

УДК 622.692.4

**Анализ условий функционирования надземных переходов
газопровода Соболево — Петропавловск-Камчатский**

И. Г. Силина¹, Е. А. Гильмияров^{2*}, В. А. Иванов¹

¹Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

²ООО «НГСН-Р», г. Тюмень, Россия

*e-mail: egilmiyarov@list.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрены особенности функционирования магистрального газопровода Соболево — Петропавловск-Камчатский и, в частности, надземных переходов через реки. Приведены основные природно-климатические условия и прочие факторы, оказывающие влияние на эксплуатацию газопровода. Представлены результаты частичного мониторинга надземных переходов, а также выявлены причины значительного ухудшения их технического состояния.

Ключевые слова: магистральный трубопровод; надземные переходы; русловые переформирования; аллювиальные отложения

**Analysis of Sobolevo — Petropavlovsk-Kamchatsky gas pipeline
aboveground crossings operating conditions**

Irina G. Silina¹, Evgeny A. Gilmiyarov^{2*}, Vadim A. Ivanov¹

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²NGSN-R LLC, Tyumen, Russia

*e-mail: egilmiyarov@list.ru

Abstract. The article deals with the operating conditions of Sobolevo — Petropavlovsk-Kamchatsky gas pipeline. Much attention is given to technical assessment of aboveground crossings of this gas pipeline. We report key climatic conditions and other factors affecting gas pipeline operation. Also, we present the results of aboveground crossings partial monitoring and detect the matters of their condition significant degradation.

Key words: gas pipeline; aboveground crossings; channel changes; alluvial sediments

Введение

В целях формирования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке эффективной газовой промышленности и создания на этой основе условий для динамичного социально-экономического развития региона в 2007 году была принята Восточная газовая программа. Согласно данному документу, темпы развития Дальнего Востока, значительные запасы газа и перспективность рынка газа Азиатско-Тихоокеанского региона являются предпосылками для фор-

мирования новых центров газовой промышленности, позволяющих удовлетворять как внутренний, так и внешний спрос.

Одним из таких центров является территория полуострова Камчатка. В рамках программы газификации Дальнего Востока был построен магистральный газопровод Соболево — Петропавловск-Камчатский протяженностью 392 км. Несмотря на то что при проектной производительности трубопровода (750 млн м³/год) запасов газа на материковых месторождениях (16 млрд м³) будет достаточно для обеспечения потребностей региона на срок чуть более 20 лет, данный проект имеет для региона особое значение, так как наличие собственных энергоресурсов существенно снизит зависимость предприятий полуострова (ТЭЦ, котельных) от завоза угля и мазута в краткий период навигации. Более того, к 2030 году планируется прирост запасов на 300 млрд м³ за счет проведения геолого-разведочных работ в Западно-Камчатском районе нефтегазоносного бассейна Охотского моря.

Сооружение магистрального газопровода Соболево — Петропавловск-Камчатский было связано со значительными трудностями из-за малой заселенности и, как следствие, слабого развития инфраструктуры, а также из-за сложных природно-климатических условий региона. Исходя из вышеизложенного, цель данной работы — исследование условий эксплуатации газопровода, особенно ответственных участков (таких как переходы через реки и временные водотоки), и разработка комплекса мероприятий по повышению их надежности.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являются надземные переходы магистрального газопровода Соболево — Петропавловск-Камчатский через реки и временные водотоки. Для выполнения целей исследования были интерпретированы результаты инженерно-метеорологических и гидроморфологических изысканий, а также проведен выборочный частичный мониторинг состояния надземных переходов.

Анализ природно-климатических условий трассы газопровода

Трассу магистрального газопровода, проходящего на юге полуострова Камчатка, можно условно поделить на восточную и западную часть. Западная часть (0–230 км трассы трубопровода) располагается на территории Камчатской низменности — болотистой местности, пересекаемой большим количеством несудоходных рек. Восточный участок трассы газопровода приурочен к Срединному и Восточному хребтам — территориям, для которых характерны наибольшее среднегодовое количество осадков (около 1 200 мм) и также значительное число горных рек.

Газопровод Соболево — Петропавловск-Камчатский пересекает 386 природных и искусственных водотоков. В связи с этим суммарная протяженность переходов через водные преграды составляет более 14 км или 3,5 % от общей протяженности газопровода; при этом 91,5 % переходов являются надземными, подверженными влиянию большего числа факторов, чем подземные переходы.

На полуострове преобладают как крупные, так и малые реки (горные, полугорные и равнинные) с развитыми и неразвитыми аллювиальными отложениями. На горных реках неразвитые аллювиальные отложения встречаются несколько реже и появляются преимущественно на малых и редко на средних реках.

