Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта

УДК 621.644.07

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПО КАЧЕСТВУ ПРОДУЦИРУЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ

EFFICIENCY ASSESSMENT OF GAS MAIN PIPELINE GEOTECHNICAL
MONITORING BY QUALITY OF PRODUCED DATA

З. Ш. Алескерова, С. А. Пульников, Ю. С. Сысоев, Н. В. Казакова

Z. Sh. Aleskerova, S. A. Pulnikov, Yu. S. Sysoev, N. V. Kazakova

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Ключевые слова: геотехнический мониторинг; газотранспортная система; линейная часть; техническое состояние; геокриологические процессы; геотехническая система

Key words: geotechnical monitoring; gas-transport system; lineal part; technical condition; geocryological processes; geotechnical system

Для оценки технического состояния и планирования программы капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов (МГ), сооружаемых и эксплуатируемых в сложных геокриологических условиях, ежегодно проводится геотехнический мониторинг (ГТМ) [1–4].

В условиях Севера трасса системы МГ подвержена негативным геокриологическим процессам, обусловленным [5, 6]:

- холмистым рельефом со склонами, разрезанными густой долинно-балочной сетью;
- основанием, сложенным пылеватými легкоразмываемыми многолетнемерзлыми породами несливающегося типа и сезонномерзлыми породами;
- преобладанием заболоченного рельефа с широким распространением торфяников с льдистыми приповерхностными грунтами;
- изменением климатических условий с повышением температуры воздуха и увеличением продолжительности теплого периода года.

Техногенными факторами, обуславливающими повышение температуры грунтов, увеличение глубины протаивания и активизацию термоэрозионных и термокарстовых процессов, являются [7, 8] тепловое и силовое взаимодействия МГ с окружающим грунтом и реконструкция системы МГ, приводящая к разрушению естественных растительных покровов технологических проездов строительной техникой. По результатам ГТМ системы северных МГ ОАО «Газпром» в 2011–2013 гг. зафиксированы участки, эксплуатируемые в ненормативном состоянии, классифицированные по категориям повреждений:

- Дефляция обвалования — поверхностная ветровая эрозия грунта засыпки траншеи МГ (рис. 1).

Рис. 1. Дефляция обвалования участка МГ

- Обводнение с водной эрозией обвалования — разрушение грунта засыпки траншеи под воздействием водной эрозии, траншея обводнена (рис. 2).

Рис. 2. Обводнение с водной эрозией обвалования участка МГ

- Овражная эрозия — линейный размыв грунта, сопровождающийся оврагообразованием вдоль или поперек трассы МГ (рис. 3).
- Оголение трубопровода — эрозия обвалования с оголением верхней образующей трубопровода, средств балластировки и закрепления (рис. 4).

Рис. 3. Овражная эрозия участка МГ

Рис. 4. Оголение участка МГ

- Заглубление трубопровода менее 0,6 м — глубина залегания трубопровода менее нормативного значения (рис. 5).

Рис. 5. Заглубление участка МГ менее 0,6 м

- Термокарстовая просадка — оттаивание льдистых грунтов и подземного льда, сопровождающееся осадкой и понижением рельефа (рис. 6).

Рис. 6. Термокарстовая просадка участка МГ

Для регистрации геотехнических повреждений трассы и оценки их протяженности применяются: аэрокосмическое зондирование; вертолетный облет; выборочное поле-вое обследование. Информация о геотехническом состоянии МГ представляется в виде дефектных ведомостей по результатам комплексного дешифрования космических снимков, фотоматериалов аэровизуальных и полевых маршрутных обследований. Привязка дефектов и повреждений производится к графической пространственной основе геоинформационной системы магистральных трубопроводов методом линейных координат [2].

По результатам обследований ежегодно формируются отчетные материалы для оценки геотехнического состояния МГ, достоверность которой зависит от качества продуцируемой системой ГТМ информации. Полный объем данных, достаточный для составления прогнозных моделей развития негативных геологических процессов вдоль трассы, при производстве работ по ГТМ требует абсолютного соблюдения программы мониторинга. В действительности все происходит со значительными отклонениями от проекта и приводит к выявленным авторами недостаткам:

- Производство работ по ГТМ осуществляется в разное время года (с разницей в 2–3 месяца) — в этом случае информацию о состоянии трассы по годам сравнивать не совсем корректно.
- При отсутствии обобщенной классификации возможных геотехнических повреждений трассы подрядчик применяет собственные критерии оценки — в этом случае появляются участки трассы с ежегодно меняющимися наименованиями повреждений.

- Отсутствует графическая визуализация геотехнического состояния трассы — результаты мониторинга оформляются в табличном виде с указанием вида и протяженности повреждения с привязкой к километражу газопровода, что не позволяет увидеть полную картину распределения одного вида повреждения по длине МГ.

Недостатки обусловлены отсутствием у заказчика единых требований к исполнителю по составу работ ГТМ, методам сбора, обработке и представлению результатов обследования. Это сказывается на эффективности ГТМ, снижение которой является следствием низкой преемственности результатов, полученных разными исполнителями.

