

Технологии диагностики геоэкологического состояния природно-техногенных газотранспортных систем

© 2010. А. В. Садов¹, д.г.-м.н., профессор,
С. Г. Павлов², к.т.н., начальник лаборатории, О. Б. Наполов², к.т.н., с.н.с.,
¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
² ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
e-mail: s-pavlov@vniigas.gasprom.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с технической диагностикой геоэкологического состояния природно-технических газотранспортных систем. Приведены научно-методические принципы диагностики газотранспортных систем, рассматривается структура организации работ по диагностике трубопроводов, дается характеристика используемых дистанционных методов при диагностике газотранспортных систем.

The article deals with problems connected with technical diagnostics of geo-ecological state of natural-technical gas-transport systems. It states scientific methodological principles of gas-transport systems diagnostics, considers the structure of organization of pipe diagnostics, characterizes the distance methods used at diagnostics of gas-transport systems.

Ключевые слова: газотранспортная система, диагностика, природно-технические системы, аэрокосмические методы

Key words: gas-transport system, diagnostics, natural-technical systems, aero-cosmic methods

Диагностике состояния газотранспортных систем на газопроводах посвящены работы [1 – 4]. Первоочередной задачей диагностики является вывод о возможности дальнейшей эксплуатации газопровода. Не менее важными задачами являются: определение соответствия фактических характеристик газотранспортной природно-техногенной системы (ПТС) расчётным; необходимость ремонта или реконструкции; выявление негативных тенденций газотранспортной ПТС; определение наиболее опасных участков и ранжирование их по степени опасности; рекомендации по проведению профилактических работ.

Схема использования информации, полученной в результате диагностики представлена на рис. 1. Данные о состоянии газотранспортной ПТС передаются контролирующим, эксплуатирующим, научным и проектным организациям для выработки «управляющих воздействий», которые могут изменить характеристики ПТС и их новые значения будут получены в результате следующей диагностики. Особое внимание в этой цепочке следует обратить на использование геоинформационных систем (ГИС), применение которых даёт наиболее наглядное представление о состоянии ПТС на карте.

Из задач, которые должны решаться при проведении диагностических работ и имеющегося опыта, диагностирования трубопроводов, можно сформулировать *научно-методические принципы диагностики*:

- принцип системного геосистемного подхода;
- принцип рационального комплексирования методов диагностики состояния газопроводов и окружающей среды;
- принцип структурной организации исследований;
- принцип повторности и периодичности исследований;
- принцип прогноза и оценки рисков возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций;
- принцип унификации и автоматизации исследований.

Принцип системного и геосистемного подхода заключается в рассматривании объектов искусственного или естественного происхождения, как сложно организованной системы, учитывающей взаимосвязи и взаимобусловленность изучаемых объектов и явлений, прослеживание внутренних и внешних факторов с оценкой их эффектов. Применительно к изучению состояний объектов газопроводов весьма перспективным является

