

ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДИКЕ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТРАССЕ СИСТЕМЫ ГАЗОПРОВОДОВ БОВАНЕНКОВО–УХТА НА П-ОБЕ ЯМАЛ

Н.Н. Хренов
Институт проблем нефти и газа РАН
e-mail: khrenovnn@list.ru

На протяжении 20 лет Институт проблем нефти и газа РАН проводил исследования состояния трасс системы магистральных газопроводов Ямбург–Ныда, магистральных коллекторов Ямбургского и Уренгойского месторождений, конденсатопроводов Ямбург–Новый Уренгой и Новый Уренгой–Сургут, проходящих по многолетнемерзлым грунтам [1].

В результате взаимодействия газопровода с многолетнемерзлыми породами (ММП) активизируются или возникают новые негативные процессы, приводящие к его деформациям. К таким процессам относятся морозное пучение, термокарст, термоэрозия, морозное растрескивание и др. Наземные обследования неблагоприятных участков, дешифрирование материалов аэрофотосъемки разных лет, геодезические измерения изгибов газопровода показывают, что наиболее распространенный и интенсивно протекающий процесс – выпучивание газопроводов. За короткий срок эксплуатации (5–7 лет) выпучивание достигает 1 м и более [2].

Через 7–8 лет эксплуатации трубопроводов на многих их участках вода с трассы уходит, возвращается мерзлота, но более жесткая, чем до начала строительства. Возникает интенсивное пучение, при этом меры по охлаждению газа приводят к противоположному результату - происходит еще более интенсивное пучение. Сегодня на участке «км 0»–«км 193» «холодного» газопровода Ямбург–Ныда имеется 600 участков с начавшимся морозным пучением, бугры пучения достигают 4,5 м высоты, максимальное искривление трубопровода – 2,8 м. При этом выпучивание продолжается, его практически остановить невозможно [3].

Новообразование ММП, возможность которого предопределена суровыми климатическими условиями района и инициирована охлаждающим влиянием трубопровода, обычно сопровождается многолетним пучением промерзающих грунтов и, нередко, формированием новых сезонных и многолетних бугров пучения. Возникающее за счет этого неоднородное по трассе воздействие ММП на трубу обуславливает возникновение различных по величине напряжений трубы, которые могут создать опасные ситуации, вплоть до разрыва трубы. Известно, что многолетнее пучение грунтов

при новообразовании ММП было одной из причин возникновения аварийных ситуаций на «холодных» заглубленных газопроводах на севере Западной Сибири.

В отличие от других инженерных сооружений трубопроводы имеют ряд специфических особенностей, в частности, малое удельное давление на грунты основания и высокую чувствительность к тепловым и механическим воздействиям при относительно большой гибкости конструкции. Это дает трубопроводу возможность воспринимать значительные деформации без угрозы потери сплошности металла в случае, если основанием трубы являются талые грунты. Именно это и происходит на «теплых» газопроводах Уренгойского и Ямбургского межпромысловых коллекторов, где формирование большого ореола оттаивания и интенсивное проявление криогенных процессов (термокарст, термоэрозия, заболачивание) осложняют нормальную работу газопровода, но не создают критических ситуаций. Более того, высокая температура транспортируемого газа в первые годы эксплуатации, вызвавшая формирование крупного ореола оттаивания грунтов вокруг трубы, дала возможность релаксации как начальных напряжений трубопровода (возникших при его укладке), так и возникающих в процессе дальнейшей эксплуатации, вплоть до настоящего времени.

По-иному происходит взаимодействие ММП с «холодными» трубопроводами [1]. При промерзании грунтов подвижность трубы резко снижается за счет ее зацементирования промерзшим грунтом. Имеющиеся статистические данные о распределении количества «нарушений» по временам года показывают, что подавляющее их большинство (более 60%) происходит в зимнее время года (ноябрь–март), то есть во время интенсивного пучения грунтов. Причину подобных аварий необходимо объяснить следующим образом. Зимой при транспортировке холодного продукта на участке с ММП сезонные ореолы оттаивания быстро промерзают, сезонное пучение прекращается и происходит зацементирование трубы. На примыкающих к ним участках новообразования ММП в течение всей зимы продолжается промерзание талых грунтов и их интенсивное пучение. В результате, труба, зажата с одной стороны в мерзлом массиве, испытывает все возрастающее давление снизу, со стороны промерзающих и пучащихся грунтов. Поэтому на контакте таких участков можно ожидать разрыва трубы. Сказанное в первую очередь относится к переходам малых водотоков, которых на участке Бованенково–Воркута около тысячи.

