

диапазон проведения работ по уплотнению грунта после его увлажнения; снизить требования к равномерности увлажнения грунта, как по глубине, так и по площадке уплотнения.

#### Литература

1. Бартоломей А.А. Механика грунтов. М.: АСВ, 2003. – 304с.
2. Потапов А.Д., Платов Н.А., Лебедева М.Д. Песчаные грунты: Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 256 с.
3. РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04. Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000 – 50000 куб.м. – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2004. – 141 с.
4. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий / Госстрой России. – М.:ФГУП ЦПП, 2006. – 66 с.
5. СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты / Госстрой России. – М.:ФГУП ЦПП, 2004. – 74 с.
6. Ставницер Л.Р. Деформации оснований сооружений от ударных нагрузок. М.: Издательство литературы по строительству, 1969. – 201с.

### ВЛИЯНИЕ ТИПА ГРУНТА НА ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕНКИ ТРУБОПРОВОДА

Н.Н. Урустемов

Научный руководитель профессор П.В. Бурков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Россия является страной с самой большой протяженностью трубопроводов в мире. Общая протяженность превышает 250 тыс. км. Важной задачей на сегодняшний день для нефтегазовых компаний является обеспечение безопасности трубопроводного транспорта. Особую трудность представляют подземные части магистральных трубопроводов, которые были проложены в сложных климатических условиях. Отказы и аварии трубопроводов, проложенных в данных условиях, происходят, наряду с другими факторами, из-за их чрезмерного изгиба, который сопровождается нестабильным положением системы грунт-труба-жидкость (газ) и неравномерной осадкой. Для предотвращения аварий трубопроводов, которые могут случиться из-за их чрезмерных изгибов, устанавливаются климатические условия, параметров эксплуатации, влияние грунтов, а также находят потенциально опасные участки. Для нахождения этих участков, наряду с техническими средствами, осуществляют расчетным путем из решения задачи прочности и устойчивости. В виду выше сказанного сложность и актуальность данной темы очевидна.

Целью данной работы является моделирование влияния типа грунта на изменение напряженно-деформированного состояния стенки трубопровода, учитывающего различные характеристики грунта. Для достижения поставленной цели формулируются следующие задачи: рассчитать нагрузки, действующие на стенку трубопровода, построить расчетную модель в САЕ – среде ANSYS Workbench. Для расчета напряженно-деформированного состояния трубопроводов рассматриваются 3 типа грунтов, в зависимости от характера изменения свойств под воздействием внешних сил: недеформируемые, упругие и пластичные среды. Недеформируемые среды не изменяют свой объем при воздействии внешней силы. Упругие среды изменяют свой объем линейно и полностью восстанавливаются после ликвидации действующей силы. Пластичные среды деформируются и остаются в этом изменении объема. Вместе с тем, чтобы найти как будет изменяться состояние грунта используют наиболее простые расчетные модели грунтов: для расчетов конечных напряжений и стабилизированных осадок – теории линейного деформирования грунта; для расчетов развития осадок во времени – теории фильтрационной консолидации грунта; для расчетов несущей способности, прочности, устойчивости и давления грунта на ограждения – теории предельного напряженного состояния грунта. В качестве исходных данных к расчету напряженно-деформированного состояния трубопровода было взято типичное проектное решение, основанное на технических требованиях СНиП 2.05.06-85\*. Магистральные трубопроводы. Общие параметры трубопровода: внутренний диаметр  $d$  – 530 мм., толщина стенки  $\delta$  – 11мм., длина трубопровода  $L$  – 12м., глубина залегания по верхней образующей  $h_0$  – 1,5 м., плотность природного газа  $\rho_r$  – 0,770 кг/м<sup>3</sup>, рабочее давление  $P$  – 8,5 Мпа. Характеристики первого грунта: тип – песок мелкозернистый, удельный вес  $\gamma$  – 19000 Н/м<sup>3</sup>, угол внутреннего трения  $\phi_{гр}$  – 24°, модуль деформации  $E$  – 48 Мпа, сцепление грунта  $c$  – 0. Характеристики второго грунта: тип – глина мягко-пластичная, удельный вес  $\gamma$  – 18000 Н/м<sup>3</sup>, угол внутреннего трения  $\phi_{гр}$  – 0°, сцепление грунта  $c$  – 21. После расчета всех геометрических параметров исследуемого участка трубопровода, необходимо задаться нагрузками, действующими и со стороны грунта, и со стороны транспортируемого продукта, изоляционного покрытия и металла трубы, а также давлением, действующим на внутреннюю поверхность стенки. Все расчеты проведены согласно исходным данным, а также рекомендациям по проверке прочности и устойчивости магистральных газопроводов. Одна из особенностей данного расчета состоит в использовании соотношений, дающих величину в размерностях силы - Н. Это связано с тем, что моделирование напряженно-деформированного состояния трубопровода проводилось в среде ANSYS Mechanical, где данный вид нагрузок удобнее задавать в размерностях силы.

