УДК 622.691.4

АНАЛИЗ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТКОВ ГАЗОПРОВОДОВ-ОТВОДОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНАХ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF THE GEODYNAMIC STATE OF SECTIONS OF GAS PIPELINE BRANCHES LOCATED ON LANDSLIDE SLOPES

Стефанов Роман Евгеньевич
АО «Газпром газораспределение Тамбов»
r.stefanov@internet.ru

Аннотация. В статье выполнен анализ результатов исследований оползневого участка (49 км) газопроводов-отводов «Курсавка – Южный» и «Курсавка – Усть-Джегута» аппаратурно-методическим комплексом на базе радиоволнового метода и малоглубинной геофизики. Показано, что прогнозирование устойчивости оползневых склонов возможно лишь на основе знания закономерностей формирования и пространственной изменчивости важнейших компонентов инженерно-геологических условий на участке.

Ключевые слова: обеспечение устойчивости склона; противооползневые мероприятия; коэффициент устойчивости склона; прогноз оползневых процессов; надёжная работа магистральных газопроводов; своевременное предупреждение опасных ситуаций; прогнозирование устойчивости оползневых склонов.

Stefanov Roman Evgenievich
JSC «Gazprom Gas Distribution Tambov»
r.stefanov@internet.ru

Annotation. The article analyzes the results of studies of the landslide section (49 km) of the «Kursavka – Yuzhny» and «Kursavka – Ust-Dzheguta» gas pipeline branches using a hardware and methodological complex based on the radio wave method and shallow geophysics. It is shown that predicting the stability of landslide slopes is possible only on the basis of knowledge of the patterns of formation and spatial variability of the most important components of engineering and geological conditions in the area.

Keywords: ensuring slope stability; landslide prevention measures; slope stability coefficient; landslide process forecast; reliable operation of main gas pipelines; timely warning of dangerous situations; landslide slope stability forecasting.

Обеспечение устойчивости склона – главная задача противооползневых мероприятий. Этого можно достигнуть следующими путями:

1) прекратить или замедлить процессы, вызывающие необратимое уменьшение коэффициента устойчивости склона;

2) повысить существующий средний годовой коэффициент устойчивости склона;

3) уменьшить амплитуду сезонных колебаний коэффициента устойчивости склона, установить предел возможного максимального временного снижения коэффициента устойчивости склона при неблагоприятном сочетании воздействующих на склон факторов.

Выделяются мероприятия, увеличивающие коэффициент устойчивости склона, которые широко применяются в оползневой защите в настоящее время. В свою очередь, прогноз оползневых процессов как фактор надёжной работы магистральных газопроводов необходим для расположения этих сооружений в безопасных местах, своевременного предупреждения опасных ситуаций, предотвращения аварии, человеческих жертв, сокращения материальных потерь.

Особенно вредным при разработке и проведении противооползневых профилактических мероприятий следует признать интенсивное вмешательство в природные условия склонов – всевозможные подрезки и распашки бульдозером, уничтожение растительности, поливы, перераспределение движения грунтовых вод и др.

В практике инженерно-геологического анализа представляется перспективным использование бесконтактных методов диагностики (АМК на базе радиоволнового метода), основанных на более полном и достоверном изучении законов и закономерностей, влияющих на устойчивость склона факторов.

Одной из рассматриваемых задач предусматривалось выполнение геофизических исследований низкочастотным вариантом радиоволнового метода – методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли как индикатора поля напряжений и ослабленных участков грунтового массива.

Изучение склона данным геофизическим методом позволило получить уточняющую информацию по следующим особенностям:

- развитие зон повышенного напряжённо-деформированного состояния грунтового массива на поверхности, приуроченных к формированию на склоне оползневых очагов, для установления границ территории с вероятным развитием оползневых деформаций;
- расположение зон глубинной ползучести в пределах оползневого разреза для построения расчётной схемы устойчивости склона.

Наблюдения за распределением поля напряжений проводились прибором, изготовленным специально для измерения количества электромагнитных импульсов за единицу времени в компактном переносном варианте.

