

ПРИМЕНЕНИЕ КРИОГЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Е.П. Васильев

Научный руководитель - профессор П.В. Бурков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Многолетнемерзлые грунты (ММГ) имеют большую зону охвата в северных частях России. Мерзлота весьма чувствительна к изменениям температурного режима. Мерзлые грунты, служащие прочным фундаментом, после нескольких теплых сезонов теряют свою несущую способность, из-за чего возможно всплытие, просадка, поперечное смещение и деформация трубопроводов. Очень важно обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию магистрального трубопровода при наличии таких природно-климатических условий, Важность этой задачи трудно переоценить [5].

Цель работы. Исследование влияния криогелей на надежность подземного трубопровода в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов.

Мерзлыми называются все грунты, имеющие отрицательную либо нулевую температуру и лед в своей структуре. Их относят к многолетнемерзлым грунтам, если они в течении трех или более лет находятся в мерзлом состоянии. В зоне распространения ММГ грунт имеет поверхностный слой, склонный к сезонному оттаиванию и промерзанию. Его называют деятельным слоем. В нем происходят большинство опасных явлений: пучение, термокарст, наледеобразование, солифлюкция и т.п. [3].

При эксплуатации трубопровода в условиях Крайнего Севера проявляются два типа проблем: проблемы из-за оттаивания мерзлого грунта (воздействие тепла транспортируемого продукта, нарушение растительного покрова и т.д.); проблемы из-за пучения грунта во время холодов. Все эти процессы препятствуют надежной и безопасной эксплуатации трубопроводов, а именно: нарушают проектное положение трубопроводов, при этом перемещения часто превышают предельные значения, что является причиной разрушения наземных и подземных конструкций. Оттаивание деятельного слоя ММГ, являющегося фундаментом магистрального трубопровода, вызывает разнородность механических свойств на всем протяжении трубопровода. Это приводит к неравномерной просадке основания. В свою очередь, неравномерная просадка способствует образованию неравномерных нагрузок на магистральный трубопровод. Из-за чего вероятность нарушения целостности трубопровода резко возрастает [1].

В данный момент эксплуатация и прокладка магистральных трубопроводов в зонах распространения ММГ обрела большую важность в связи с политикой правительства РФ, заключающейся в развитии восточной части страны. В частности, из-за окончания масштабного международного строительства магистрального газопровода «Сила Сибири», значительная часть которого проложена в зоне ММГ. Вследствие резко континентального климата Республики Саха (Якутия), в республике почти повсеместно распространена зона распространения ММГ. На формирование этой зоны благотворно влияют низкая температура зим и малая мощность снежного покрова в Якутии. С приходом холодных сезонов, грунты здесь отдают большую часть тепла и замерзают на большую глубину. В итоге они превращаются в мерзлоту. В летний период грунт не полностью успевает оттаять, поэтому на малой глубине отрицательная температура сохраняется в течение сотен и тысяч лет [2]. В области рассматриваемой зоны опасные геологические явления и процессы имеют высокую интенсивность. Поэтому исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопровода в зоне распространения вечной мерзлоты является важной задачей.

В ходе выполнения работы была создана конечно-элементная модель трубопровода (Static Structural) в ANSYS 19.2 с соответствующими размерами ($D_n = 820 \times 14$ мм, $P_{раб} = 2,5$ МПа, $L = 12$ м) и параметрами стали (K56). Также для модели трубы была создана конечно-элементная сетка с размером сеток 200 мм. В итоге были получены общая деформация и эквивалентные напряжения по Мизесу (рис. 1 и 2).

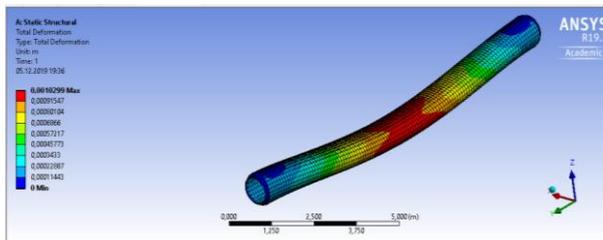


Рис. 1 Общая деформация

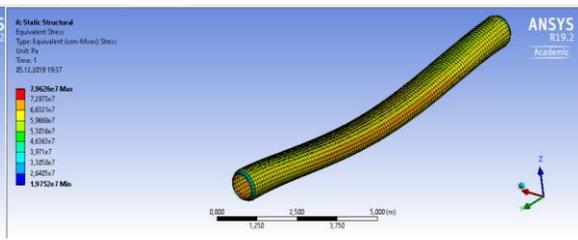


Рис. 2 Эквивалентные напряжения по Мизесу

При проседании трубопровода образуются концентраторы напряжений в местах закрепления трубопровода (79,6 МПа) и образуются перегибы трубопровода, с максимальными деформациями в середине провисающего трубопровода (1,03 мм). При низких давлениях перекачиваемого продукта угроза разрушения трубопровода отсутствует (временное сопротивление разрыву в 550 МПа не превышено). Проявление недопустимых пластической деформаций также отсутствует (предел текучести в 390 МПа не превышен), упругие деформации при снятии нагрузки исчезнут.