Результаты, полученные по расчетной модели в САЕ – среде ANSYS Workbench, представлены на рисунках 1,2,3,4. На рисунках 1 и 2 – по расчету НДС трубопровода в упругой среде (песчаник), на рисунках 3 и

4 – по расчету НДС трубопровода в упруго-пластичной среде (глина). По осям абсцисс указаны точки длины трубопровода в м, по осям ординат – эпюры напряжения в Ньютонах и деформации в метрах.

Участки трубопровода, расположенные в зоне перехода слабых грунтов и грунтов, обладающих достаточно большой несущей способностью, характеризуются повышенным уровнем напряжения, что может привести к аварийным ситуациям.

Корректное задание модели грунта при расчете трубопровода является основной задачей при моделировании подземных трубопроводов, так как именно характеристики грунта (механические свойства) определяют напряженно-деформированное состояние магистральных трубопроводов.



Рис. 1. Эпюра напряжения, возникающее в трубопроводе в упругой среде

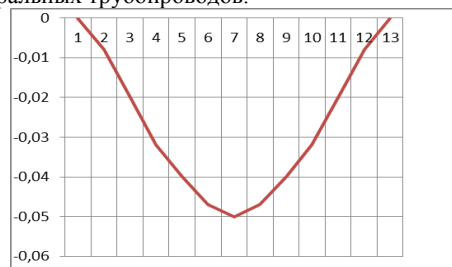


Рис. 2 Эпюра деформаций, возникающих в трубопроводе в упругой среде

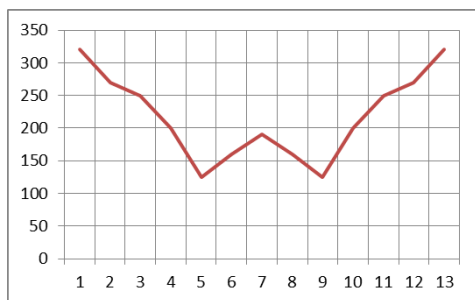


Рис. 2. Эпюра напряжения, возникающая в трубопроводе в упруго-пластичной среде

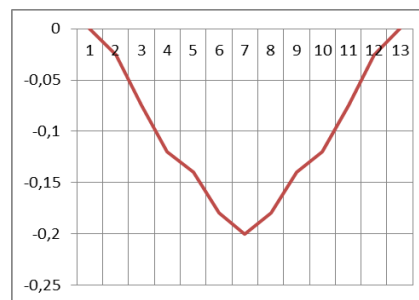


Рис. 3. Эпюра деформаций, возникающая в трубопроводе в упруго-пластичной среде

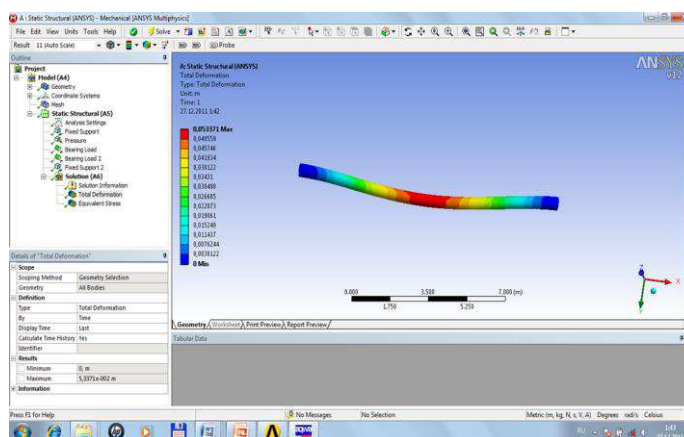


Рис. 5. Модель трубопровода в Ansys Workbench

В ходе данной работы были рассчитаны нагрузки, действующие на стенки трубопровода, построена расчетная модель в CAE – среде ANSYS Workbench (см. рис. 5) и построены графики по полученным результатам.