Многолетний опыт эксплуатации трубопроводов в криолитозоне показал, что трубопроводы на ряде участков, таких как мелкие водотоки, обводненные низины, ложбины стока, имеют аномально большие вертикальные деформации, величина которых намного превышает величину нормативного морозного пучения грунтов при промерзании слоя сезонного оттаивания. На основе натурных исследований экспериментально обосновано выпучивание переходов «холодных» трубопроводов через талики [4]. На основе натурных данных, полученных при исследованиях на Ямале, были проведены расчеты сил пучения при переходах холодного трубопровода через талики и анализировались напряжения, возникающие в трубопроводе при пересечении таликов различных размеров.

Сделан вывод, что наиболее опасными для трубопровода 1420x14 мм являются талики размером от 10 до 40 м, в этих случаях напряжения в стенках трубы превышают допустимые.

Морозное пучение выражается в увеличении давления или развития деформаций в слое промерзающего грунта, эти проявления могут быть ограничены дополнительными давлениями, действующими на промерзающий грунт. В результате, в тонкодисперсном грунте образуются слоистые текстуры, образованные шлирами и включениями сегрегационного льда.

Морозное пучение является предметом исследований в течение долгого времени, однако многие данные получены в результате лабораторных испытаний, проведенных на маленьких образцах. Многие из этих испытаний проводились при больших скоростях промерзания, с большими градиентами температур и в течение короткого времени. В то время как в реальных условиях процесс морозного пучения развивается в пределах больших объемов грунта, при маленьких скоростях промерзания и небольших градиентах температур. Таким образом, отдельно нужно рассматривать корректность лабораторных данных применительно к полевым условиям.

На сегодняшний день в России в существующих нормативных документах отсутствуют расчетные методики по определению сил пучения, действующих на «холодный» газопровод подземной прокладки при промерзании талых грунтов в его основании. Поэтому применяемые на практике мероприятия по обеспечению проектного положения газопроводов, разработанные на основе регламентированных в нормативной литературе расчетных методик, которые учитывают только воздействие на трубопроводы

выталкивающих сил, обуславливающих их всплытие, малоэффективны. Известно много случаев, когда при балластировке утяжелителями газо- и конденсатопроводов, рассчитанной в соответствии с нормативными источниками, трубы вместе с утяжелителями были вытолкнуты на поверхность за счет сил пучения, воздействующих на трубопровод.

Вертикальные перемещения подземных трубопроводов, обусловленные пучением промерзающих грунтов, вызывают в стенках трубы значительные напряжения. Величина напряжений зависит от неравномерности пучения грунта по длине трубопровода. Неравномерность – наиболее негативная особенность пучения. В природных условиях она происходит вследствие неоднородности грунтов по трассе, неравномерного распределения их влажности и плотности, неодинаковых условий промерзания и возможности притока воды к фронту промерзания.

ИПНГ РАН в 2008 г. проводил анализ материалов проекта, а в 2010 г. – натурные работы по оценке состояния трассы при строительстве газопровода Бованенково–Ухта на Ямале.

Сегодня необходимость привлечения материалов и резкого форсирования исследований обусловлена тем, что в проекте Бованенково–Ухта, в первую очередь участка Бованенково–Байдарацкая Губа, проигнорирован весь мировой и отечественный опыт. Конструктивные решения назначались на основе весьма приближенных расчетов, все переходы через талики (44 перехода суммарной длиной 5 км) запроектированы подземно, что неизбежно приведет к созданию многочисленных потенциально-опасных ситуаций. Анализ приведенных результатов исследований позволяет сделать вывод о том, что при строительстве на Ямале все переходы через водотоки, малые реки и озера необходимо было выполнять надземной прокладкой. В проекте никак не учтен опыт эксплуатации отечественных холодных трубопроводов, проигнорированы рекомендации СТУ о применении надземной прокладки на переходах таликов и малых водотоках на Ямале (пункт 8.4.5), в проекте – только подземные переходы [5].

