

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОЛОЖЕННЫХ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

С.А. Сиянков

Научный руководитель – доцент А.В. Рудаченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Актуальной проблемой проектирования, строительства и эксплуатации нефтегазопроводов в условиях Крайнего Севера является обеспечение устойчивости оснований и эксплуатационной надежности нефтегазопроводов в условиях пролегания мерзлого грунта. Опыт показал, что чаще всего в результате механического и теплового взаимодействия трубопровода с грунтом происходит нарушение равновесия в литотехнической системе «газопровод – грунт оснований», что за собой влечёт значительные изменения естественных ландшафтов, а также активизацию геокриологических процессов, которые в свою очередь приводят к деформации трубы, потере её проектного положения и, как правило, к аварийным ситуациям.

Целью работы, являлось выявление технологических и технических параметров повышения конструктивной надежности магистрального газопровода, проложенного в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов.

В грунте, при промерзании, происходит криогенное пучение, которое сопровождается увеличением объема. В том случае, если увеличению объема промерзающего грунта препятствуют подземные конструкции фундаментов, нефтегазопроводы, анкерные устройства, то между этими сооружениями и мерзлым грунтом возникают мощные реактивные силы морозного пучения.

Кривые пучения грунтов при промерзании для типичных грунтов (песка, глины, суглинка и суглинка с подтоком воды) по опытам Н.А. Цытовича [1] показаны на рис.1.

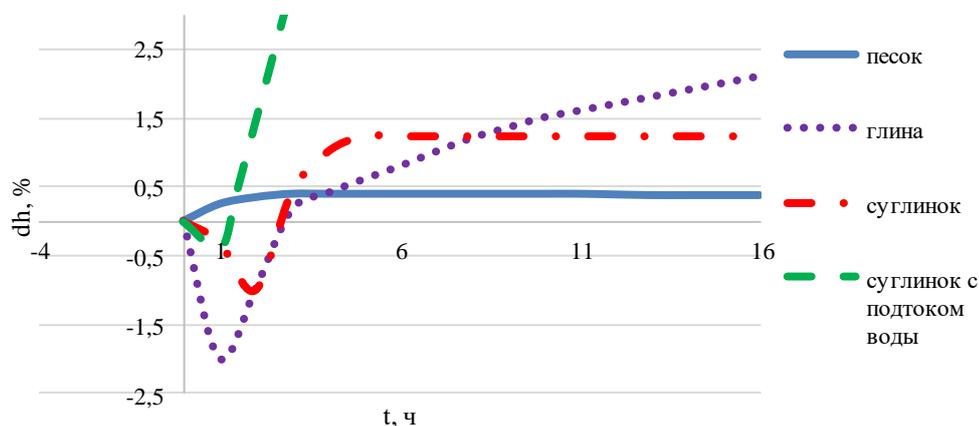


Рис. 1 Кривые пучения грунтов при промерзании

Морозное пучение водонасыщенного песка при промерзании его со всех сторон, показывает, что грунт данного вида склонен к быстрому увеличению в объеме. При продолжительном охлаждении, песок склонен уменьшаться в объеме. В случае же одностороннего промерзания водонасыщенного песка и свободного оттока воды объем песка практически остается неизменным, а значит можно сделать вывод, что морозное пучение не наблюдается.

Напряженно-деформированное состояние каждой несущей части магистрального нефтегазопровода определяется характеристиками воздействующих нагрузок на трубопровод. Такие нагрузки видоизменяются в зависимости от параметров перекачиваемого продукта, характеристик окружающей среды и т.д. Основными нагрузками для нефтегазопроводов являются: собственный вес трубы, давление грунта, вес транспортируемого продукта, внутреннее давление, просадка и пучение грунта, давление от оползней. Необходимо заметить, что даже в теплое время года на сильно обводненных участках трассы пучение грунта и появление равномерно распределенных сил морозного пучения наблюдается. Действие сил морозного пучения вдоль нефтегазопровода показано на рис. 2.

Одним из основных условий, обеспечивающих поддержание эксплуатационной надежности является выполнение прочностных расчетов, при проведении которых учитывается действительное условие работы нефтегазопровода. В данной задаче, расчет толщины стенки трубы на устойчивость и прочность является определением напряженно-деформированного состояния, которое обуславливается нагрузками и усилиями, которые возникают под действием от внешних источников [2].

Для определения напряжений в стенке трубопровода, а также обозначения диапазона возможных изменений численных характеристик процессов, которые влияют на возникновение деформаций, производится расчет прочностного напряжения, которое возникает при морозном пучении в многолетнемерзлом грунте. Расчет напряженно-деформированного состояния участка подземного трубопровода производился в программном пакете ANSYS.