С целью изучения распространения литолого-генетических типов грунтов на участке 49 км газопроводов-отводов «Курсавка – Южный», «Курсавка – Усть-Джегута» и определения их мощности применён также метод сейсмоакустического зондирования.

Сущность метода заключается в регистрации в точке измерения сейсмоакустического сигнала, определении его амплитудно-частотной характеристики и величины положительных экстремумов спектра на временной оси. Резонансные частоты и их положение на этой оси определялись при помощи специальной аппаратуры, разработанной Санкт-Петербургским горным университетом. Регистрация и последующий анализ сейсмосигнала производились с помощью компьютерных программ, использующих быстрое преобразование рядов Фурье. Для решения поставленной задачи пройдено два сейсмоакустических профиля: один в пределах активного оползня поперёк склона, другой в пределах межоползневого гребня по склону. Точки сейсмоакустического зондирования располагались через 10 м друг от друга. В каждой точке выполнено по два сейсмоакустических зондирования. Спектр сигнала изучался в интервале глубин 0–50 м.

Полученные спектральные кривые обрабатывались при помощи специальной компьютерной программы. В процессе обработки сопоставлялись амплитуды резонансных частот, полученные из одной точки двумя сейсмоприёмниками, расположенными ортогонально, и по ним выделялись слои оползневого склона.

Целью исследований в районе 49 км газопроводов-отводов «Курсавка – Южный» и «Курсавка – Усть-Джегута» было получение информации, без бурения, геофизическими экспресс-методами о геологическом строении и о распределении поля напряжений на склоне (правый берег р. Овечки) в связи с развитием в его пределах оползневых деформаций. Дополнительно к этому, выполнение данных работ необходимо для принятия предварительных проектных решений по стабилизации оползневого склона и возможного выноса газопроводов за пределы оползнеопасной территории. В этой связи проведены маршрутные инженерно-геологические обследования участка, анализ генетических типов трещин и водопроявлений, а также геофизические работы радиоволновым низкочастотным и методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли, а также методом сейсмоакустического зондирования.

По результатам визуальной инженерно-геологической съёмки составлены схематическая карта оползней на 49 км трассы газопроводов-отводов, составлена карта на правый борт оползня в пределах 49 км газопроводов-отводов и построен схематический инженерногеологический разрез в пределах оползня. Помимо схематического разреза построено 2 разреза по данным сейсмоакустического зондирования – один разрез выполнен в пределах оползневого тела, другой – за пределами оползня.

Результаты первичной обработки и анализа данных методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли получили отражение на карте электромагнитной эмиссии и графиках, характеризующих поля напряжений вдоль характерных профилей (продольные), совмещённых с геолого-геофизическими разрезами зон глубинной ползучести в грунтовом массиве.

На основании анализа полевых геофизических наблюдений радиоволновым методом построена карта инженерно-геологической обстановки, на которой выделены группы аномалий естественного импульсного электромагнитного поля Земли, имеющие кольцевой характер и охватывающие участки склонов (идентифицируются как оползнеопасные очаги (оползни высшего порядка), а именно, бортовые (головные) зо-

ны этих оползней в верхней части и зоны сжатия – в нижней); зона ослабления в центре участка исследований идентифицируется с развитием фильтрационного потока грунтовых вод. Учитывая, что регистрация естественного импульсного электромагнитного поля Земли в данной модификации метода происходит в ближней зоне, кровля обводнения относительно дневной поверхности, вероятнее всего, соответствует глубинам до 2–3 м.

Интерпретация аномалий в распределении естественного импульсного электромагнитного поля Земли по принципу решения обратных задач указывает, что развитие оползневых деформаций в грунтовом массиве, вероятнее всего, происходит с захватом глубины до 4–5 м от поверхности склона, в отдельных местах до 5–8 м и более.

Результаты обследования состояния газопровода-отвода «Курсавка – Южный» и «Курсавка – Усть-Джегута» иллюстрируют взаимодействие трубного материала с грунтовым массивом в виде отклика некоторых участков трубопровода на деформации грунта.

Оползневая активность на береговом склоне р. Овечки на участке 49 км газопроводов-отводов «Курсавка – Южный» и «Курсавка – Усть-Джегута» представлена очаговой активностью. При этом очаги объединяются в единую оползневую систему, охватывающую весь склон в районе опускания кровли коренных пород, прихватывая межоползневой гребень.

