

Рис.1 Автоматизированный процесс производства [5]

Предлагаемая технология оборудована системой управления SCADA, которая позволяет регулировать основными параметрами и обрабатывать базу данных дистанционно. Для оптимизации технологического процесса следует установить датчики OneWireless модели XYR 6000, которые отправляют необходимые сведения на сервер системы управления SCADA [5]. Контроль параметров нагревателей и датчиков управляется с помощью оператора.

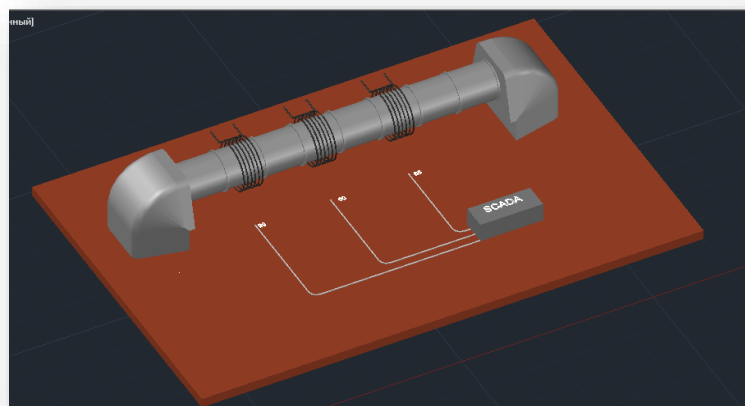


Рис.3 Схема технологии автоматизированного индукционного нагрева

Автоматизация нагрева нефтепровода позволяет сократить потери энергии на транспортировку и регулировать необходимую температуру всего потока перекачиваемой нефти, что увеличивает ресурсоэффективность производственного процесса.

Литература

1. Методы перекачки высоковязких и высокозастывающих нефтей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:<http://borpak.ru/stati/metodi-perekachki-visokovyazkix-i-visokozastivayushix-nefteie-inefteproduktov.html>
2. Нефти станут легче. Российская газета - Федеральный выпуск № 276(8034), Сергей Тихонов.
3. Системные исследования в энергетике: методология и результаты / Под ред. акад. А.А. Макаров, чл.-корр. Н.И. Воропай. М.: ИНЭИ РАН, 2018. 309 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.eriras.ru/files/sistemnye_issledovaniya_-mch-.pdf
4. Структура добычи нефти: прогноз Минэнерго, 2015 –2035 гг. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ngv.ru/magazines/article/triz-i-nalogi/>
5. SCADA система MasterSCADA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://insat.ru/products/?category=9>

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ «ПОДЗЕМНЫЙ ТРУБОПРОВОД – ГРУНТ»

Рюмкин К.К., Волков А.Э.

Научный руководитель - доцент Н.В. Чухарева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Подземная прокладка нефтепровода (НП) является наиболее распространённой (более 95% от общего объема сооружаемой линейной части) [1]. Несмотря на достаточную изученность и повсеместное практическое применение данного способа прокладки, в настоящее время, происходит множество аварий, связанных с потерей герметичности трубопровода. По сведениям Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, в 2019 году в России было зафиксировано 819 случаев разлива нефти на общей площади около 94 га [2]. При этом согласно отчетным документам Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по прошедшим авариям за 2020 год

распространенной причиной таких серьезных аварий является образование коррозионных трещин вследствие разрушения изоляционного слоя трубопровода и его контакта с грунтом. Для обеспечения безопасной эксплуатации необходим тщательный контроль за планово-высотным положением трубопровода. При перемещениях нефтепровода относительно своей оси необходим анализ его напряженно-деформированного состояния (НДС) для своевременного принятия мер по исключению развития деформации, которая может привести к разливу нефти.

В связи с вышеизложенным, актуальностью данной темы исследования является необходимость в нахождении модели взаимодействия системы «подземный трубопровод - грунт» для исследования напряженно-деформированного состояния и анализа последующих перемещений трубопровода.

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния участка подземного нефтепровода при просадке грунта и анализ его последующих перемещений.