Восточный участок трассы магистрального газопровода представлен валунно-галечниковыми аллювиальными отложениями (как с окатанными, так и с неокатанными гранями) с включением гравия с песчаным, реже супесчаным наполнителем, слагающими русла и поймы рек. Мощность аллювиальных отложений может достигать 100–120 м. На территории Камчатской низменности речной аллювий представлен валунными и гравийно-галечниковыми отложениями с преобладанием песков и пылеватых супесей. Мощность речного аллювия, как правило, не превышает 10–15 м или находится в диапазоне 2–6 м.

Состав и распределение аллювиальных отложений в различных формах рельефа создают благоприятные условия для накопления и циркуляции в них значительных масс подземных вод. Такие причины, как гранулометрический состав грунтов, обуславливающих достаточно высокие фильтрационные свойства большинства почв [1], а также присутствие в некоторых областях в незначительном удалении от Восточного Вулканического района рыхлых пирокластических отложений, дополнительно способствующих пропуску и удерживанию водных масс, обуславливают обширное развитие водоносных горизонтов напорных и безнапорных поровых вод.

Большинство рек, пересекаемых трассой газопровода, являются горными и характеризуются повышенной скоростью течения (до 4–6 м/с во время половодий) и небольшой глубиной. Данные скорости течения превышают размывающие скорости течения для грунтов, слагающих русло и берега большинства рек полуострова Камчатка, что при отсутствии дно- и берегоукрепительных сооружений приводит к размыву опор надземных переходов.

Для рек полуострова Камчатка характерно резкое сезонное увеличение стока реки, вызванное смешанным типом питания, при котором до 45 % воды поступает в реки при таянии снега и горных ледников по достижению положительной температуры окружающего воздуха, что приводит к сильным половодьям. Весенне-летнее половодье, начало которого приходится на май и достигает своего максимума в июне, является основной фазой водного режима рек полуострова, за время которого проходит 50–80 % всего годового стока. По причине тесного соседства горных и равнинных районов таяние ледников и снега происходит неравномерно, что при повышенных температурах воздуха вызывает вторую, менее выраженную волну половодья, обычно приходящуюся на октябрь. Внутригодовое распределение стока рек характеризуется четко выраженным максимумом, приходящимся на период весеннего половодья, постепенным спадом и вторым, менее выраженным возможным максимумом.

Существенным фактором, оказывающим влияние на условия эксплуатации переходов через водные преграды, является наличие карчехода. Карчеход — движение по реке деревьев с кроной и корневой системой, попадающих в русла при подмыве берегов. Особенно интенсивно карчеход проявляется в периоды половодий и паводков. Поскольку основным типом растительности в районе пролегания магистрального газопровода является каменная береза (береза Эрмана), обладающая достаточно большой средней высотой (около 12 м) и раскидистой кроной, то карчеход представляет особую опасность как для надземных, так и для подземных незаглубленных участков трубопровода. Наибольших значений частота заломов (нескольких деревьев или их частей, движущихся единым телом) карчи (до 10 заломов на 100 м) достигает в руслах полугорных рек.

Значительный водный сток и бурный характер течения рек способствуют переформированию их русел: размыву береговых частей и углублению отметок дна, изменению морфологии русел и т. п.

Предрасположенность рек к плановым русловым деформациям, к возникновению донной эрозии или накоплению наносов на дне определяют показатели их устойчивости [2]. Устойчивость речных русел зависит от множества факторов, среди которых параметры реки, скорость течения потока, морфометрия (присутствие разветвлений, излучин) русла и морфология реки, вид слагающих дно и берега пород и т. д.

Частое чередование горных районов с равнинными сопровождается развитием полугорного типа русловых процессов на реках. Значительные уклоны территорий дополнительно способствуют тому, что многие реки характеризуются полугорным характером течения даже в пределах низменностей. На долю равнинных русел приходится примерно 10 % длины всех рек полуострова. Равнинный тип русловых процессов преобладает на малых реках или же в нижнем течении крупных рек.

В целом на полуострове горные реки составляют примерно 48,8 % всех рек, полугорные — 39,3 %, равнинные — 11,9 %. Распространенность типов русел на реках с различными русловыми процессами приведена в таблице [3].

