

УДК 504.058(470.12)

Юрий Рудольфович Ландман

## ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА АВАРИЙНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

В статье обсуждаются проблемы аварийности компрессорных станций и магистральных газопроводов, проходящих по территории Вологодской области, связанные с тектонической активностью участков строительства. Рассматриваются методы определения активных зон, технические варианты строительства, позволяющие снизить риски до приемлемого уровня.

Аварии на крупных газонефтепроводах, ведущие к пожарам, значительным загрязнениям природы и материальным потерям, влекут особо опасные последствия. В 1998 г. в Грязовецком и Шекснинском районах произошло три аварии с возгоранием газа из-за разрушения магистрального газопровода. Сгорело 3484 тыс. м<sup>3</sup> газа, погиб лес на площади 1 га [2]. Особую опасность несут аварии внезапные. Рвутся кабели, растрескиваются металлические трубы по сварным швам и малозаметным вмятинам. Принято считать, что причины аварийности магистральных газопроводов кроются в низком качестве материала трубы, дефектах строительства, коррозионной активности грунтов. Однако то, что прорывы повторяются в одних и тех же местах, приходится связывать с геологическими особенностями, тектоническими подвижками самого места, где проложена труба.

Северо-Европейский газопровод является одной из ниток системы нефте- и газопроводов, пересекающих Вологодскую область по территориям Грязовецкого, Вологодского, Шекснинского, Череповецкого, Кадуйского и Бабаевского районов, где проживает более 60% населения области (запроектированы также отводы на Вологду и Череповец). Газопровод диаметром 1089 мм рассчитан на рабочее давление 200 атмосфер. Расстояние между нитками в лесу составляет 18 м, на сельхозугодьях – 32 м. Для поддержания рабочего давления в Вологодской области строятся компрессорные станции Бабаевская и Шекснинская.

Территория области расположена в северо-западной части Русской плиты, характеризуется блоковым строением и сложным расчлененным рельефом поверхности фундамента. На фоне крупнейших региональных структур выделяются структуры меньших порядков: Онежско-Сухонская моноклинал, Пошехонско-Лежский и Галичский прогибы, разделенные Солигаличско-Сухонской горстообразной зоной. Галичский прогиб и Никольская седловина осложнены валами и локальными прогибами. Трасса газопровода пересекает Восточный склон Балтийского щита и Главный прогиб Русской платформы.



Ю. Р. ЛАНДМАН – к.т.н.,  
преподаватель ВоГТУ

В зонах разломов на границах геологических структур повышается вероятность возникновения техногенных и экологических рисков. В этих зонах распространены осыпи и обвалы, породы характеризуются крайне высокой нарушенностью, разрыхленностью. Подвижки в земной коре приводят к возникновению напряжений длинномерных объектов (железнодорожные пути, трубопроводы, кабели), их деформациям и разрывам. Инженерные сооружения, опирающиеся в этих зонах на грунт, испытывают значительные просадки, могут проваливаться. Обычно размер зоны ослабленных грунтов по протяженности не превышает 400 м [1]. Нередко зоны тектонических нарушений следуют одна за другой. Риск возникновения разрыва трубопровода по причинам геологического происхождения увеличивается из-за морозного пучения грунта.

Амплитуды движения по разломам в пределах Ленинградской и Вологодской областей достигают 50 – 60 мм в год, зафиксирована их знакопеременная направленность с периодичностью 1–1,5 месяца.

Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, разрабатывая методы прогноза и предотвращения динамических процессов, выделяет две системы разрывных нарушений на территории Вологодской области: СВ (60 – 70°) и 3-СЗ (290 – 300°) простирания. Крупные зоны разломов имеют глубокое заложение (> 40 км) и наибольшую протяженность (от 80 до 1000 км). Ширина зон разломов может достигать 3 – 5 км. Разломы обычно осложняются более мелкими нарушениями. Большинство разрывных структур можно считать долгоживущими (от раннего докембрия по кайнозой включительно).

В четвертичных отложениях тектоническая активность иногда выявляется в отложениях ленточных глин, возникновении уступов в современном рельефе. Признаком разломов служат вскрываемые палеодолины, образование каверн и карстовых полостей, трещин в карбонатных породах. По разломам происходит подъем минерализованных вод.

В головном институте по строительству и эксплуатации трубопроводов (ВНИИСТ) доказали, что на суше вероятность аварий составляет в год порядка  $10^{-5}$ , на подводной территории –  $10^{-7}$ . Эти показатели удовлетворяют рекомендациям МАГАТЭ, позволяют говорить о «запроектной» аварийности, если строительство газопровода производится в соответствии с требованиями [3].

