

МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ РАЗЛОМОВ НА АВАРИЙНОСТЬ НА ТРУБОПРОВОДАХ

Ю.Г. Кобылянский, С.В. Цирель
СПГТИ (ТУ), г. Санкт-Петербург

Аварии на газо- и нефтепроводах приводят к человеческим жертвам, суммарному экологическому ущербу и потерям ценного сырья (рис.1). Например, в США аварии на газопроводах ведут к потере 1–2 % добываемого газа, при этом в период с 1985 по 1995 г. было зафиксировано 42 смертельных случая и 176 серьезных повреждений материальных объектов. В России и других странах Восточной Европы аварийность на трубопроводах в среднем выше, чем Западной Европе и США, и последствия здесь еще более серьезные. Следует, однако, заметить, что мы не располагаем полной информацией: данные добывающих компаний и экологических организаций существенно расходятся. Российские ученые до сих пор не могут прийти к согласию относительно причин аварий на трубопроводах. Одни исследователи утверждают, что аварии вызываются только техногенными факторами (дефекты материала или строительства, механические воздействия и т.д.) или катастрофическими явлениями (землетрясения, разливы рек, карст и т.д.). Другие исследователи к числу причин данных аварий относят также неблагоприятные природные условия, к которым прежде всего относятся зоны разломов земной коры. При этом и те, и другие констатируют весьма труднообъяснимый факт – это концентрацию аварий около одних разломов и безопасность вблизи других, даже более мощных и активных.

В настоящей работе предпринята попытка объяснить причины возникновения зон повышенной опасности вблизи разломов.

Наиболее показательны исследования, проведенные на Краснотурьинском участке газопроводных трасс, расположенном на восточном склоне Северного Урала и характеризующемся большим количеством «беспричинных» аварий. При суммарной протяженности трасс (до 10 ниток газопровода) всего в 37 км в этом районе произошло 16 аварий и еще 37 прорывов труб при профилактических гидроиспытаниях. Большинство из них (44 повреждения из 53, или 83%) сгруппированы в 11 «кустов», объединяющих от 2 до 5–10 аварий на участках длиной от 100 до 500–1000 м. Общая длина этих наиболее опасных участков в сумме не превышает 4 км, или 11% от суммарной протяженности трасс. Лишь 9 нарушений труб не входят в эти «кусты».



Рис. 1. Авария на трубопроводе под Санкт-Петербургом

Сопоставление Краснотурьинского участка с другими, менее аварийными участками трасс позволяет выделить три его отличительные характеристики.

Первой из них является расположение этого участка целиком в пределах рудного узла цветных металлов. На Краснотурьинском участке проявляются площадное распространение сульфидной минерализации палеозойских толщ, а также осадочные руды в краевой зоне мезо-кайнозойского чехла платформенных отложений. (Эту краевую зону тоже местами пересекают газопроводы.) В юрских и меловых толщах обнаружены гидроокисные и окисные руды железа, а в палеогеновых и миоценовых – горизонты марганцевого оруднения.

Второй важной особенностью Краснотурьинского участка выступает его приуроченность к зоне крупнейших рельефообразующих, геодинамически активных разломов на стыке Уральских гор и Западно-Сибирской низменности.

Наконец, третьей особенностью данного участка является широко развитая сеть мощных и сверхмощных электролиний, способных вызывать электролитные свойства минерализованных трещинных вод.

Полученные в ходе исследований зависимости показали связь аварийности на трубопроводах с указанными выше особенностями Краснотурьинского района. На наличие аварий в зонах разломов более всего влияют три фактора: минерализация, обводненность и геодинамическое состояние разлома.

На плотность аварий влияет большее количество факторов. Наиболее важным из них оказывается близость к ЛЭП; по-видимому, электромагнитные поля, создаваемые ЛЭП, и утечки тока в значительной степени усиливают коррозионные процессы. Несколько меньшее влияние оказывают тип минерализации, тип и активность разломов.

Сопоставление коэффициентов корреляции наличия и плотности аварий позволило разделить факторы на две группы. Первая группа включает обязательные, мультипликативные факторы, способствующие повышению аварийности в зонах влияния разломов: наличие минерализованных трещинных вод (характерно для всего Краснотурьинского района), разгруженное геодинамическое состояние разлома и отсутствие повышенной обводненности. Вторая группа включает аддитивные факторы, не являющиеся необходимыми для повышения аварийности, но усиливающие действие первых.

На основании данной классификации факторов была определена структура эмпирической формулы и методом наименьших квадратов подобраны коэффициенты. При этом было принято, что на участках, не испытывающих влияния минерализованных трещинных вод, плотность аварий и нарушений при гидроиспытаниях составляет 0,3 аварии на пог. км:

$$\rho = \rho_0 [1 + K_{\text{МИН}} K_{\text{ВОД}} K_{\text{ПРИГР}} (1 + K_{\text{АКТ}}) (1 + K_{\text{ЛЭП}})]$$

$$N = \rho l$$
(1)

где ρ - плотность аварий, $\rho_0 = 0,3$ аварии/км, N - количество аварий на участке длиной l ;

$$K_{\text{МИН}} = \begin{cases} 0, & \text{при отсутствии минерализации} \\ 2, & \text{для } \text{SO}_3^- \\ 3,5, & \text{для } \text{SO}_3^-, \text{OH}^- \\ 5,5, & \text{для } \text{SO}_3^-, \text{OH}^-, \text{Mn}^+ \end{cases};$$
(2)

$$K_{\text{ВОД}} = \begin{cases} 0, & \text{для болот и русел рек} \\ 1, & \text{для сухих мест} \end{cases};$$
(3)

$$K_{\text{ПРИГР}} = \begin{cases} 0 \text{ (0,25)} & \text{для пригруженных разломов} \\ 1, & \text{для ослабленных разломов и зон дробления} \end{cases} \cdot (4)$$