Авторами проведена обработка результатов ГТМ за 2011–2013 гг. с определением долей протяженности участков МГ, находящихся в ненормативном состоянии, и распределением их по шести общим категориям повреждений (рис. 7).

Большая часть повреждений трассы относится к категории «обводнение с водной эрозией обвалования», составляющей по годам 10,5–10,9 % от общей протяженности системы МГ; 5,4–5,5 % трассы подвержено термокарстовым просадкам; по 2,5–3 % приходится в равных долях на оголение трубопровода, овражную эрозию и недостаточное заглубление.

*Рис. 7. Доля участков МГ в ненормативном состоянии:
1 — дефляция; 2 — обводнение с водной эрозией; 3 — овражная эрозия;
4 — оголение трубопровода; 5 — заглубление менее 0,6 м; 6 — термокарст*

По каждой категории повреждений проведена оценка приращения по годам. Результаты оценки приведены в таблице.

*Сводка результатов ГТМ по участкам МГ в ненормативном состоянии
за 2011-2013 гг.*

Ненормативное состояние трассы МГ	Доля/(изменение доли) участков в ненормативном состоянии, %		
	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Сумма	26,0 / (-)	26,3 / (+0,3)	25,7 / (-0,6)
В том числе:			
дефляция обвалования	1,0 / (-)	1,1 / (+0,1)	1,3 / (+0,2)
обводнение с водной эрозией	10,9 / (-)	10,8 / (-0,1)	10,5 / (-0,3)
овражная эрозия	2,5 / (-)	2,6 / (+0,1)	2,6 / (0)
оголение трубопровода	2,8 / (-)	2,9 / (+0,1)	2,5 / (-0,3)
заглубление менее 0,6 м	3,4 / (-)	3,4 / (0)	3,3 / (-0,1)
термокарстовая просадка	5,4 / (-)	5,5 / (+0,1)	5,5 / (0)

Геотехническое состояние трассы, характеризующееся ненормативным состоянием, остается на уровне 26 % от общей протяженности линейной части. Изменения, фиксируемые ГТМ в течение последующих лет, незначительны благодаря плановым работам по реконструкции объекта. Однако это же свидетельствует о наличии негативных гидрогеологических и геокриологических процессов, нивелирующих все усилия по ремонту участков.

Максимальная эффективность работ по восстановлению нормативного состояния газопровода может быть обеспечена правильным выбором участков, на которых геологические процессы имеют негативное по отношению к объекту развитие. Для этого необходимо повысить качество результатов ГТМ и автоматизировать обработку информации, на основе которой принимаются управленческие решения по планированию реконструкции. Повышение качества сегодня объективно затруднено следующими причинами:

- технология ГТМ для диагностики трубопроводных систем внедрена всего 5–10 лет назад и требует развития компетенций исполнителей работ, формирующихся продолжительное время;
- категории геотехнических повреждений трассы МГ имеют сложные геометрические формы и различную пространственную ориентацию к линии трубопровода, экспертная оценка которых может привести к неоднозначной трактовке реального технического состояния объекта;
- значительная протяженность объекта и разнообразие инженерно-геологических условий вдоль трассы генерирует хаотичное сочетание взаимодействующих между собой и трубопроводом повреждений.

Для совершенствования технологии ГТМ линейной части магистральных газопроводов требуется разработка:

- методики параметризации категории повреждений, позволяющая оценивать динамику изменения параметров повреждений;
- визуального представления результатов ГТМ для отображения геотехнического состояния в графическом виде;
- методики ранжирования повреждений по степени опасности на основе комплексного анализа сочетания повреждений трассы и технического состояния трубопровода, состояния пригрузов, креплений и других ответственных узлов;
- способа прогнозирования развития негативных геологических процессов для более эффективного планирования реконструкции линейной части МГ;
- стандарта ОАО «Газпром» по форме отчетности ГТМ линейной части для обеспечения преемственности результатов разных исполнителей работ.

Основная цель повышения эффективности ГТМ линейной части МГ заключается в использовании продуцируемой информации для принятия управленческих решений по планированию восстановительных работ на поврежденных участках и значительное снижение общего количества участков в ненормативном состоянии. Кроме того, поскольку развитие внешней коррозии стенки трубопровода является следствием геотехнических повреждений трассы, то эффективный геотехнический мониторинг — это диагностический инструмент, являющийся предвестником будущих коррозионных дефектов [9–14].

Проведенный авторами научно-технический анализ описанных выше материалов позволил установить прямую зависимость между степенью поврежденности трассы и обнаруженными дефектами стенки трубы в виде наружной коррозии по данным внутритрубой диагностики исследуемого МГ за 2013 г. Абсолютное совпадение отмечалось на участках трубопровода, проходящего через границы повреждений, где грунтовая среда меняет свои электрохимические свойства и запускается локальный процесс коррозии.

Выводы

- При формировании отчетности по ГТМ линейной части МГ не используется графическая визуализация результатов ГТМ и отсутствует стандартизированный, параметризованный перечень наименований категорий и подкатегорий повреждений трассы.
- Отсутствие единого стандарта и преемственности материалов отчетности не позволяет проводить прогнозную оценку геотехнического состояния по отдельным участкам МГ.
- Невозможность оценить риск развития опасных инженерно-геологических процессов на трассе МГ обуславливает неэффективное распределение объемов по реконструкции.

