

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОЛОЖЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

П.В. Бурков, О.В. Ключ, А.Г. Шатров

Научный руководитель профессор П.В. Бурков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Россия

Целью данной работы является исследование напряжённо-деформированного состояния подземных трубопроводов, проложенных в условиях вечной мерзлоты. На трубопроводах в России каждый год происходит около 40 тысяч аварий и отказов, несмотря на то, что проблема надёжности магистральных трубопроводов постоянно в центре внимания служб нефтегазовых отраслей. Основная часть аварий происходит из-за воздействия на трубопроводы непроектных нагрузок. По этой причине, при определении технического состояния трубопроводов необходимо контролировать изменение напряжённо-деформированного состояния в процессе эксплуатации. Одним из нескольких основных факторов, которые определяют надёжность эксплуатации подземных нефтепроводов, является взаимодействие с грунтами, которые их окружают. Воздействие со стороны грунта может быть осуществлено химическим, влажностным, тепловым, коррозионным, биологическим, силовым способами. В свою очередь, нефтепровод оказывает влияние на окружающий грунт через постоянные нагрузки (вес трубы, её давление на грунт и т.д.) и временные длительные, которые обусловлены изменением температуры и давления перекачиваемых продуктов по длине трассы. Дополнительные нагрузки, которые воздействуют на период эксплуатации, приводят к быстрому износу трубопроводов. Самыми распространёнными и опасными являются непроектные нагрузки со стороны опорной системы и нагрузки, которые возникают под воздействием внешних источников (сезонные подвижки грунта, оползни) и при проектировании учесть которые невозможно. Выявлять действие непроектных нагрузок возможно на стадии строительства и в период эксплуатации путем измерения и расчета напряжённо-деформированного состояния трубопроводов. В основном строительство трубопроводов на мёрзлых грунтах происходит в такой период, когда грунты находятся в мёрзлом состоянии, по той причине, что при сезонном оттаивании строительной технике практически невозможно двигаться вдоль трассы. Первоначальное состояние подземного трубопровода определяется положением трубы, уложенной в мерзлый грунт, и напряжённо-деформированное состояние трубопровода должно быть рассчитано с учётом физико-механических свойств мёрзлого грунта. Когда происходит ввод трубопровода в эксплуатацию при температурах продукта выше 0°C, мёрзлый грунт под трубопроводом начинает оттаивать, причём, вследствие изменений физико-механических свойств грунта вдоль линии трубопровода в различных сечениях труб размер и оттаивание будут разными. Это приводит к провисанию участков, изгибам, большим пространственным перемещениям (чаще всего с потерей продольной устойчивости), и при определенных условиях трубопровод может разрушиться. В результате происходит рост напряженного состояния. Проведение расчётов на прочность с учётом реальных условий работы трубопровода является одним из главных элементов, который поможет поддерживать трубопровод для надёжной эксплуатации. В таком случае основной задачей при расчёте прочности трубопроводов является определение напряжённо-деформированного состояния под воздействием нагрузок и воздействий, возникающих от внешних источников. Расчёт напряжённо-деформированного состояния участка подземного трубопровода проводится методом конечных элементов, реализованном в программном комплексе ANSYS. Участок трубопровода располагается на территории с наиболее холодной пятидневкой от – 46 до – 49 °С, поэтому приняты трубы в северном исполнении:

1. класс прочности – К56;
2. диаметр – 820 мм;
3. толщина стенки – 14 мм;
4. внутреннее давление – 9,2 Мпа;
5. длина трубопровода – 12 м;
6. марка стали – 09Г2ФБ

В качестве независимых параметров для упругих характеристик материала можно использовать модуль Юнга $E = 2,06 \cdot 10^{11}$ и коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$. При определении напряжённого состояния участка трубопровода необходимо учитывать все кольцевые напряжения от внутреннего давления и продольные осевые напряжения, которые происходят от нагрузок и воздействий. В результате расчётов получаются трёхмерные картины распределения характеристик наиболее напряжённых участков трубопровода с учётом всех действующих нагрузок на данную конструкцию. При определении напряжённого состояния участка трубопровода учитываются кольцевые напряжения от внутреннего давления и продольные осевые напряжения от всех нагрузок и воздействий.