Распространенность типов речных русел

Тип русла	Распространенность типа русла при русловых процессах, %		
	Горные	Полугорные	Равнинные
Прямолинейные русла и русла с излучинами и одиночными русловыми разветвлениями	18,3	2,16	0,27
Меандрирующие русла	23,1	24,9	10,8
Русла с пойменными и русловыми разветвлениями	5,11	12,2	0,8
Блуждающие русла (с осередковыми разветвлениями)	2,28	0,07	—

На горные реки приходится почти половина общего числа рек Камчатского региона. Узкие долины рек преобладают в горной местности, также там наблюдаются ограниченные условия развития русловых деформаций в связи с повышенной устойчивостью самих русел. Повышенная устойчивость русел обеспечивается благодаря слагающим их крупнообломочным грунтам [4]. По этой причине русловые деформации могут происходить только при значительных расходах воды (максимум половодья). В основном ограничено меандрирующие русла соответствуют малым рекам, разветвленные русла значительно чаще встречаются на равнинных или более крупных реках. На равнинных участках русла преимущественно широкопойменные, характеризующиеся свободными условиями развития русловых переформирований.

В горных районах водотоки без или с малым числом притоков характеризуются преобладанием донной эрозии, что выражается в формировании узких, невыработанных речных долин. При выходе на равнинные участки донная эрозия плавно уравнивается с береговой эрозией, и по мере продвижения реки по территории низменности береговая эрозия начинает усиливаться.

Регрессивная эрозия верховьев рек приводит к поступлению значительного количества обломочного материала вниз по течению [5]. Таким образом, процессы эрозии (в том числе донной) и аккумуляция наносов частично уравнивают друг друга.

Географическое положение полуострова Камчатка определяет следующий ветровой режим: на западном участке трассы газопровода средняя скорость

ветра составляет 5 м/с, на восточном — 8 м/с. Максимальная скорость ветра наблюдается в зимний период до 35 м/с на западном побережье, до 40 м/с — на восточном. Возникающие ветровые нагрузки оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние надземных переходов. Провисы трубопровода и размытые опоры надводных переходов усиливают воздействие на трубопровод, оказываемое ветровыми нагрузками [6].

Все вышеперечисленные факторы совместно с высокой сейсмической активностью в данном регионе приводят к необходимости соблюдения повышенных требований надежности при проектировании и сооружении трубопроводов и, в частности, переходов через естественные и искусственные водные преграды. В противном случае возможно возникновение аварий на линейной части трубопроводов, вызванных непредусмотренными проектом нагрузками, дополнительными провисами и потерей устойчивости переходов.

Анализ результатов мониторинга надземных переходов газопровода

В 2012 году (через 2 года после ввода газопровода в эксплуатацию) был проведен частичный мониторинг состояния 25 надземных переходов через крупные реки. В результате обследования были установлено, что на 19 переходах необходимо провести капитальный ремонт. Кроме того, было выявлено следующее:

- конструкции всех вантовых переходов (16 % от общего количества) не обеспечивают компенсирование провисов трубопровода;
- размыв опор наблюдается на 72 % переходов;
- значительный размыв береговой линии наблюдается на 28 % переходов;
- нарушение изоляционного покрытия трубопроводов произошло на 8 % переходов;
- коррозии подверглись опоры на 16 % переходов;
- на 20 % переходов произошло скопление карчи.

Такое состояние надземных переходов обусловлено рядом причин.

- Отсутствие средств защиты русла и берегов водотоков в створе перехода от размыва. В данном случае подразумевается использование пассивных средств защиты — берегоукрепительных сооружений; применение активных средств защиты, влияющих на направление и структуру потока или накапливающих и удерживающих донные отложения, нецелесообразно в связи с резкими изменениями происходящих русловых процессов, что делает более сложным прогноз переформирования русла при установке сооружений подобного типа и, как следствие, уменьшает срок службы данных конструкций [7].

Несмотря на то что в ряде случаев для укрепления берегов была произведена наброска камня, необходимая степень защиты от размыва не была обеспечена последующим причинам: во-первых, камни для наброски были подобраны без учета скорости водного потока; во-вторых, толщина каменного покрытия не достигает необходимой величины $3D_k$, где D_k — средний диаметр использованных камней [8]. Вследствие вышеуказанного каменные покрытия, как и укрепляемые поверхности, подверглись интенсивному размыву, что привело к оголению опор надводных переходов в русловой и береговой части переходов, которое усугубляется частичным разрушением бетонных ростверков. Так, наибольшее значение размыва составляло 0,8 м (рис. 1). Оголение опор приводит к уменьшению устойчивости надводных переходов и возникновению дополнительных напряжений в стенке трубопровода [9].