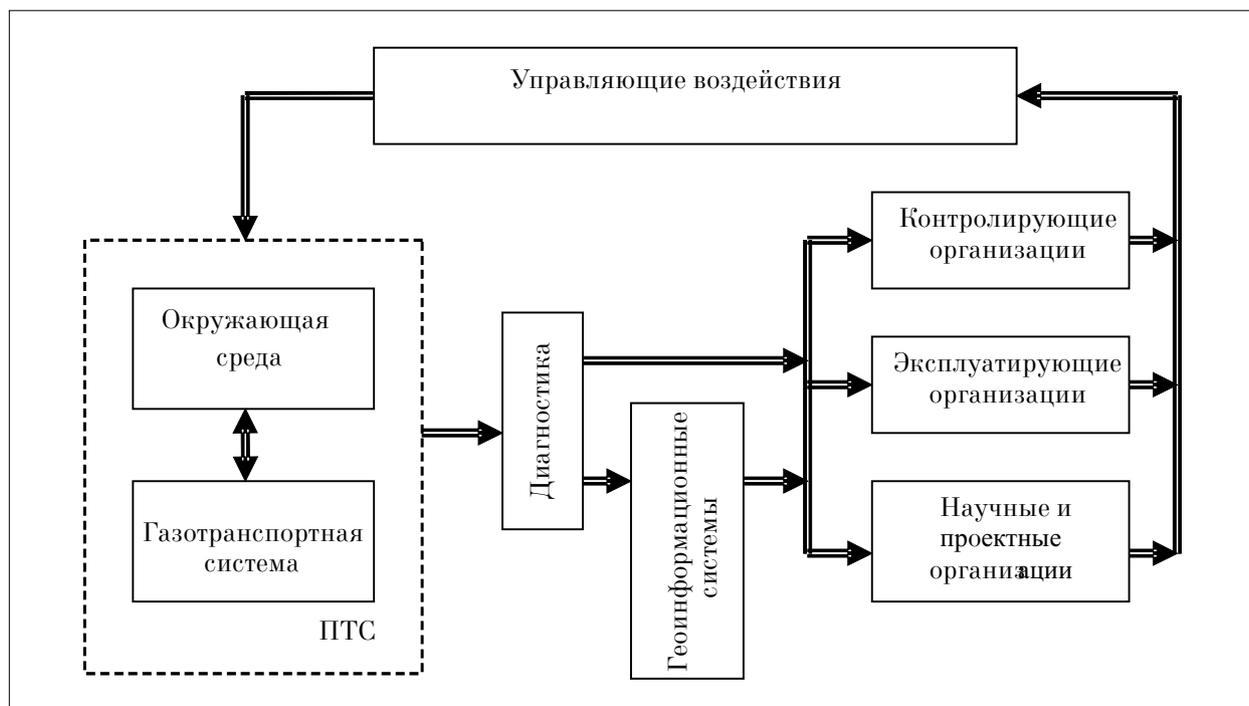


Рис. 1. Схема использования информации, полученной в результате диагностики

использование научной концепции существования природно-техногенной системы, совокупность состояний которой определяется взаимодействием природной среды и линейных сооружений. При этом выделяются два аспекта исследований. Первый – это геотехнический контроль и анализ состояния ПТС на стадии постоянной эксплуатации, особенно на старых газопроводах, с целью оценки надёжности и выявления предаварийных и аварийных ситуаций и обоснования технологий и объёмов капитального ремонта на потенциально опасных участках. Техническая надёжность инженерных сооружений определяется их ресурсными характеристиками, режимом эксплуатации, а также влиянием на них неблагоприятных природных процессов.

Второй аспект состоит в геоэкологическом анализе состояния окружающей среды в зонах строительства и эксплуатации инженерных сооружений, заключающийся в изучении техногенной нарушенности ландшафтов вследствие активизации природных и природно-техногенных процессов и ухудшения состояния окружающей среды за счёт изменения природных компонентов и геохимического загрязнения атмосферы, воды, почв и грунтов и, как следствие этого, снижение качества и истощение ресурсной основы среды обитания.

Системный подход заключается в том, что современная газотранспортная сеть образует

«систему», в которой участки газопроводов не равноценны и отключение некоторых из них в результате аварий или ремонтных работ может привести к значительным недопоставкам газа потребителям. Так, например, существуют участки газопроводов, по которым транспортируется до 90% добываемого газа. Естественно, что полный выход из строя такого участка на длительное время имел бы катастрофическое последствие для всей газотранспортной системы. Такие участки должны в первую очередь подвергаться диагностическим работам для выявления возможной опасности. Поэтому выбор участков для диагностики и возможного ремонта должен осуществляться с учётом значимости участков газопроводов для всей системы в целом.

Принцип рационального комплексирования методов диагностики состояния газопроводов и окружающей среды. Накопленный опыт диагностирования трубопроводов в сложных условиях показывает, что для всесторонней оценки их состояния невозможно ограничиться каким-либо одним «абсолютным» методом диагностирования. Это объясняется объективной необходимостью наблюдения и измерения качественно разнородных по физической природе признаков и параметров, а также теми ограничениями, которыми располагают существующие методы и средства. Диагностика состояния протяжённых трасс трубопроводов, построенных и экс-

платирующихся в экстремальных и трудно-доступных условиях, может быть эффективной только при условии использования современных информационных технологий, базирующихся на применении многоспектрального аэрокосмического зондирования, мобильных и стационарных наземных исследований, применения ландшафтных, индикационных, инженерно-геотехнических и экологических методов получения информации о состоянии окружающей среды и неразрушающих методов контроля технического состояния сооружений с помощью построения прогнозно-информационных моделей и оценки состояния газопроводных систем с применением ГИС технологий.