Задачи:

- 1) Предложить модель взаимодействия системы «подземный трубопровод – грунт»
- 2) Исследовать напряженно-деформированное состояние трубопровода с целью определения характера и значений максимальных напряжений в местах перегиба;
- 3) Проанализировать дальнейшие перемещения трубопровода вследствие развития просадки грунта.
- 4) Предложить возможные меры по устранению дальнейшей деформации нефтепровода.

Наиболее распространённым способом исследования и прогнозирования напряженно-деформированного состояния трубопровода является моделирование методом конечных элементов для анализирования его перемещений под влиянием эксплуатационных нагрузок.

Моделирование трубопровода и исследование проводились с помощью универсальной программной системы конечно-элементного (МКЭ) анализа ANSYS. Выбор данного программного комплекса обуславливается возможностью моделирования взаимодействия системы «труба - грунт».

Для реализации выбранного способа анализа нефтепровод задается балочными элементами. Исследуемая часть трубопровода моделируется конечными элементами в виде балок кольцевого поперечного сечения. Задаются следующие входные данные: диаметр трубопровода 530 мм, толщина стенки 9 мм, давление в нефтепроводе 6 МПа, плотность грунта во время проектирования 2010 кг/м³, средняя высота грунта над верхней образующей трубопровода – 1,8 м, материал трубопровода – 13ХФА. При проведении исследования учитываются перемещения трубопровода по оси Z в соответствии с таблицей 1 и карта прокладки нефтепровода (рис.1).

Таблица 1

Результаты геодезических наблюдений

Имя марки	Дата наблюдений		
	07.04.2020	16.10.2020	
	Абс. отметка марки, м	Абс. отметка марки, м	+/- от начального, мм
M4	13,739	13,598	-141
M5	14,282	14,253	-29
M6	13,686	13,505	-181
Примечание	Система высот: условная		

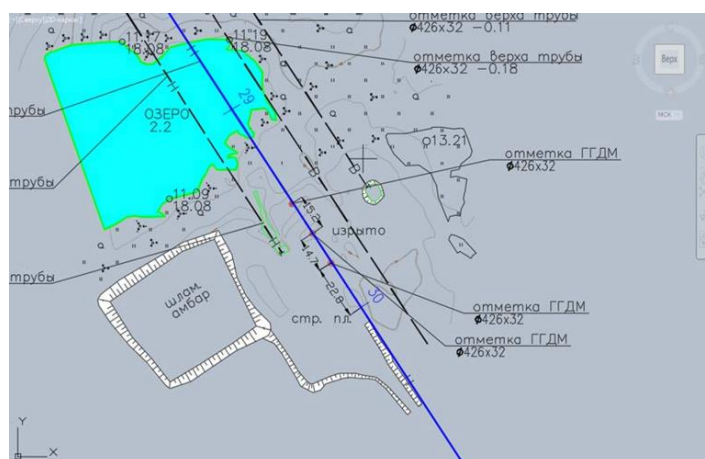


Рис.1 Карта прокладки подземного нефтепровода

На основании карты (рис.1) было задано расположение каждой геодезической марки и расстояния между ними. Продольный разрез геометрической модели заданного нефтепровода представлена на рис.2.

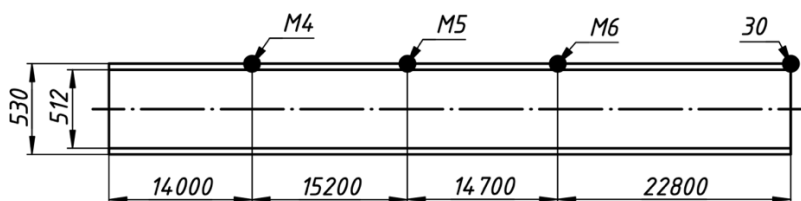


Рис.2 Продольный разрез геометрической модели

Для исследования НДС трубопровода были рассчитаны суммарные нагрузки на подземный трубопровод. Нагрузки согласно [4] классифицируются на несколько видов. В работе были учтены постоянные и длительные нагрузки: вес трубы, давление грунта, расположенного выше верхней образующей трубы, вес транспортируемого сырья и давление в трубопроводе. Расчет нагрузок был произведен с учетом коэффициента надежности по нагрузке.