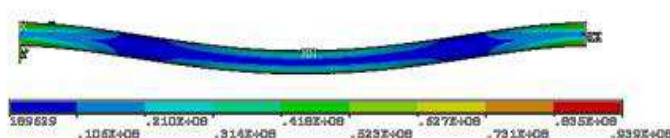


Рис. 1 Напряжение по Мезису участка подземного трубопровода, проложенного в зоне вечной мерзлоты

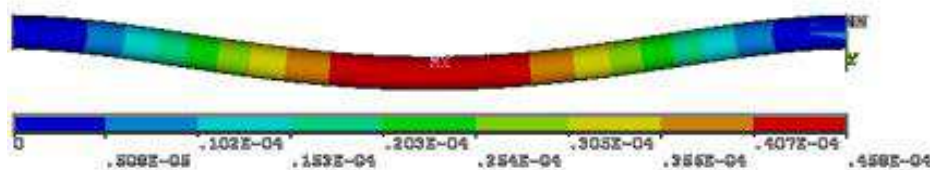


Рис. 2 Деформация участка подземного трубопровода по Мезису

Прогиб в месте закрепления отсутствует. График нормального прогиба представлен на рис 3:

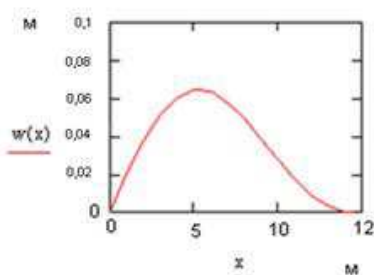


Рис. 3 Нормальный прогиб
 x – длина трубопровода, м; $W(x)$ – величина нормального прогиба, м. Максимальное значение прогиба соответствует $W_{\max} = 0,06\text{м}$ при удалении от края сопряжения на 5 м

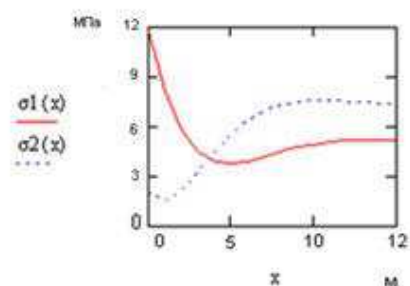


Рис. 4 Распределение продольных и кольцевых напряжений
 x – длина трубопровода, м; σ_1 – продольные напряжения, МПа; σ_2 – кольцевые напряжения, МПа

Наибольшее значение продольных напряжений соответствует в точках закрепления, то есть величина продольного напряжения у внутренней стенки нефтепровода в этих точках превышают предел текучести материала. Несущая способность трубопровода в точках закрепления будет исчерпана, когда давление в нефтепроводе превысит предельное значение, при котором все поперечное сечение будет охвачено пластической деформацией. Информация, полученная в результате оценки напряжённо-деформированного состояния линейной части магистральных нефтепроводов, позволяет определить участки с предаварийной ситуацией (в том числе до появления дефектов) и предпринять все необходимые меры для их устранения, повышая тем самым надёжность трубопроводной системы. Расчёты показывают, что при выпучивании или просадке отдельных участков трубопровода происходит появление недопустимых напряжений. При сильных просадках на участках трубопровода начинают возникать пластические деформации. По этой причине, проведение оценки НДС и определение сильно нагруженных участков трубопроводов с учетом динамических и статических нагрузок, действующих во время эксплуатации, крайне важный фактор в определении условий для безопасного использования трубопровода. С целью повышения эксплуатационной надёжности трубопроводов, необходимо своевременно проводить техническую диагностику и анализировать НДС, используя метод конечных элементов.

Литература

1. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д.Г.Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.: ил.
2. Безухов Н.И., Лужин О.В. Приложение методов теории
3. упругости и пластичности к решению инженерных задач. М.: Высшая школа, 1974. – 204 с.
4. Курочкин В.В., Малюшин Н.А., Степанов О.А. Эксплуатационная долговечность нефтепроводов. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 231с.
5. СНиП 2.05.06-85
6. П.В. Бурков, О.В. Ключ, С.П. Буркова Исследование напряжённо-деформированного состояния подземных трубопроводов проложенных в условиях вечной мерзлоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 062. – С. 184–190.
7. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512с.