На основании геолого-геофизической интерпретации геофизических наблюдений сформирована карта результатов полевых работ, дополненная геоморфологической обстановкой, зафиксированной при измерении характеристик поля напряжений с выносом фактического материала выполненных работ.

Результаты этих исследований уже являются первым рабочим материалом для проведения проектных работ с целью повышения устойчивости территории и объектов, расположенных в районе 49 км газопроводов-отводов «Курсавка – Южный», «Курсавка – Усть-Джегута».

Прогнозирование устойчивости оползневых склонов возможно лишь на основе знания закономерностей формирования и пространственной изменчивости важнейших компонентов инженерно-геологических условий на участке.

Отражение этих закономерностей на картах геодинамического районирования позволяет оперативно оценивать особенности оползневых ситуаций на больших территориях, прогнозировать их изменение на стадиях строительства и эксплуатации, выбирать наиболее оптимальные с точки зрения устойчивости склона участки и планировать работы по охране окружающей среды.

Традиционно применяющиеся геодезические (теодолит, рейка), инженерно-геологические методы (бурение скважин только в доступных по редкой сетке местах), бульдозерные зачистки оказываются непригодными на оползневых склонах, где проходят трассы магистральных газопроводов. Материалы таких изысканий не могут служить основанием для разработки надёжных проектных решений по стабилизации оползневых участков. Это вызывает необходимость разработки и применения рациональных, более надёжных методов исследований геодинамических процессов.

Для повышения достоверности оценки степени изменения геодинамической ситуации в районах прокладки магистральных газопроводов на оползневых склонах необходимо использовать эффективные и оперативные методы малоглубинной геофизики (сейсмоакустические, газо-геохимические, электроразведочные, статистического и динамического зондирования и др.).

Использование материалов применения электромагнитных (радиоволновых) в комплексе с МГГ методами и изучение геологических процессов на геодинамических полигонах совместно с элементами GIS-технологий для ведения режимных наблюдений за оползневыми участками, на которых расположены магистральные газопроводы, позволит оценить динамику процессов в пространстве и времени с последующей разработкой прогноза их развития.

Значительный эффект можно ожидать при этом от использования возможности упреждающего прогнозирования (оповещения) активизации оползневых процессов на линейной части магистральных газопроводов.

Литература

1. Габибов Ф.Г. Прогноз времени возникновения оползневых подвижек / Ф.Г. Габибов, А.З. Зейналов, К.К. Байрамова // Вестник МАНЭБ. – 2023. – Т. 28. – № 3. – С. 159–163.
2. Об эффективности мобильного геомониторинга системы «труба – грунт» / М.М. Задериголова [и др.] // Губкинский университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России: тезисы докладов VIII Региональной научно-технической конференции, посвящённой 100-летию профессора Ю.П. Желтова (07–11 октября 2024 года, г. Москва). – М. : Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, 2024. – С. 137–138.
3. Задериголова М.М., Пивоварчик А.Н. Совершенствование ремонтно-технического обслуживания магистральных газопроводов в зонах природно-техногенных рисков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2024. – № 5(143). – С. 101–105.
4. Корабельников Н.А. Пространственный прогноз развития оползней на основе линий потенциального оползнеобразования / Н.А. Корабельников, Д.В. Кудинова // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы VI Международной научно-практической конференции (21–22 декабря 2020 года, г. Воронеж) : в 3 частях. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. – Ч. 2. – С. 93–99.
5. Лёгкая Н.В. Прогнозирование оползневых процессов – необходимый этап изучения оползней // Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства Южного Федерального округа: материалы научно-практической конференции (Шумаковские чтения совместно с заседанием секции РАСХН) (09-10 ноября 2006 года, г. Новочеркасск). – Новочеркасск : Новочеркасская государственная мелиоративная академия, 2007. – С. 139–142.
6. Стефанов Р.Е. Анализ состояния магистрального газопровода и моделирование системы «газопровод – массив грунта» // Технические и технологические системы: Материалы XIII Международной научной конференции «ТТС-22» (22–24 ноября 2023 года, г. Краснодар). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2023. – С. 315–323.
7. Стефанов Р.Е. Практическое значение глинистых грунтов для инженерно-геологической оценки и анализ процессов их набухания // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. –№ 4. – С. 195–205.
8. Стефанов Р.Е. Лёссовые просадочные грунты: распространение, внешние признаки и типы просадки // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 1. – С. 197–207.
9. Стефанов Р.Е. Методологические аспекты обеспечения безопасности сложных технических объектов в условиях ограниченных ресурсов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 106–122.
10. Стефанов Р.Е. Методика по определению отклонений режимных параметров газопровода с учётом неопределённости исходной информации // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 226–232.
11. Стефанов Р.Е. Анализ методов неразрушающего контроля для обеспечения надёжности и долговечности сложных систем с высокой степенью отказа // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 2. – С. 200–206.
12. Шуляков Д.Ю. Классификация оползней на территории Северного Кавказа / Д.Ю. Шуляков, М.С. Шулякова // Геология, география и глобальная энергия. – 2011. – № 2(41). – С. 294–301.