Принцип структурной организации работ предусматривает изучение состояния трубопроводных систем и окружающей среды в зоне их воздействия в едином технологическом процессе, взаимозависимых и достаточно строго

соподчиненных и проводимых в определённой последовательности видов, этапов, стадий, работ и отдельных операций.

Принцип повторяемости и периодичности исследований используется для получения информации о динамике технических характеристик состояния газопроводов (коррозионных повреждений металлических труб, качества сварных швов, стыков, повреждений изоляционного покрытия, превышения нормативного радиуса упругого изгиба трубы и пр.), а также, изменении параметров окружающей среды (просадочности, пучинистости грунтов, активизации оползней, селей на участках газопроводов, где зафиксированы проявления неблагоприятных процессов).

Принцип прогноза и оценки риска возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций на газопроводах осуществляется для определения потенциально опасных участков газо-

Таблица 1

Структура организации работ по диагностике трубопроводов

Этап	Тип работ	Состав работ
Подготовительный	Сбор и подготовка материалов	Анализ состояния газотранспортной ПТС, выбор участка диагностирования Анализ геоэкологической ситуации Анализ технической документации Подбор исходных материалов Постановка задачи и разработка программы испытаний
Полевые и натурные исследования (основной)	Аэрокосмическое диагностирование состояния ПТС газопровода	Проведение специальных аэрокосмических съёмки Дешифрирование материалов Сопоставление и интерпретация данных дистанционного зондирования Выявление потенциально опасных участков и точек отбора проб для наземного контроля Аэровизуальное наблюдение и анализ состояния газотранспортной ПТС Составление предварительных тематических карт
	Наземное диагностирование ПТС газопровода	Позиционирование объектов с использованием GPS и ГЛОНАС Ландшафтно-индикационные исследования Определение загрязнения атмосферы, воды, грунтов и почв с использованием экспресс-методов Выявление опасных природных и природно-техногенных процессов и явлений, их характеристик, масштабов и продолжительности воздействия Проведение диагностики технического состояния трубопровода
Анализ и обработка информации	Камеральная обработка материалов диагностики	Расчёт остаточного ресурса газопровода Расчёт риска эксплуатации газопровода Составление результирующих тематических карт Оценка геоэкологического состояния зоны воздействия газопровода Оценка технического состояния газопровода Составление отчёта, выдача заключений и рекомендаций

пропускной системы, местоположения и масштабов возможных аварий (неисправностей) и катастроф, где вероятность их возникновения велика.

Принцип унификации и автоматизации состоит в использовании стандартной сертифицированной аппаратуры для проведения диагностирования автоматизированных систем контроля технического состояния газопровода и комплекса взаимосвязанных правил, методов и алгоритмов при обработке полученной информации представленной в аналитической, табличной, векторной, картографической и другой форме.

Технология диагностики природно-техногенных газотранспортных систем (ГТС) должна разрабатываться с учётом вышеизложенных принципов, только в этом случае результаты диагностики будут отражать объективное состояние ПТС.

Технология диагностики включает в себя три основных этапа: подготовительный, основной и завершающий (табл. 1) [5].

На первом этапе, при определении участка диагностирования и состава работ, особенно важно соблюдение принципов, описанных выше. В условиях «недофинансирования» или «оптимизации затрат», в которых постоянно работает любая газотранспортная компания при рыночной экономике, выбор участка диагностики и разработка программы работ имеет первостепенное значение.

Состав работ и методов диагностики на конкретном участке зависит от: конструктивных особенностей и технического состояния сооружений; условий их эксплуатации; сроков службы трубопроводов; ландшафтно-экологических и инженерно-геологических условий региона.

В зависимости от срока службы, условий его эксплуатации и технического состояния предусматриваются следующие виды диагностирования: плановые и внеочередные.

Плановое диагностирование осуществляется в условиях безаварийной эксплуатации при достижении нормативного срока или по истечении срока службы трубопровода.

Внеочередное диагностирование производится в случаях: перевода газопровода на более высокое давление; аварий, связанных с нарушением технической конструкции газопровода; воздействия неблагоприятных внешних факторов, которые приводят к деформации грунта и нарушению устойчивости и прочности сооружений; после землетрясений свыше 6 баллов по шкале Рихтера.

