение за надземными и подземными участками газопровода «Майкоп-Самурская-Сочи» с измерением напряженно-деформированного состояния и определением критических сечений по результатам полевых замеров прибором STRESSCAN 500 с последующим компьютерным моделированием в программной среде ANSYS 5 результатов геодезических измерений.

Ежегодно проводится мониторинг и оценка опасности более 10 оползневых участков и их сопровождение плано-предупредительными мероприятиями, которые выполняются линейно-эксплуатационной службой.

Комплексный подход к наблюдениям, включая геодезические съемки, геологические изыскания и периодические приборные измерения позволяют обнаружить и своевременно ликвидировать очаги развития новых оползневых процессов.

Анализ взаимодействия газопровода с массивом оползня показывает, что для оценки напряженно-деформированного состояния участка газопровода необходимо рассматривать продольные и поперечные оползни, а также учитывать характер контакта газопровода с грунтом, изменение поведения оползневых склонов в зоне газопровода из-за естественных и техногенных процессов [5, с. 97].

В качестве методов измерения степени активности оползня в настоящее время нашли применение методы кругового электрического профилирования и вертикального зондирования, а также метод измерения влажности по электросопротивлению грунтов. Все три метода базируются на создании в теле оползня нескольких продольных профилей из электродов, забиваемых на глубину до 4 метров, и определении влажности грунтов по их кажущемуся удельному электросопротивлению. Имея результаты ранее выполненных геологических и геофизических

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

работ, можно рассчитать текущие прочностные характеристики грунта ( $C, \varphi, \sigma_{гр}$ ), определить текущий коэффициент устойчивости склона и сравнить с показаниями инклинометров.

Сравнивая электрические характеристики грунтов с показаниями датчиков измерения напряженно-деформированного состояния газопровода (магнитной анизотропии и шумов Бархгаузена), определяется текущее состояние самого газопровода и степень влияния оползневой процесса на прочность и устойчивость стенки трубы к смятию и разрушению. Таким образом, только группа из различных методов оценки оползневой участка газопровода способна адекватно описать процессы, происходящие на потенциально опасном участке.

Кроме того, проведено опытно-промышленное внедрение автоматической станции слежения за состоянием оползневых участков магистрального газопровода «Майкоп-Самурская-Сочи». В состав станции входит головной электронный блок и блок аккумуляторов, размещенных в гермоконтейнере, датчики измерения напряженно-деформированного состояния в количестве 8-12 шт., установка для электропрофилирования и вертикального зондирования грунта с 12 парами выносных электродов и пункт электронного контроля состояния грунта, измеряющий движение грунта относительно газопровода.

Автоматическая станция слежения предназначена для получения текущей информации о следующих параметрах:

- напряженно-деформированном состоянии трубопровода;
- кажущихся удельных электрических сопротивлениях грунтов, слагающих оползневый массив;
- температуре грунта;
- перемещениях грунта.

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

Конструктивно станция состоит из герметичного контейнера и электронного блока. В электронном блоке размещены узлы сбора, преобразования, хранения, управления и передачи информации по каналу GSM-связи. Здесь же размещаются измерительные преобразователи сигналов напряженно-деформированного состояния, низкочастотный генератор питания электроразведочных установок, батареи питания [1, с. 34]. В состав станции входит восемь датчиков напряженно-деформированного состояния и группа электродов для геофизических измерений. Для контроля состояния оползневого массива в автоматической станции слежения использованы четырехэлектродные электроразведочные установки кругового электрического профилирования. Зондовые установки кругового электрического профилирования измеряют кажущиеся сопротивления пород, слагающих оползневый массив, в четырех азимутальных направлениях через  $45^\circ$ . Установки вертикального зондирования измеряют кажущиеся сопротивления грунта на разных глубинах от поверхности, что дает возможность судить о водонасыщенности грунта, прилегающего к поверхности скольжения оползневого массива.

Все элементы автоматической станции прошли опытно-промышленные испытания на оползневых участках в течение двух лет. Опыт их эксплуатации на действующих газопроводах позволяет выявлять изменения как состояния трубопровода, так и окружающего грунта с погрешностью не более 5% от абсолютного критического значения (по металлу  $\sigma_{\text{тек}}=300$  МПа, по грунту  $\Delta_{\text{смещ}}=3$  метра).