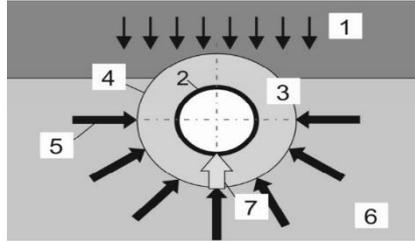


Рис. 2 Воздействие силы морозного пучения на газопровод в летний период: 1 - сила веса грунта; 2 – газопровод с транспортируемым продуктом с температурой 3°C; 3 - образование льда в замерзшем грунте; 4 - граница замерзшего грунта ($t = 0^{\circ}\text{C}$); 5 - сила расширения, образовавшегося при втягивании воды в зону замерзания и ее замораживании; 6 - грунтовая вода; 7 - сила морозного пучения

В качестве исследуемого трубопровода, взят участок газопровода со следующими исходными данными:

- номинальный диаметр (D_n) – 400 мм;
- толщина стенки (δ) – 10 мм;
- внутреннее давление ($P_{\text{раб}}$) – 5,5 МПа;
- марка стали – 09Г2С;
- длина (L) – 10 м.

Независимыми параметрами являются упругие характеристики материала: модуль Юнга и коэффициент Пуассона. В ходе определения напряженного состояния газопровода берутся в учёт напряжения кольцевые – от внутреннего давления и напряжения продольные осевые – от всех нагрузок, которые возникают под действием внешних источников [3].

Максимальными значениями продольных напряжений являются участки в точках закрепления трубопровода (рис. 3). Значение прогиба будет наибольшим на расстоянии от края на 5 м (рис. 4).

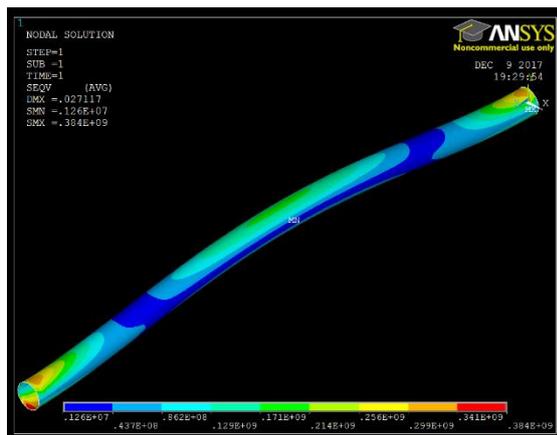


Рис. 3 – Напряжение по Мизесу

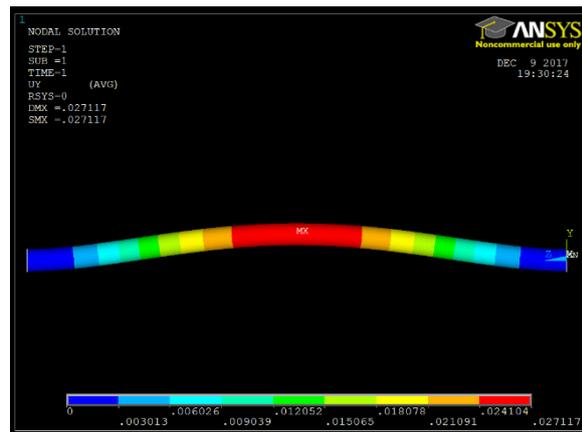


Рис. 4 – Деформации, возникающие при выпучивании участка трубопровода

Результаты полученные в ходе моделирования позволяют сделать следующие выводы:

- изменение значения напряжений, которые возникают при морозном вспучивании грунта, достигает величины, близкой к пределу текучести, выбранной стали 09Г2С. В таком случае можно считать, что данная сталь не подходит и необходимо применять более прочную сталь, к примеру сталь марки К65 с внутренним гладкостным покрытием;
- численные значения напряжений изменяются по длине газопровода. Прилегающие части трубопровода в участках плотного закрепления в грунте характеризуются максимально повышенным значением напряжения. Решениями данной проблемы являются: термостабилизация грунта в местах морозного пучения, а также применение специальных технологических плавающих опор.

Литература

1. Цытович Н.А. Основания и фундаменты. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1970. – 240 с.
2. Шутов В.Е., Васильев Г.Г. Механика грунтов. – М.: Изд-во «ЛОРИ». – 2003. – 126 с.
3. Дейнеко С.В. Оценка надежности газонепроводов. Задачи с решениями. – М.: Изд-во «Техника», 2007. – 80 с.