Сбор необходимой информации осуществляется в архивах специально уполномоченных государственных органов в области охраны окружающей среды, центрах по гидрометеорологии мониторингу окружающей среды Росгидромета, в фондах проектно-изыскательских организаций ОАО «ГАЗПРОМ» и РАН, а также при изучении ежегодных территориальных государственных докладов о состоянии окружающей среды.

Для соблюдения принципа «комплексирования» важен индивидуальный подбор методов диагностики для каждого участка, включая аэрокосмические методы и технические средства диагностики трубопроводов, сведения о которых приводятся ниже.

Отличительной особенностью аэрокосмических методов (АКМ) является одновременный охват больших территорий, что позволяет получить качественно новую картину происходящих природных и природно-техногенных процессов. Общая картина складывается из возможности зафиксировать в момент съёмки состояние ПТС в различных частотных диапазонах, а также сопоставить это состояние с геологическим строением территории, геодинамическими процессами и другими явлениями, которые могут повлиять на состояние ПТС.

Целью АКМ являются определение технического состояния объектов газопровода и экологического статуса окружающей среды, степени их отклонения от гомеостаза, запаса устойчивости; своевременное обнаружение возникновения предкризисных, кризисных и катастрофических ситуаций, а также оценка их последствий.

Принципы функционирования средств ДЗ основаны на регистрации полей спектральной яркости или любых других пропорциональных ей величин (радиояркостной температуры, удельной эффективной поверхности рассеяния, параметров Стокса и т. п.), соответствующих энергетическим характеристикам излучения, восходящего от элементов разрешения зондируемой поверхности и на обращении этих величин в значения параметров, интересующих пользователя, которые часто называют предметно-специфическими характеристиками (ПСХ). Это, например, влажность почвы, глубина залегания грунтовых вод, запасы минерального сырья и многое другое.

В настоящее время эксплуатируется достаточно много космических аппаратов, обладающих необходимым разрешением, несколькими спектральными каналами и в целом соответствующих требованиям экологи-

ческих исследований: Quick Bird-2 (2001 г., США), IKONOS (1999 г., США), Terra (1999 г., США), Agua (2002 г., США), Landsat-7 (1994 г., США), SPOT-4 (1998 г., Франция), SPOT-5 (2002 г., Франция), RADARSAT (1995 г., Канада), ENVISAT (2002 г., Европа), TopSat-1 (2005 г., Великобритания), «Монитор-Э» (2005 г., Россия), «Метеор-3М-1» (2000 г., Россия), IRS-1C (1995 г., Индия), IRS-1D (1997 г., Индия), IRS-P6 (2003 г., Индия), ResourceSat-1 (2003 г., Индия) и др.

Для получения всесторонних данных при диагностировании газопроводных систем применяется набор взаимно дополняющих друг друга технических средств и методов контроля, включающих: космическую съёмку, авиационную, тепловую съёмку, аэровизуальные наблюдения и др. При этом могут быть использованы следующие средства дистанционного зондирования: пассивная многоспектральная оптическая аппаратура; видеоспектрометры и гиперспектрометры; лидарные системы, основанные на использовании различных физических механизмов взаимодействия лазерного излучения с веществом; аппаратура дистанционной пространственно-частотной спектрометрии; радиолокационные средства и другие.

Аппаратура дистанционного зондирования позволяет работать в широком диапазоне спектра электромагнитного излучения от ультрафиолетового до радиодиапазона. При дистанционном зондировании в видимом диапазоне спектра обычно используются методы спектрофотометрии (с применением многоспектральной трассерной и сканирующей аппаратуры), многозонального фотографирования, радиолокационной съёмки, лидарного зондирования, телевизионной съёмки (в том числе с применением тепловых сканеров).

Характеристики основных съёмочных космических систем и радиолокационной аппаратуры показаны в таблицах 2 и 3 [6].

В зависимости от используемого диапазона электромагнитных волн и типа приёмника, дистанционные исследования подразделяются на большую группу методов. Для применения в диагностике трубопроводных ПТС могут быть рекомендованы фотографические, в том числе многозональная, и нефотграфические – тепловая инфракрасная, микроволновая, сканерная, телевизионная, лазерная, радиолокационная съёмки и аэровизуальные обследования.