Нынешний проект линейной части «перерисован» из проекта 1985 г., где толщина стенки составляла 14–17 мм. Труба при строительстве не укладывалась по рельефу, приходилось на ряде участков расширять траншею, чтобы уложить трубу «на бок».

В некоторых случаях ширина траншеи доходила до 18 м. Объем валика обратной засыпки достигал 15–17 кубометров на погонный метр. Этому способствовал также буровзрывной метод разработки траншеи.

При паводке после укладки произошло движение талой воды по траншее, растепление грунта и созданы зоны таликов около и под трубой. Глубина ореолов оттаивания сбоку от трубы составляла на конец сентября 1,5–2 и более метров. Ширина – до 20 м. Происходило набухание водой пенополистирольной изоляции летом и зимой, перераспределение снега с усилением обводнения по трассе. Валик начал разрушаться.

Главный вывод проведенных работ: трубопровод не работает по проекту. В 2013 г. проводились облет с тепловой съемкой по трассе для оценки состояния геотехнической системы трубопровод–окружающая среда [6].

Сейчас первая нитка газопровода Бованенково–Ухта прошла стадию обводнения, резко изменились грунтовые условия, пространственное положение и напряженно-деформированное состояние. Фактически от проекта уже ничего не осталось. Ситуация уникальная, необходимо форсировать натурные исследования по оценке фактически сложившегося нового состояния и выработке рекомендаций по эксплуатации.

Срочно необходимо провести дистанционное зондирование всей трассы с применением аппаратуры фото-, тепловой и радиолокационной съемки в метровом диапазоне для оценки изменений мерзлотных характеристик, пространственного положения трубопровода в грунте [7, 8]. Целью исследований должны стать оценка районирования газопровода, выработка рекомендаций для дальнейших исследований и предложений по обеспечению надежной эксплуатации.

В случае съемок по трассе Бованенково–Ухта обработка материалов должна быть направлена на создание ГИС, анализ материалов которой позволит приступить к дифференциации трассы по условиям эксплуатации и созданию таблицы технического состояния на основе показателей технического состояния (разрушение обвалования, всплытие, подтопление и др., на первом этапе – размеры нарушенных участков). Анализ позволит уточнить граничные условия для решения тепловых задач и дать рекомендации по исследованиям и разработке задач, адекватных натурным условиям.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Рациональное природопользование и эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли», № АААА-А16-116022550220-4).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хренов Н.Н.* Проблемы обеспечения надежности газопроводов в криолитозоне Западной Сибири // Криосфера Земли. 2005. Т. IX, № 1. С. 81–88.
2. *Хренов Н.Н.* Проблема обеспечения надежной эксплуатации «холодных» трубопроводов в многолетнемерзлых грунтах // Газовая промышленность. 2003. № 7. С. 50–51.
3. *Хренов Н.Н.* Оценка состояния газопроводов Ямбург–Ныда // Газовая промышленность. 2002. № 4. С. 54–58.
4. *Хренов Н.Н.* Оценка конструктивной надежности переходов через талики на трассе газопроводов Бованенково–Байдарацкая губа // Газовая промышленность. 2009. № 4. С. 51–53.
5. *Хренов Н.Н.* Основные положения методики геотехнического мониторинга трассы газопровода Бованенково–Ухта // Геодезия и картография. 2010. № 1. С. 52–57.
6. *Хренов Н.Н.* Оценка состояния газопровода на Ямале в период строительства // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 4. С. 67–70.
7. *Хренов Н.Н.* Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок: Монография. М.: Газойл Пресс. 2003. 352 с.
8. *Захаров А.И., Хренов Н.Н.* Радиолокационные интерферометрические методы наблюдения Земли в задаче мониторинга подвижек газопровода // Газовая промышленность. 2004. № 3. С. 44–48.