Результаты опытно-промышленной эксплуатации автоматической станции позволяют сделать вывод о целесообразности ее использования в качестве технического средства мониторинга опасных геодинамических процессов и состояния трубопроводов на участках с активной геодинамикой. Применение спутниковой связи для передачи данных су-

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

щественно расширит возможности данной станции в условиях труднодоступных горных участков.

Развитием идеи о применении электроразведочных установок для мониторинга состояния оползня явилось измерение с её помощью и относительного расстояния между электродами данной установки. Две пары электродов были размещены в оползне, при этом один электрод вынесен за границы оползня. По показаниям двух пар электродов, подающих ток и измеряющих кажущиеся сопротивления оползневого грунта между ними, определяется изменение электросопротивления. После сравнения их с показаниями пары электродов, один из которых находится за пределами оползня, определяется изменение расстояния между электродами в оползне. Погрешность показаний зависит от расстояния между электродами и находится в пределах 5% при расстоянии в 20-30 метров между ними. Таким образом, с помощью методов электроразведочной геофизики возможно контролировать и величины смещений грунта оползневого массива.

Стационарные приборы наблюдения повышают оперативность и точность оценки текущего состояния оползневого участка газопровода, позволяют в режиме реального времени оценивать динамику происходящих процессов.

Необходимость достоверной оценки напряженно-деформированного состояния газопровода для прогнозирования работоспособности потенциально-опасного участка трубопровода выдвигает задачу его контроля на протяжении всего периода эксплуатации. Знание текущего состояния потенциально-опасного участка трубопровода позволяет определить менее рискованный и экономически оптимальный режим его эксплуатации и вовремя предотвратить возможные аварии и потери.

## Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования

С этой целью при эксплуатации магистральных газопроводов применяют системы контроля и предупреждения отказов участков газопровода, расположенного в горной части, основанные на проведении мониторинга потенциально-опасных участков с помощью интеллектуальных вставок

Аналоги измерительных патрубков впервые были применены в Германии на трубопроводах РУРГАЗа, проложенных на разрабатываемых территориях. При разработке отечественного патрубка измерительного (рис. 1) был проанализирован и учтен опыт работ, проведенных специалистами РУРГАЗа.

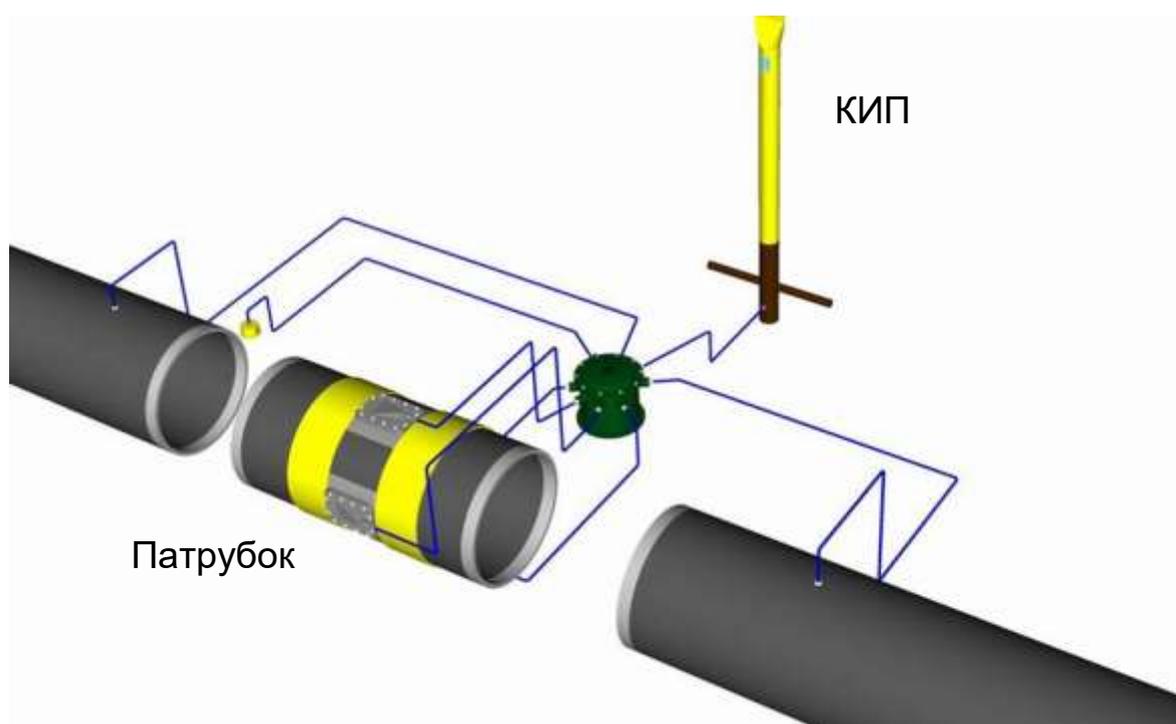


Рис.1. Комплекс технических средств интеллектуальной вставки

Интеллектуальные вставки обеспечивают постоянный или периодический контроль механических напряжений, возникающих в стенках трубы, для оценки запаса прочности трубопровода при различных режимах эксплуатации и при воздействии на трубопровод неблагоприятных геотехнических факторов.

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

Кроме того, интеллектуальная вставка может обеспечивать контроль уровня потенциала катодной защиты, значения транзитного тока катодной защиты, температуры стенки трубопровода и грунта. С помощью вставок можно наблюдать изменение напряжения, возникающего в стенках трубопровода в продольном направлении, вызванного изменением влажности грунта оползня.

Интеллектуальная вставка представляет собой оборудованный датчиками и блоком вторичных преобразователей патрубком (рис. 1), изготовленный из трубы с теми же техническими характеристиками, что и сопрягаемый трубопровод. Датчики обеспечивают проведение измерений контролируемых параметров, а расположенные в герметичном контейнере процессор и блок вторичных преобразователей – их предварительную обработку и передачу в систему телемеханики газопровода или на выходной разъем контрольно-измерительного пункта (КИП) для ручного контроля в режиме посещения.

Максимальная эффективность работы вставок обеспечивается при их включении в систему телемеханики с выводом информации на автоматическое рабочее место диспетчера (полная обработка сигналов со всех интеллектуальных вставок и расчет текущих значений механических напряжений), что позволяет определять предпосылки возникновения аварийных ситуаций на начальном этапе и принимать своевременные меры.

Установка интеллектуальных вставок осуществляется на наиболее опасных участках газопровода, а также на компенсаторах и в тоннельных переходах.

Контроль потенциально-опасного участка может осуществляться с помощью интеллектуальных вставок методом посещения, когда съем информации производится подключением аппаратуры преобразования к

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

интеллектуальным вставкам через контрольно-измерительные приборы или путем дистанционного контроля с передачей информации на автоматизированное рабочее место диспетчера по каналам телемеханики.

Многолетний опыт эксплуатации интеллектуальных вставок на газопроводе «Россия-Турция», проходящем по территории Краснодарского края, подтвердил их работоспособность и эффективность применения в условиях горного участка.

На основании проведенных комплексных работ по мониторингу оползневых участков газопровода «Голубой поток» - «Россия-Турция» и «Майкоп-Самурская-Сочи» можно сделать вывод о необходимости широкого применения при изысканиях и наблюдениях методов малоглубинной геофизики для точного оконтуривания оползней, оценки их механических и физических характеристик, уточнения мощности и состава пород. Внедрение геофизических методов позволит значительно снизить стоимость и сроки работ при повышении информативности и детальности получаемых планов и разрезов оползневых тел. Применение современных средств малоглубинной геофизики, таких как сейсмопрофилирование, динамическое и электрическое зондирование, позволяет при последующих электроизмерениях и выборочных буровых и геофизических работах полностью оценить текущие прочностные характеристики оползневых грунтов и рассчитать фактический коэффициент устойчивости склона.

Одним из новейших методов диагностирования линейной части газопроводов в условиях оползней является система автоматизированного контроля грунтов, основанная на методе контроля радиоволнового поля Земли. Указанный метод достаточно точно прогнозирует активизацию геологических процессов, развитие опасных полостей. Подобные системы с успехом применяются также в системе диагностирования газо-

## **Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования**

провода «Моздок - Казимагомед». Высокой достоверностью обладает технология радиоволнового диагностирования грунтов околотрубного пространства, основанная на двух совершенно разных методах – радиоволновом поле Земли и газовой-эманационно-сейсмическом. В настоящее время применяется новый тип прогнозного геомониторинга, при котором радиоволновые приборы устанавливаются на беспилотные летательные аппараты, что позволяет проводить подобный геомониторинг в труднодоступных местах.