Материалы космической съёмки (в сочетании с результатами аэросъёмок) в первую очередь должны использоваться при тема-

тическом картировании изучаемой территории. Такое сочетание позволяет производить большую часть работ в камеральных условиях, при этом сокращаются полевые исследования, приобретающие характер контрольных наблюдений, а не съёмочных маршрутов.

Аэро- и космофотосъёмка в настоящее время – самый универсальный и наиболее широко используемый вид дистанционного зондирования природной среды. Эффективность применения фотосъёмок связана с высокой степенью пространственного и спектрального разрешения, что имеет особую важность в определении закономерностей пространственно-временного изменения природно-технических условий эксплуатации и технического состояния трубопровода.

Благодаря большому объёму получаемой информации, относительной простоте применения, достаточному уровню развития, фотографические методы заняли ведущее место в комплексе работ по изучению состояния трубопроводных геотехнических систем.

Космическая фотосъёмка (КФС) относительно недорога, покрывает всю изучаемую территорию и производится регулярно, что позволяет, используя минимальное количество опорных наземных данных, осуществлять контроль за состоянием действующих трубопроводов и давать прогноз их взаимодействия с окружающей средой на огромных территориях.

Многозональная съёмка – фотографирование местности одновременно несколькими фотокамерами или многоканальными блоками, имеющими идентичные светотехнические характеристики объективов, в различных спектральных диапазонах. Для выделения спектральных зон перед объективами устанавливаются узкополосные (иногда интерференционные) светофильтры, подобранные под характеристики светочувствительных материалов.

Методика многозональной съёмки базируется на существующих технологиях съёмки на цветные и чёрно-белые фотоплёнки. За счёт универсальности она расширяет возможности фотографических методов. Получение исходных черно-белых изображений с опорным фотометрическим сопровождением в узких спектральных интервалах видимого и ближнего ИК-диапазонов повышает информацию о различии оптических плотностей изучаемых объектов, что позволяет получить более полные и достоверные данные о состоянии окружающей среды и техническом состоянии трубопровода (обводнение, увлажнение грунта,

Таблица 3

Современные космические спутниковые системы (радиолокационные диапазоны)

Режим	Длина	ERS	ENVISAT	ALOS PALSAR			RADARSAT-1* RADARSAT-2***									Terra SAR-X				Cosmo-Sky Med 1-4																
				FDS (НН или VV)	FRD (НН, НV или VV, НН)	Scan SAR (НН или VV)	Полифазный (НН, VV, НV, НН)	Ultra Fine**	Fine Quadrol**	Fine	Extended High*	Standard	Wide	Extended Low*	Scan SAR Narrow	Scan SAR Wide	High Resolution	Spotlights	Strip Map	Spotlight	Strip Map	Strip Map 2-я поляризация	Scan SAR	Scan SAR												
Разре- шение, м	26x30	30	150	1000	7-44	40-70	40-70	14-88	24-89	100	20	25	50	75	100	150	170	300	500	10x5	10x10	30x50	100x150	10	40	30	15	30	100	200						
Полоса съёмки, км																																				
Диапазон	2,4	3,1	3,8	3,8	4,5	5,0-	5,6	6,0	6,5	7,0	7,6	15,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	30,0																		
																			X	С						L										

изменение уровня грунтовых вод, разрушение насыпи и обвалования, обнажение и деформация трубопровода, зарастание трассы и т. д.).

Тепловые съёмки. В зависимости от используемого диапазона электромагнитных волн различают инфракрасную (ИК) тепловую и радиотепловую (микроволновую) съёмки. ИК-съёмка проводится в первом $\lambda = 2,0-5,6$ мкм и втором $\lambda = 8,0-12,5$ мкм окнах прозрачности атмосферы. Радиотепловая (РТ) съёмка проводится в микроволновом (МВ) диапазоне $\lambda = 0,1/30$ см.

Тепловые съёмки целесообразно применять для изучения проявлений геодинамических и гидрогеологических процессов на трассах трубопроводов, связанных с увлажнением, водонасыщением и переносом тепла (обводнение, заболачивание, оттаивание мерзлоты и т. д.). Такие участки обнаруживаются на тепловых снимках по тепловым аномалиям. Существует возможность выявления обнажённых и близких к поверхности участков трубопроводов.