Рис. 1. Размыв опор перехода через реку Правый Кихчик

- Незащищенность надводных переходов от ударения объектами, переносимыми течением. В частности, сильное влияние на состояние трубопровода может оказывать карчеход. Двигаясь единым жестким телом, залом из карчей создает большую ударную нагрузку на незащищенный трубопровод, особенно на участках с большими скоростями водных потоков. Кроме того, плотная и прочная древесина, имеющая отрицательную плавучесть, может оказывать разрушающее воздействие не только на изоляцию и непосредственно трубу (рис. 2), но и на опоры надземного перехода, чему также способствует формирующийся до дна реки залом.



Рис. 2. Скопление карчи на переходе через реку Правый Кихчик

- Ошибки при проектировании конструкций надводных переходов. В частности, неучет таких факторов, как значительная ветровая нагрузка, привел к тому, что во всех случаях вантового исполнения надземных переходов при-

меняемые талрепы не обеспечивают необходимого компенсирования провисов трубопровода и снижения нагрузок от внешних сил.

- Несоответствие требованиям нормативно-технической документации. Так, почти на всех надводных переходах отсутствуют ограждения из металлической сетки при переходе из подземного в надземное исполнение трубопровода. Кроме того, согласно требованиям нормативно-технической документации, расстояние от низа трубы или пролетного строения должно быть не менее 1 м над горизонтом высоких вод по году 1 % обеспеченности при наличии карчехода. Нарушение данного требования наблюдается на 12 % надземных переходов и вызывает дополнительную опасность повреждения трубопровода.

В связи с этим могут быть проведены следующие мероприятия:

- возведение русло- и берегоукрепительных сооружений, в частности, с применением габионно-сетчатых изделий;
- установка карчезадерживающих сооружений выше по течению тех переходов, где по результатам мониторинга установлена наибольшая вероятность образования крупных заломов;
- реконструкция переходов.

Данные меры позволят снизить вероятность отказов на переходах с оставлением их надземного исполнения. В то же время значимым фактором, оказывающим влияние на надежность надземных переходов, является техническое состояние опор конструкций. Опоры трубопровода Соболево — Петропавловск-Камчатский функционируют в достаточно неблагоприятных условиях, в число которых входят интенсивные русловые процессы и высокая сейсмичность региона. Таким образом, в целях снижения степени влияния условий окружающей среды на переходы через водные преграды и, как следствие, повышения их надежности рекомендуется перевести переходы, наиболее подвергшиеся негативному воздействию, в подземное исполнение [10].

Выводы

В данной работе рассмотрены основные особенности функционирования магистрального газопровода Соболево — Петропавловск-Камчатский, к которым относятся ветровой режим, высокая сейсмическая активность, наличие двух волн половодья и интенсивного корчехода, характер грунтов, типы русел и их склонность к меандрированию. На основании проведенного анализа изложенных факторов и результатов мониторинга трассы газопровода были выявлены причины значительного ухудшения технического состояния переходов и даны рекомендации по выбору конструктивных решений для их ремонта и реконструкции.

Библиографический список

1. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. — М.: Недра, 1975. — 304 с.
2. Барышников Н. Б. Русловые процессы: учеб. — СПб.: РГГМУ, 2008. — 439 с.
3. Ермакова А. С. Русловые процессы на реках Камчатки: дис. ... канд. геогр. наук. — М., 2009.
4. Бородавкин П. П. Механика грунтов в трубопроводном строительстве. — М.: Недра, 1976. — 224 с.
5. Русловые процессы и путевые работы на свободных реках / Н. А. Доманевский [и др.] — М.: Речной транспорт, 1956. — 458 с.

6. Безопасность пересечений трубопроводами водных преград / К. А. Забела [и др.] – М.: Недра, 2001. – 195 с.
7. Шаммазов А. М., Мугаллимов Ф. М., Нефедова Н. Ф. Подводные переходы магистральных нефтепроводов. – М.: Недра, 2000. – 237 с.
8. Сооружение и ремонт подводных переходов магистральных трубопроводов / В. А. Иванов [и др.]; под ред. В. А. Иванова. – Тюмень: Тюменский дом печати, 2016. – 256 с.
9. Иванов В. А. Лысяный К. К. Надежность и работоспособность конструкции магистральных нефтепроводов. – СПб.: Наука, 2003. – 319 с.
10. Томарева И. А. Конструктивные и технологические особенности строительства подводных трубопроводов. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. – 113 с.

Сведения об авторах

Силина Ирина Георгиевна, аспирант кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Гильмияров Евгений Адикович, специалист ООО «НГСН-Р», г. Тюмень, e-mail: egilmiyarov@list.ru

Иванов Вадим Андреевич, д. т. н., профессор кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Irina G. Silina, Postgraduate at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen

Evgeny A. Gilmiyarov, Engineer at NGSN-R LLC, Tyumen, e-mail: egilmiyarov@list.ru

Vadim A. Ivanov, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen