

**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 планово-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° . 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.

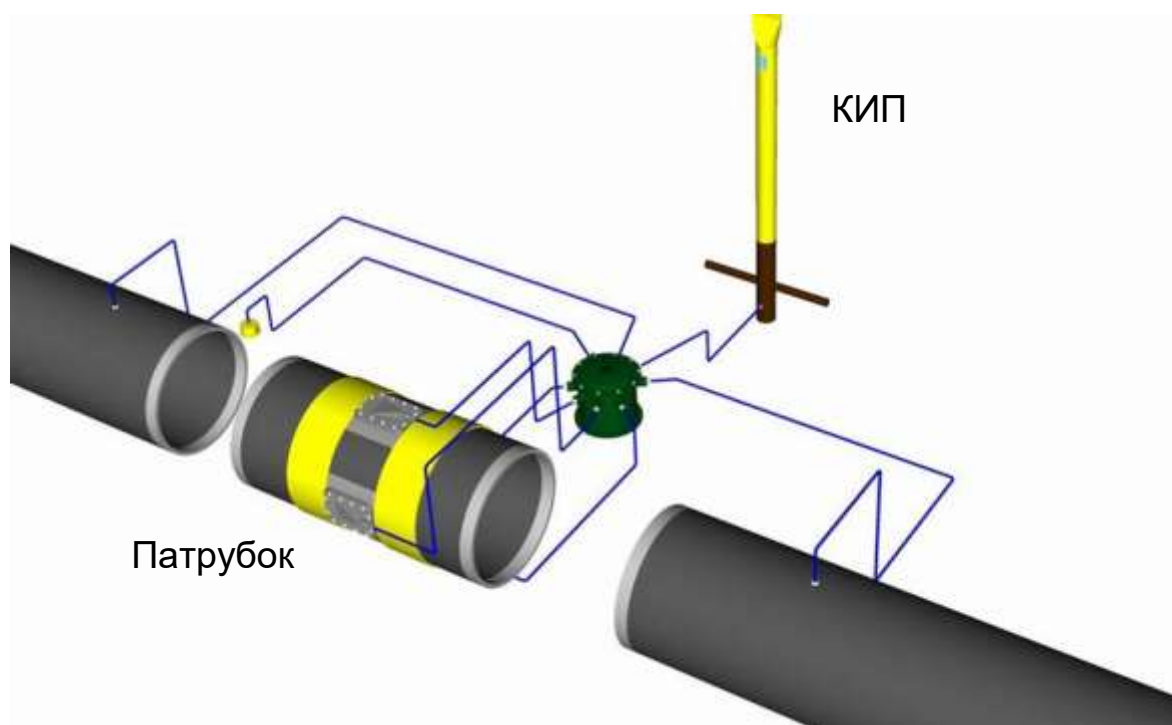


Рис.1. Комплекс технических средств интеллектуальной вставки

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.