Телевизионная съёмка. Создание высококачественной видео-телевизионной техники открыло новые возможности широкого использования телевизионной съёмки для изучения и документирования состояния трубопроводных ГТС.

Телевизионную (ТВ) съёмку с искусственных спутников Земли (ИСЗ) целесообразно применять для контроля за развитием геодинамических процессов в районе прокладки трасс трубопроводов, обнаружения и оценки масштабов крупных аварийных ситуаций.

ТВ-съёмка с ИСЗ обеспечивает оперативное и периодическое получение изображений большой обзорности на одну и ту же территорию. Наиболее употребительны ТВ-снимки масштабов от 1:1000000 до 1:2500000. Существенным недостатком телевизионных изображений является их более низкая разрешающая способность по сравнению с космическими фотоснимками.

Аэротелевизионная съёмка – перспективный метод крупно-масштабной аэросъёмки трасс трубопроводов.

Видеозапись трассы трубопровода должна использоваться в текущей работе эксплуатационного персонала для оценки состояния объектов линейной части, принятия обоснованных решений по их эксплуатации и ремонту. Её привлечение значительно облегчает дешифрирование материалов аэросъёмки.

Аэротелевизионная съёмка позволяет проводить совещательный просмотр и анализ за-

писи в камеральных условиях необходимое число раз.

Радиолокационная съёмка (РЛС) является активным средством зондирования, основанным на использовании отражения зондирующих сигналов, излучаемых передатчиком РЛС от земной поверхности, и ведётся в диапазоне 0,3-100 см (100 ГГц-300 МГц).

Материалы РЛС применяют для создания и обновления топографических и тематических карт. С помощью радиолокационных изображений анализируют сушу и водные пространства. Используя их, составляют структурные геологические карты; определяют точное местоположение; границы зон подтопления и береговую линию; выделяют всплывшие участки трубопроводов. В зависимости от состояния подстилающей поверхности (сухая, увлажненная, заснеженная) возможно некоторое подпочвенное зондирование поверхности, глубина которого зависит от длины волны. Существуют радиолокационные станции бокового обзора метрового диапазона с возможностью подпочвенного зондирования на глубину до 2 м, что позволяет получить информацию о положении трубопровода относительно поверхности, карстовых явлениях и др. Основными преимуществами РЛС по сравнению с другими видами дистанционного зондирования являются: независимость от метеорологических условий и времени суток; принципиальная независимость разрешающей способности на местности от расстояния до объектов, большая полоса захвата на местности (с малых высот); возможность обнаружения всплывших трубопроводов по радиолокационным контрастам; возможность цифровой записи информации в момент съёмки и её передачи с борта носителя по каналу связи на значительные расстояния.

Лазерную съёмку (ЛС) можно применять: для получения изображений поверхности местности (в том числе в ночное время); поиска утечек перекачиваемого продукта; оценки загрязнения местности и воздушного бассейна; зондирования состояния дна и трубопроводов при обследовании подводных переходов. Возможность обнаружения утечек перекачиваемого продукта, оценки загрязнения местности и воздушного бассейна основана на способности лазера давать мощное излучение в узких зонах поглощения и испускания веществ. Сигналы в этих зонах регистрируются специальными датчиками. На этом принципе основано большое количество лазерных газоанализаторов.

Целью технической диагностики магистральных трубопроводов является определение технического состояния трубы и возможности её дальнейшей эксплуатации, а также выявление дефектов оборудования, которые не могут быть выявлены другими методами и установление причин их появления. В конечном счёте, своевременная техническая диагностика приводит к продлению срока службы газопровода и повышению экологической безопасности его эксплуатации.

В настоящее время применяются следующие виды диагностики: оптический, акустический, оптический, магнитный, радиоволновой, радиационный, тепловой и вихревой. Из них наиболее применяемыми являются акустический, оптический и магнитный.