Примечание: так как во многих случаях затруднительно определить, к какому типу относится разлом, то пригруженным разломам следует придавать ненулевое значение коэффициента $K_{\text{ПРИГР}}$.

$$K_{\text{АКТ}} = \begin{cases} 0,2, & \text{для активных разломов} \\ 0, & \text{для малоактивных разломов} \end{cases} ; \quad (5)$$

$$K_{\text{ЛЭП}} = \begin{cases} 3,7, & \text{при расстоянии до ЛЭП менее 3 км} \\ 0, & \text{при расстоянии до ЛЭП более 3 км} \end{cases} \cdot (6)$$

Формула (1) учитывает 71% дисперсии плотности аварий и 82% дисперсии количества аварий.

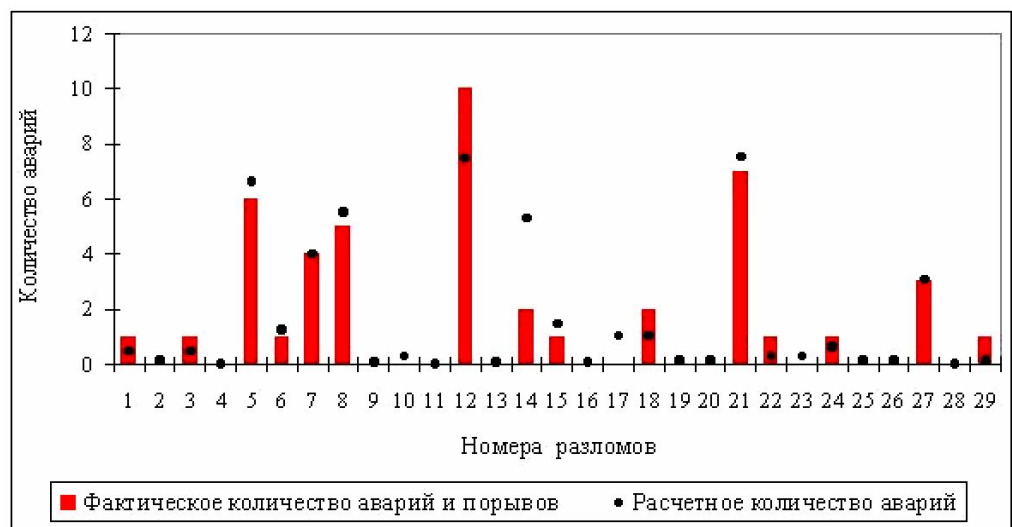


Рис. 2. Сопоставление расчетного и фактического количества аварий

Другой механизм наблюдается в зонах многолетней мерзлоты. Так как многие магистральные трубопроводы в России (а также в Канаде, США и Скандинавских странах) находятся в этих зонах, то коротко остановимся и на этом типе влияния геодинамики на аварийность. Наиболее опасными для трубопроводов являются зоны сильного проявления пучения, а также талики и участки погребенного льда. Именно на таких участках имеют место наибольшие деформации трубопроводов, способные привести к нарушениям их целостности. Исследования, проведенные на Таймыре,

показали отчетливую связь распространения таликов и погребенного льда с геодинамическим положением блоков. Предварительный геодинамический анализ трасс будущих трубопроводов и проведение необходимых корректировок позволили бы уменьшить трудоемкость изыскательских работ и существенно снизить вероятность аварий. Кроме того, подобный анализ помогает решать сложную проблему выбора оптимальной температуры перекачиваемых углеводородов в районах распространения вечной мерзлоты.

Еще одна проблема, возникающая при строительстве и эксплуатации трубопроводов в районах многолетней мерзлоты, связана с наблюдающимся изменением климата. Как показывают исследования, наибольшая деградация многолетней мерзлоты происходит на границах зон ее распространения, в тех местах, где в настоящее время существуют локальные участки многолетнемерзлых грунтов мощностью от нескольких метров до первых десятков метров. Существенную роль в разрушении мерзлоты играют минерализованные флюиды, поступающие через разгруженные разломы и зоны дробления. Таким образом, хотя причиной таяния мерзлых пород является повышение зимних температур, сам механизм таяния существенно зависит от процессов массо- и теплопереноса, сконцентрированных в приразломных зонах. При переходе мерзлых пород в пластическое или текучее состояние их несущая способность сокращается во много раз, а коэффициенты фильтрации могут возрасти на три порядка и более. При проектировании и строительстве трубопроводов с большим сроком службы необходимо учитывать оба состояния грунтов.

Как показывают исследования, перечисленные выше механизмы не исчерпывают всех форм влияния геодинамических факторов на состояние трубопроводов и других подземных сооружений. Например, приразломные зоны часто представлены тиксотропными грунтами. При наличии мощных техногенных источников вибрации происходит разжижение подобных грунтов и резкое снижение их несущей способности. Отметим, что и в данном случае источником повышенной опасности выступает сочетание природных и техногенных факторов. Весьма вероятно, что существует и иные не изученные на сегодняшний день механизмы влияния геодинамических факторов на состояние трубопроводов. В первую очередь опасность могут представлять агрессивные газы (H_2 и др.), просачивающиеся через разломы, а также биота (микробы, водоросли), сосредоточенная на обводненных приразломных участках.