Таким образом, можно выделить следующие основные, применяющиеся в сложных географических условиях Краснодарского края, методы диагностики магистральных газопроводов (табл. 1).

Таблица 1. Методы диагностики магистральных газопроводов

Метод технического диагностирования	Краткое описание метода	Цель метода
Внутритрубная дефектоскопия	Пропуск прибора-дефектоскопа по трубопроводу	Сбор информации о внутренних дефектах труб
Вертолетные облеты	Визуальное обследование и дистанционное обследование с помощью приборов, аэрофото- и видеосъемки труднодоступных участков газопровода при облетах на вертолетах	Сбор информации о состоянии газопровода и зон вокруг него, нарушений охраняемых зон, дистанционное обнаружение утечек газа.
Аэрокосмические съемки, Применение спутниковых систем	Цифровое фотографирование и видеосъемка высокой точности с помощью спутниковых систем.	Сбор информации о труднодоступных участках газопроводов с целью составления карт местности, оценки технического со-

## Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования

		стояния газопроводов, оценки ландшафта, прогнозирования процессов разрушения газопроводов.
Оперативные наблюдения, полевые замеры и последующее компьютерное моделирование по результатам наблюдения и результатам геодезических измерений.	Проведение наблюдения за техническим состоянием газопроводов, а также геодезические измерения с помощью приборов.	Определение критических сечений, измерение напряженно-деформированного состояния газопроводов для последующей ликвидации очагов оползневых процессов
Методы вертикального зондирования и измерения влажности по электросопротивлению грунтов	Создание в теле оползня продольных профилей из электродов.	Расчет текущих прочностных характеристик грунта, определение текущего коэффициента устойчивости склона
Автоматическое слежение за состоянием оползневых участков	Мониторинг опасных геодинамических процессов и состояния трубопроводов с помощью автоматической станции с передачей текущих данных в автоматическом режиме оператору.	Получение текущей информации о напряженно-деформированном состоянии трубопроводов, электрических сопротивлениях грунтов, температуре грунта, перемещениях грунта.
Мониторинг потенциально-опасных участков с помощью интеллектуальных вставок	Постоянный контроль механических напряжений в стенках трубы, контроль уровня потенциала катодной защиты, температуры стенки трубы и грунта с помо-	Оценка запаса прочности трубопровода при воздействии неблагоприятных факторов, оценка изменения напряжения в стенках трубопровода при изменении влажности

## Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования

	щью специальных интеллектуальных вставок с выводом информации на автоматическое рабочее место диспетчера.	грунта оползня и прогнозирование возникновения аварийных ситуаций на начальном этапе.
Автоматизированная система контроля грунтов, основанная на методе контроля радиоволнового поля Земли.	Проведение мониторинга при помощи радиоволновых приборов, в том числе устанавливаемых на беспилотных летательных аппаратах.	Прогнозирование активации геологических процессов, развития опасных полостей.

### Список литературы

1. Климов, В. В. Комплексная система геоэкологического и геофизического мониторинга состояния магистральных трубопроводов в оползневых зонах и на горных участках с активной геодинамикой / В. В. Климов // Нефть. Газ, Новации. – 2019. – № 4 – С. 33-37. – Текст непосредственный.
2. Комлев А. Внутритрубная диагностика магистральных газопроводов / А. Комлев, А. Карпов, В. Горячев, А. Суханов, О. Галкина // Технадзор. – 2015. - №11 – С. 578-579. – Текст непосредственный.
3. СТО Газпром 2-2.3-095-2007 «Методические указания по диагностическому обследованию линейной части магистральных газопроводов».
4. Харитоновский, В. В. Управление техническим состоянием магистральных газопроводов / В. В. Харитоновский // Евразийский союз ученых. – 2018. - №7-1 – С. 47-51. – Текст непосредственный.
5. Харитоновский, В. В. Исследование несущей способности магистральных газопроводов в сложных природных условиях / В. В. Харитоновский // Национальная ассоциация ученых. – 2015. - №2-3 – С. 96-100. – Текст непосредственный.