Акустический метод основан на индикации акустических колебаний, возбуждаемых в контролируемом объекте, грунте или окружающей газовой среде (воздухе) при вытекании пробного газа или жидкости через сквозные дефекты. Молекулы пробного вещества взаимодействуют со стенками сквозных дефектов объекта и генерируют в нем колебания звукового и ультразвукового диапазонов. Эти колебания фиксируются с помощью устанавливаемого на поверхности объекта ультразвукового или виброакустического датчика, преобразовывающего ультразвуковые колебания в электрические сигналы, передаваемые далее на показывающие и записывающие устройства. В настоящее время акустические методы занимают важнейшее место в контроле герметичности трубопроводов.

Оптический метод основан на взаимодействии электромагнитного излучения с контролируемым объектом и регистрации результатов этого взаимодействия. Методы, относящиеся к оптическому контролю по ГОСТ 2452 1-80, различаются длиной волны излучения или их комбинацией, способами регистрации и обработки результатов взаимодействия излучения с объектом. Общим для всех методов является диапазон длин волн электромагнитного излучения, охватывающим диапазоны ультрафиолетового (УФ), видимого (ВИ) и инфракрасного (ИК) излучения, а также информационные параметры оптического излучения, которыми являются пространственно-временное распределение его амплитуды, частоты, фазы, поляризации и степени когерентности.

Оптические методы неразрушающего контроля разделяют на три группы. В первую группу входят визуальный и визуально-измерительный методы, которые являются наи-

более простыми и доступными, имеют наибольшее распространение и обязательны для применения при диагностировании технических устройств и объектов всех типов. Ко второй группе относятся фотометрический, денсиметрический, спектральный и телевизионный методы, которые основаны на результатах измерений с использованием электронных приборов. К третьей группе относятся интерферометрический, дифракционный, рефрактометрический, нефелометрический, поляризационный, стробоскопический и голографический методы, использующие волновые свойства света и отличающиеся наивысшей точностью измерения – с точностью до десятых долей длины волны излучения, но сложностью в реализации.

Для контроля внутренних поверхностей и обнаружения дефектов в труднодоступных местах используют промышленные эндоскопы. В нефтегазовой промышленности применяют следующие типы промышленных эндоскопических систем: жёсткие эндоскопы, гибкие оптоволоконные эндоскопы, видеоэндоскопы. Они состоят из источника света для освещения объекта (блока подсветки), передающей оптической системы, насадки или дистального конца, изменяющих направление и размеры поля зрения прибора, объектива с окулярами для визуального наблюдения и подключения фото или видеокамеры, механизм фокусировки объектива и управления насадкой или артикуляции дистального конца.

Магнитный метод заключается в измерении потоков рассеяния дефектов контролируемого участка трубопровода, намагниченного постоянным магнитным полем. Причиной намагничивания считаются постоянные токи, существующие в молекулах и атомах ферромагнитного вещества. Магнитные характеристики таких материалов являются информативными параметрами, так как зависят от их физико-механических свойств, химического состава, вида механической и термической обработки, а также от размеров и сплошности изделий.

По способу получения первичной информации различают следующие методы магнитного контроля:

- магнитопорошковый (МП), основанный на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами с использованием в качестве индикатора ферромагнитного порошка или магнитной суспензии;
- магнитографический (МГ), основанный на регистрации магнитных полей рассеяния с использованием в качестве индикатора ферромагнитной плёнки;

- эффекта Холла (ЭХ), основанный на регистрации магнитных полей датчиком Холла;
- индукционный (И), основанный на регистрации магнитных полей рассеяния по величине или фазе индуцируемой ЭДС;
- пондеромоторный (ПМ), основанный на регистрации силы отрыва (притяжения) постоянного магнита или сердечника электромагнита от контролируемого объекта;
- магниторезисторный (МР), основанный на регистрации магнитных полей рассеяния магниторезисторами;
- магнитооптический (МОП), основанный на визуализации доменной структуры материала с помощью феррит-гранатовой пленки с зеркальной подложкой.

Внутритрубная диагностика для определения характеристик труб и факторов увеличения нагрузки использует внутритрубные снаряды-дефектоскопы с КИП на основе принципа рассеяния магнитного потока (MFL), окружного рассеяния магнитного потока (CMFL) или недавно разработанным инструментом для дефектоскопии трещин с помощью электромагнитного акустического преобразователя (ЕСД) на основе использования электромагнитного действия ультразвука. В дополнение к одному из вышеупомянутых инструментов или в комбинации с ним следует использовать внутритрубный снаряд-дефектоскоп с высоким разрешением (XGP) для получения профиля трубы.