Нередко аварии на трассах нефти и газопроводов происходят из-за смещения почвенных пластов [8]. Наличие карстовых пустот и расположение крупных населенных пунктов в районах тектонических разломов создают дополнительные сложности в сейсмической обстановке. Кроме того, наличие ослабленных зон по тектоническим подвижкам в условиях большой глубины промерзания увеличивает напряженность горного массива, передающего нагрузку в проходящий в нем трубопровод.

Большой срок эксплуатации существующих линий газопроводов, их естественное старение, отсутствие систематического надзора и своевременного выполнения ремонтных работ ведут к увеличению риска аварий. Выполнение требований Закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [5] еще не га-

рангирует отсутствия аварий, связанных с геологической устойчивостью вмещающих пород.

Анализ результатов 119 аварий [9], произошедших в 1998 – 2003 гг. на магистральных газопроводах в Российской Федерации, показал, что возгорание газа при авариях происходит в 66% случаев с образованием котлована с уплотненными стенками в твердых, полутвердых и тугопластичных грунтах (супесь, суглинки, глина). В рыхлых грунтах (сапропель, песок, торф) возгорания маловероятны.

Последствия аварии проявляются в виде заболачивания участков трассы от строительства насыпей, в возникновении котлованов на месте добычи строительных материалов, изменении русловых процессов в малых водотоках, нарушении гидрогеологических режимов и загрязнении подземных вод, интенсификации карстообразования.

Диагностика опасных тектонических ситуаций осуществляется путем изучения строения массива горных пород, выделения потенциально опасных участков, геодинамическая активность которых может послужить причиной возникновения катастроф, высокоточной подземной сети наблюдений за движениями подземной коры.

На первой стадии используется метод изучения распределения интенсивности радоновой эмиссии по диагностируемой территории. Результаты этой стадии исследований уточняют тектоническое строение диагностируемого участка. Следующий шаг диагностики – изучение состояния и свойств тектонических нарушений с использованием методов электрометрии в различных вариантах и метода спектрального сейсмопрофилирования (ССП). В этом методе земная тол-

ща рассматривается по акустическим свойствам как совокупность не отражающих границ, а колебательных систем. Метод СПП обеспечивает томографию массива горных пород по наличию в нем плоскостей нарушений, которые либо находятся в состоянии подвижности, либо достигли предельного состояния нарушения их устойчивости. Изучается весь спектр геодинамических проявлений: трендовые движения с относительно постоянными скоростями, доциклические знакопеременные деформации, тиксотропные проявления и усталостные эффекты конструктивных элементов строительных объектов. Прогноз осуществляется путем сопоставления полученных параметров деформирования с прогностическими признаками объектов недропользования.

Выделение геодинамически опасных тектонических узлов является важной задачей при проведении изыскательских работ под строительство насосных станций и трасс газопроводов. Задача исследований – выявить факторы, способствующие возникновению аварийных ситуаций. Для поиска тектонически ослабленных зон используются возможности биолокации.

Иногда геодинамическая активность отдельных тектонических нарушений инициируется под влиянием техногенной деятельности. Поэтому Правила безопасности [6] систем газораспределения и газопотребления (ПБ 12-529-03) предусматривают необходимость особого внимания к газопроводам в слабопучинистых, слабонабухающих и просадочных грунтах, слежавшихся насыпных и вечномерзлых грунтах, к участкам ввода газопроводов в здания. Связь аварийной (или предаварийной) ситуации с наличием

тектонической активности подтверждается и на других трубопроводах – канализационных, водопроводных и т.д.

Внутритрубная дефектоскопия [1, 9] позволяет выявить наличие продольных трещин при переходе под реками, связанных с тем, что русла рек обычно проходят по зонам тектонических нарушений, чем определяется высокая аварийность дюкеров.

Аварийность насосных станций также определяется влиянием зон тектонических нарушений [3]. Разрушение насосных станций проявляется в виде внезапного ухода в грунт отдельных участков этих сооружений. Причиной, по-видимому, является наличие в них постоянно вибрирующих механизмов. Это делает возможным формирование техногенных землетрясений, которые называют еще горными ударами. Физика горных ударов очень проста – резонанс. При резонансе происходит увеличение амплитуды колебаний. При достаточно высокой добротности колебательной системы и стабильной частоте вибраций амплитуда может достичь значения, при котором наступает разрушение колебательной системы. Если насосная станция окажется в тектонически ослабленной зоне, а частота вибрации механизмов будет близка к собственной частоте природной высокодобротной колебательной системы, вероятно возникновение резонансных явлений и формирование горного удара. При этом происходит резкий отрыв трубопроводов.