- Для совершенствования технологии ГТМ авторами ведется методическая работа по классификации и параметризации повреждения трассы МГ с разработкой метода визуального представления и интерпретации результатов обследования.
- Совершенствование технологии в указанном направлении позволит использовать ГТМ в качестве основной диагностической системы при планировании капитального ремонта трассы.

Список литературы

1. Пульников С. А., Сысоев Ю. С., Карнаухов М. Ю., Лазарев С. А. Проблемы внедрения систем геотехнического мониторинга на объектах газотранспортной системы ОАО «Газпром» // Геотехника. – 2014. – № 5/6. – С. 77-83.
2. Алескерова З. Ш., Пульников С. А., Сысоев Ю. С. Геотехнические факторы, определяющие техническое состояние подземного магистрального газопровода в северных условиях // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). – Тюмень, 2014. – С. 44-48.
3. Алескерова З. Ш., Пульников С. А., Сысоев Ю. С. Постановка задачи по разработке методики оценки технического состояния магистрального газопровода «Заполярье — Уренгой» по данным геотехнического мониторинга // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). – Тюмень, 2014. – С. 49-53.
4. Пульников С. А., Сысоев Ю. С., Гербер А. Д., Карнаухов М. Ю. Методика обработки данных мониторинга пространственного положения эксплуатируемого участка подземного магистрального газопровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – Уфа: ИПГЭР, 2013. – Вып. 3. – С. 58-66.
5. Вагнер В. В. и др. Развитие арочных выбросов подземных магистральных газопроводов при переменной обводненности грунтов / В. В. Вагнер, С. Я. Кушнир, С. А. Пульников. – СПб.: ООО «Недра», 2010.
6. Иванов И. А. и др. Геотехнические проблемы трубопроводного транспорта: учебное пособие / И. А. Иванов, С. Я. Кушнир, С. А. Пульников. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 208 с.
7. Марков Е. В., Пульников С. А., Сысоев Ю. С. Анализ типовых методик расчета глубины протавивания вечномерзлых грунтов под трубопроводами // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1.
8. Марков Е. В., Пульников С. А., Гербер А. Д. Проблемы задания граничных условий при моделировании теплового взаимодействия «горячих» трубопроводов с многолетнемерзлыми грунтами // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-10. – С. 2106-2110.
9. Вагнер В. В., Пульников С. А., Кушнир С. Я. Распределение стрелы прогиба арочного выброса по длине подземного газопровода // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2008. – № 4. – С. 101-105.
10. Кушнир С. Я., Карнаухов М. Ю., Пульников С. А., Сысоев Ю. С. Анализ пространственных перемещений магистральных газопроводов с определением граничных зон // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2011. – № 5. – С. 72-75.
11. Кушнир С. Я., Пульников С. А., Малюшин Н. А., Сенин Д. М. Пространственная устойчивость подземных магистральных трубопроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. – № 1. – С. 51-56.
12. Кушнир С. Я., Пульников С. А., Сысоев Ю. С. Пространственная устойчивость подземного магистрального газопровода на обводненных участках трассы // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2012. – № 1. – С. 72-76.
13. Кушнир С. Я., Пульников С. А., Сысоев Ю. С., Карнаухов М. Ю. Аналитическая задача определения удлинения газопровода в области аркообразования // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. № 4. – С. 74-80.
14. Пульников С. А. Взаимодействие вибронгруженных магистральных газопроводов с окружающими грунтами: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2007. – 173 с.

Сведения об авторах

Алескерова Зухра Шахбубаевна, аспирант, ассистент кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89224718805, e-mail: merdanovaz@mail.ru

Пульников Сергей Александрович, к. т. н., доцент кафедры «Транспортные и технологические системы», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, председатель Тюменского регионального отделения Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению, г. Москва, тел. 8(3452)979880, e-mail: pulnikov@tsogu.ru

Сысоев Юрий Сергеевич, к. т. н., доцент кафедры «Транспортные и технологические системы», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89058204010, e-mail: sysoev4010@mail.ru

Казакова Наталья Владимировна, к. т. н., доцент кафедры «Транспортные и технологические системы», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)205028, e-mail: docentmg@yandex.ru

Information about the authors

Alskerova Z. Sh., postgraduate, assistant of the chair «Transport of hydrocarbon resources», Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, phone: 89224718805, e-mail: merdanovaz@mail.ru

Pulnikov S. A., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the chair «Transport and Technological systems», Tyumen State Oil and Gas University, Chairman of the Tyumen regional office of the Russian society on soil mechanics, geotechnics and foundation engineering, Moscow, phone: 8(3452)979880, e-mail: pulnikov@tsogu.ru

Sysoev Yu. S., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the chair «Transport and Technological systems», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89058204010, e-mail: sysoev4010@mail.ru

Kazakova N. V., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the chair «Transport and Technological systems», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)205028, e-mail: docentmg@yandex.ru