На этапе полевых натурных исследований (основной этап) выполняются аэрокосмические работы и проводятся комплексные полевые обследования, запланированные на первом этапе.

В первую очередь происходит уточнение объектов с использованием GPS или ГЛОНАС навигации. Основной принцип использования системы – определение местоположения путём измерения расстояний до объекта от точек с известными координатами – спутников. Расстояние вычисляется по времени задержки распространения сигнала от послышки его спутником до приёма антенной GPS-приёмника. То есть, для определения трёхмерных координат GPS-приёмнику нужно знать расстояние до трёх спутников и время GPS системы. Таким образом, для определения координат и высоты приёмника используются сигналы как минимум с четырёх спутников. Основой системы являются навигационные спутники, движущиеся вокруг Земли по 6 круговым орбитальным траекториям (по 4 спутника в каж-

дой), на высоте 20180 км. Спутники излучают сигналы в диапазонах: L1=1575,42 МГц и L2=1227,60 МГц, последние модели также на L5=1176,45 МГц. Навигационная информация может быть принята антенной (обычно в условиях прямой видимости спутников) и обработана при помощи GPS-приёмника.

При выполнении наземных работ на трассе проводятся ландшафтно-индикационные исследования, осуществляются полевое дешифрирование материалов аэросъёмки, визуальные наблюдения и наземное фотографирование характерных участков трассы, выполняется детальное изучение эталонных и потенциально опасных участков, в процессе которого проводятся: оборудование участка; инженерно-геологические, геокриологические и гидрогеологические исследования; топографо-геодезические работы; режимные наблюдения за геодинамическими процессами; исследования параметров технического состояния магистральных газопроводов.

При выполнении работ на этом этапе возрастает роль систематизации и классификации данных. Для решения этой задачи на современном уровне должны использоваться геоинформационные системы.

В общем комплексе *камеральная обработка материалов* является завершающим этапом, в ходе которого осуществляются систематизация, сопоставление, анализ и обобщение материалов исследований. На данном этапе проводятся окончательное дешифрирование полученных ранее материалов, оцениваются параметры технического состояния газотранспортных систем, уточняются схемы природно-технического районирования, оценивается активность геодинамических зон, выполняется оценка состояния трассы и окружающей среды, проводится подготовка и обработка данных на ЭВМ с целью выявления, инвариантных зависимостей взаимодействия трубопровода с окружающей средой; выполняется экстраполяция полученных зависимостей на всю исследуемую территорию, составляются прогнозные карты местности по природно-техническим условиям эксплуатации; вырабатываются рекомендации по ремонту и реконструкции магистральных трубопроводов.

Для того, чтобы получить и обработать данные о состоянии ПТС в минимально короткие сроки, особенно если речь идет о ПТС, занимающих большие площади или имеющих значительное линейное протяжение, охватывающих несколько регионов, различные ландшафтные комплексы и природные зоны, не-

обходимо использование современных технологий, основанных не только на дистанционных методах получения информации, но и на применении интегрированных автоматизированных систем обработки данных. Ярким примером интегрированных систем автоматизированной обработки данных являются геоинформационные системы, изучающие взаимодействие человека и природы в территориальном аспекте.

Литература

1. Бухгалтер Э.Б., Самсонов Р.О., Будников Б.О., Пыстина Н.Б., Загородняя А.А. Экология газового комплекса. М.: Научный мир, 2007. 383 с.

2. Башкин В.Н. Управление экологическим риском. М.: Научный мир, 2005. 368 с.

3. Гриценко А.И., Акопова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. М.: Наука, 1997. 598 с.

4. Садов А.В., Ревзон А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии. М.: Недра, 1979. 19 с.

5. Хренов Н.Н. и др. Аэрокосмическое диагностирование в системе экологической безопасности взаимодействия природы и сооружений М.: Наука, 2006. 258 с.

6. Гафаров Н.А., Баранов Ю.Б., Ванярхо М.А., Филатов Д.М., Денисевич Е.В., Кантемиров Ю.И., Кулапов С.М., Фейгин А.Е., Горянов М.С., Киселевский Е.В., Никифоров С.Э. Использование космической информации в газовой промышленности. М.: «Газпром экспо», 2010. 132 с.