References

1. Gabibov F.G. Forecasting the time of occupation of landslides / F.G. Gabibov, A.Z. Zeynalova, K.K. Bayramova // Bulletin of International Academy of Ecology and Life Safety Sciences. – 2023. – Vol. 28. – № 3. – P. 159–163.
2. On the efficiency of mobile geomonitoring of the «pipe – soil» system / M.M. Zaderigolova [et al.] // Gubkin University in solving issues of the oil and gas industry of Russia: abstracts of reports of the VIII Regional Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of Professor Yu.P. Zheltov (October 7–11, 2024, Moscow). – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 2024. – P. 137–138.
3. Zaderigolova M.M. Improvement of repair and maintenance of main gas pipelines in areas of natural and man-made risks / M.M. Zaderigolova, A.N. Pivovarchik // Equipment and technologies for the oil and gas complex. – 2024. – № 5(143). – P. 101–105.
4. Korabelnikov N.A. Spatial forecast of landslide development based on the lines of potential landslide formation / N.A. Korabelnikov, D.V. Kudinova // Complex problems of technosphere safety: Materials of the VI International scientific and practical conference (December 21–22, 2020, Voronezh) : in 3 parts. – Voronezh : Voronezh State Technical University, 2021. – Part. 2. – P. 93–99.

5. Legkaya N.V. Forecasting landslide processes – a necessary stage in studying landslides // Modern problems of land reclamation and water management of the Southern Federal District: materials of the scientific and practical conference (Shumakov readings together with a meeting of the section of the Russian Academy of Agricultural Sciences) (November 9–10, 2006, Novocherkassk). – Novocherkassk : Novocherkassk State Land Reclamation Academy, 2007. – P. 139–142.
6. Stefanov R.E. Analysis of the state of the main gas pipeline and modeling of the «gas pipeline – soil massif» system // Technical and technological systems: Materials of the XIII International scientific conference «TTS-22» (November 22–24, 2023, Krasnodar). – Krasnodar : LLC «Publishing House – Yug», 2023. – P. 315–323.
7. Stefanov R.E. Practical significance of clayey soils for engineering-geological assessment and analysis of their swelling processes // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2023. – № 4. – P. 195–205.
8. Stefanov R.E. Loess subsidence soils: distribution, external signs and types of subsidence // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2024. – № 1. – P. 197–207.
9. Stefanov R.E. Methodological aspects of ensuring the security of complex technical facilities in conditions of limited resources // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2025. – № 1. – P. 106–122.
10. Stefanov R.E. Method for determining deviations in the regime parameters of a gas pipeline taking into account the uncertainty of the initial information // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2025. – № 1. – P. 226–232.
11. Stefanov R.E. Analysis of non-destructive testing methods to ensure reliability and durability of complex systems with a high degree of failure // Readings of A.I. Bulatov. – 2025. – Vol. 2. – P. 200–206.
12. Shulyakov D.Yu. Classification of landslides in the North Caucasus / D.Yu. Shulyakov, M.S. Shulyakova // Geology, geography and global energy. – 2011. – № 2 (41). – P. 294–301.