#### Литература

1. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепродуктопроводов. Учебное пособие для ВУЗов. В.Е. Губин, П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов. Изд-во «Недра». 1968 – 154 стр.
2. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Учебное пособие для ВУЗов. П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак, А.М. Шаммазов. Уфа. ООО «Дизайн Полиграф Сервис». 2002 – 658 стр.

3. Строительные нормы и правила (СНиП) 2.05.06-85\* «Магистральные трубопроводы».
4. Типовые расчеты при сооружении трубопроводов. Л.А. Бабин, П.Н. Григоренко, Е.Н. Ярыгин. М. Недра. 1995 – 245 стр.
5. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: учебник для вузов/А.А. Коршак, А.М. Нечваль – СПб.: Недра, 2008 – 486 с.: ил.
6. Технология сооружения газонефтепроводов. Под ред. Г.Г. Васильева Т.1.: Учебник. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. – 632с.

### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГАЗОПРОВОДОВ ПРИ БАЛЛАСТИРОВКЕ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

В.Е. Быковский, Э.Н. Михайлова

Научный руководитель профессор П.В. Бурков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Напряженно-деформированное состояние любого несущего элемента линейной части магистрального газопровода однозначно определяется характеристиками воздействующих на него нагрузок. Эти нагрузки изменяются в зависимости от характеристик окружающей среды, параметров перекачиваемого продукта и т.д. Для линейной части трубопроводов основными являются из нагрузок давление грунта, внутреннее давление, собственный вес труб и продукта, и воздействий – температуры, пучение и просадка грунта, давление оползающих грунтов.[1]. Проблема обеспечения устойчивости магистрального газопровода на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации является важнейшей требующей для своего обобщения мирового и отечественного опыта эксплуатации магистрального газопровода в разнообразных условиях, разрешения проведения комплексных исследований, анализа созданных технических решений по методам закрепления и прокладки закрепления трубопроводов.[2]

Цель работы - компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния линейной части магистрального газопровода «Майя-Табага-Чурапча-Ытык-Кюель» в Республике Саха (Якутия). В связи со сложными и разнообразными геологическими, геокриологическими и геоморфологическими условиями прохождения трассы газопровода «Майя-Табага-Чурапча-Ытык-Кюель» (многолетнемерзлые грунты с многообразными явлениями криогенеза), в проекте предусматриваются: подземная укладка трубопровода, полузаглубленная и наземная в обваловке на участках трассы, сложенных подземными «погребенными льдами». Выполнение прочностных расчетов с учетом действительных условий работы трубопровода является основным элементом, обеспечивающим поддержание его высоконадежной работы. Основная задача расчета магистрального трубопровода на прочность является определение напряженно-деформированного состояния, обусловленного нагрузками, возникающими от внешних источников. Участок магистрального газопровода проходит по территории распространения многолетнемерзлых грунтов с абсолютной минимальной температурой от  $-64$  до  $-66^{\circ}\text{C}$ , поэтому трубы используются северного исполнения. Для закрепления газопровода на проектных отметках и предотвращения всплытия на обводненных участках, в проекте, в соответствии с требованиями СНиП 2.05.06-85\*, ВСН 007-88 «Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Конструкция и балластировка», предусмотрены следующие способы и средства балластировки:

- железобетонными грузами;
- минеральным грунтом разработки.

На обводненных участках распространения просадочных грунтов с льдистостью 30-50% (просадочность II типа), на всех водотоках по уровню 1%УВВ-утяжелителями 1-УБКМ-426-9 ТУ 102-421-86 весом комплекта 1,320 т, объемом  $V=0,55 \text{ м}^3$ , железобетонными седловидными грузами АСГ-300 ТР-796-6 весом комплекта  $P=0,3$  т, объемом  $V=0,14 \text{ м}^3$ . Средний шаг установки утяжелителей 1 УБКМ-426-9 весом 1,32 т составляет 6,37 метра (рис. 1), железобетонных седловидных грузов весом 0,3 т, составляет 2,0 метра.



Рис. 1. Схема балластировки трубопровода утяжелителем типа 1-УБКМ-426-9

Для определения в стенке трубы напряжений и установления диапазона изменения численных характеристик процессов, влияющие на деформацию, проводится расчет напряжений (на прочность), возникающих при балластировке трубопровода в многолетнемерзлых грунтах.

Исследуется участок трубопровода со следующими параметрами:

- диаметр – 400 мм;
- толщина стенки – 8 мм;
- внутреннее давление – 5,5 МПа;
- марка стали – 09Г2С.