Однако при высоких давлениях перекачки и при просадке трубопровода вероятность разрыва трубы, образования гофр, образования трещин и других дефектов довольно высока. Для предотвращения просадок трубопровода необходимо снизить тепловое воздействие трубопровода на грунт, препятствовать разрушению растительного и снежного покрова, и т.д. Для сокращения просадок можно применять криогели.

Структурированные полимерные физические тела, называемые гелями, могут быть охарактеризованы как системы из полимер-иммобилизованного растворителя, в составе которых макромолекулы соединены в пространственную сетку достаточно устойчивыми во времени нефлуктуационными связями. Установлено, что все типы гелеобразования, протекающие в среде растворителя, можно реализовать также и в криогенном варианте при подходящих режимах замораживания, выдерживания в замороженном состоянии и оттаивания.

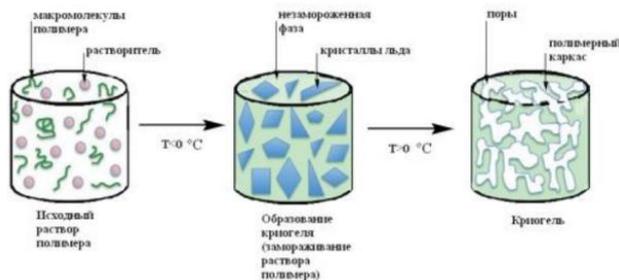


Рис. 3 Цикл «замораживание-оттаивание» криогеля

Неглубокое замораживание систем «растворитель – гелеобразующий полимер» приводит к фазово-неоднородным системам, включающим незамерзшую жидкую микрофазу. Если исходный препарат содержит гелеобразователи, то полимерный каркас криогеля формируется как раз в таких незамерзших микрообластях замороженного образца. После оттаивания замороженного препарата получается макропористый криогель, содержащий крупные поры разной величины и геометрии [4].

В ходе выполнения работы были проведены испытания грунта с криогелем (суглинок влажностью 30 %, криогель (поливинилловый спирт, ПВС) 1, 2 и 3 % мас.).

Такой грунт наиболее часто встречается на территории Республики Саха (Якутия).

Таблица

Результаты испытаний образцов

| Масс. доля ПВС, % | 1 % | 2 % | 3 % |
|------------------------------------|--------|--------|--------|
| <i>c</i> , кПа (коэфф. сцепления) | 8 | 13 | 17 |
| <i>φ</i> , град (угол вн. трения) | 4,28 | 7,74 | 10 |
| <i>E</i> , кПа (модуль деформации) | 1034,5 | 757,6 | 717,7 |
| | 1621,6 | 1507,5 | 1357,5 |
| | 2173,9 | 2083,3 | 1960,8 |
| | 3000,0 | 2564,1 | 2608,7 |
| | | 3529,4 | 3125,0 |



Рис. 4 Установки для испытания грунта



Рис. 5 Загрузка образцов

АКР – 2 и СПКА

Выводы. Результаты проведенной работы показали, что проблему повышения надежности магистральных трубопроводов в зоне многолетней мерзлоты может решить перспективная методика борьбы с колебаниями проектных высотных положений трубопроводов – применение криогелей.

Литература

1. Анисимов В. В. Строительство магистральных трубопроводов в районах вечной мерзлоты / В. В. Анисимов, М. И. Криницин. – Л.: Гостоптехиздат, 1963. – 147 с.
2. Андреев А.А. Природные условия строительства участка магистрального газопровода "Сила Сибири // Вестник магистратуры. – Йошкар-Ола, 2016 – № 3-1 – С. 22 – 29.
3. Дерцакян А.К., Васильев Н.П., Строительство трубопроводов на болотах и многолетнемерзлых грунтах. – М.: Недра, 1987 – 167с.
4. Лозинский В.И. Криогели на основе природных и синтетических полимеров: получение, свойства и области применения // Успехи химии. – Москва, 2002. – № 6 – С 559 – 585.
5. Транснефть. Энциклопедия технологий. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://discoverrussia.interfax.ru/wiki/53/>, свободный – (07.02.2020).