Устранить пересечение трубопроводами зон тектонических нарушений невозможно. Проблему нужно решать путем использования такой технологии укладки труб, которая могла бы противостоять воздействию со сторо-

ны этих зон, проведения предупреждающих ремонтных работ, вызванных коррозионной активностью грунтов и геотектоническими данными [4]. Насосные же станции должны строиться вне зон тектонических нарушений. Однако если станция уже построена, то, проводя измерения непосредственно на ее территории, можно поймать момент зарождения горного удара, поскольку увеличение амплитуды колебаний трубопровода в период, предшествующий горному удару, происходит достаточно плавно.

Разработаны и испытаны защитные меры, обеспечивающие герметичность трубопровода при землетрясении свыше 10 баллов, резко снижающие в случае аварии разлив нефти. К этим решениям относятся: применение высокопрочных труб с толщиной стенки, увеличенной до 27 мм (стандарт 10–12 мм), или с улучшенным химическим составом; расстановка дополнительных задвижек на линейной части трубопровода (в среднем через 3–4 км против нормативных 30 км); применение конструкции «труба в трубе». В местах пересечения поверхностных водоемов и водотоков трасса прокладывается в конструкциях, которые можно рассматривать как гидротехнические сооружения. Предложенные меры позволяют практически полностью исключить возможность аварии, но резко удорожают и усложняют строительство.

В связи со вступлением в силу Федерального закона «О техническом регулировании» разработка регламентов нормирования безопасности должна основываться на анализе допустимого риска причинения вреда. Риск является производным от принятых в обществе морально-этических норм:

чем они выше, тем ниже допустимый риск; чем ниже общественная мораль, тем выше допустимый риск и соответственно ниже безопасность. Строительство газовых магистралей повышенной опасности требует научного обоснования уровня допустимого риска при выборе организационных и технических решений с учетом геологической обстановки на трассе и компрессорных станциях. Необходимо прогнозировать размеры разрушений природных систем и воздействия на население при возможных вариантах развития аварийной обстановки.

Таким образом, современная теория безопасности вынужденно оперирует категориями общественных ценностей, которые в свою очередь зависят от морально-этических норм, явно или неявно исповедуемых обществом. Общественные слушания по вопросам строительства магистральных газопроводов, на которых обсуждаются проблемы экологии, вопросы безопасности населения, обнажают моральные доктрины, принятые в обществе. Как показывает практика, геологические проблемы безопасности строительства и эксплуатации на этих слушаниях не поднимаются.

#### Литература

1. Гликман, А.Г. Геоэкологические факторы аварийности нефтегазопроводов и насосных станций / А.Г. Гликман: доклад на конференции «Экологические проблемы и техногенная безопасность строительства, эксплуатации и реконструкции нефтегазопроводов. Новые технологии и материалы» (г. Томск, 2 – 4 марта 2005 г.).
2. Кичигин, А.Н. Северо-Европейский газопровод: влияние на окружающую среду / А.Н. Кичигин, М.М. Поляков // Экономические и социальные перемены в регионе: факты, тенденции, прогноз. – ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 2005. – Вып. 29. – С. 45-51.
3. СНиП 2.01.15-90 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования».
4. Тухбатуллин, Ф.Г. Анализ эффективности диагностики при оптимизации ремонта магистральных газопроводов [Электронный ресурс] / Ф.Г. Тухбатуллин, И.И. Велиюлин, А.Д. Решетников, А.Л. Тимофеев (ООО «ВНИИГАЗ»). – Режим доступа: <http://www.prostoev.net/publications/ndt/vniigaz/vniigaz1.shtml>
5. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №116-ФЗ.
6. Федеральный закон «О техническом регулировании» №184-ФЗ.
7. Чернышов, В.И. О воздействии на Северо-Европейский газопровод геодинамически активных зон разломов / В.И. Чернышов: доклад на конференции «Тетяевские чтения». – Вологда, 2006.
8. <http://www.chelpress.ru/LANG=ru/newspapers/rbc/archive/06-09-1999/H0609344.html>
9. <http://newgeophys.spb.ru/ru/article/neftegaz/index.shtml>  
<http://newgeophys.spb.ru/ru/article/neftegaz/index.shtml>