По результатам анализа напряжений можно свидетельствовать о появлении продольных напряжений в местах перегиба. Определены максимальные численные значения напряжений, которые были сопоставлены с допустимыми и выявлено, что напряжения в точках М4 и М5 являются критическими.

Согласно [5] существует несколько причин разуплотнения грунта и способов предотвращения данных явлений. Применительно к исследуемой производственной ситуации, вероятной причиной возникновения просадки трубопровода является оттаивание грунта. При этом автор статьи [1] утверждает, что строительство подземных трубопроводов в оттаяном или оттаивающем грунте возможно, но при этом необходимо провести расчет НП на прочность и устойчивость с учетом напряжений от изгиба вследствие неравномерной осадки основания.

Проблема дальнейшей просадки трубопровода может быть решена путем применения термостабилизаторов грунта. За последнее время опубликовано достаточно большое количество патентов с данным изобретением, что обуславливает его актуальность. Так, авторами патента [6] была предложено устройство для обеспечения проектного положения НП при подземной прокладке в вечномёрзлом грунте, отличием которого являются буронабивные сваи, расположенные глубже ореола оттаивания и оборудованные термостабилизаторами. Авторами [7] было представлено устройство для термостабилизации мерзлого грунта, отличающееся тем, что в теплоизолированной емкости с теплоаккумулирующим материалом расположен дополнительный нагреватель, а емкость с теплоаккумулирующим материалом заглублена в мерзлый грунт. Авторами статей [8,9] предлагается применение сезонно-действующих охлаждающих устройств в зоне оттаивания грунтов. Это позволит поддерживать необходимую проектную температуру и тем самым использовать исследуемый трубопровод без рисков.

В соответствии с входными данными была предложена и создана модель системы «подземный трубопровод – грунт» методом конечных элементов с помощью программного комплекса Ansys. При анализе напряжений, возникших по причине смещения трубопровода по оси Z относительно начального положения, был определен характер и численные значения напряжений в местах расположения точек М4, М5 и М6. Были сопоставлены экспериментальные значения с допустимыми. Проведен анализ перемещений трубопровода вследствие развития просадки грунта.

Для обеспечения безопасной эксплуатации и предотвращения разгерметизации нефтепровода предложено применение сезонно-охлаждающих устройств и термостабилизаторов грунта.

Литература

1. Болуров Т. Х. Особенности проектирования и строительства трубопроводов в многолетнемерзлых грунтах // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2017. – Т. 1. – С. 754-759.
2. Хронология крупнейших случаев разлива нефти и нефтепродуктов в России. // URL: https://tass.ru/info/8641491?keepThis=true&TB_iframe=true&height=500&width=1100&caption=TACC
3. СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/550965720>
4. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456044318>
5. Костина О. В. Анализ и классификация методов анкерования фундаментов магистральных трубопроводов на разуплотненных грунтах // Master's Journal. – 2019. – №. 2. – С. 119-126.
6. Устройство для обеспечения проектного положения подземного трубопровода при прокладке в условиях многолетнемерзлых грунтов: пат. 2643914 Рос. Федерация: МПК E02D 27/46 / авторы Шамилов Х. Ш. [и др.]
7. № 2016147297; заявл. 01.12.2016; опубл. 06.02.2018, Бюл. № 4.
8. Устройство для термостабилизации мерзлого грунта: пат. 163882 Рос. Федерация: МПК E02D 3/00 / авторы Васильев Н.К. [и др.] № 2016104150/03; заявл. 09.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22
9. Урманова А. Р. ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТА //Аллея науки. – 2018. – Т. 8. – №. 11. – С. 59-63.
10. Борисова И. А. Анализ систем температурных стабилизаций вечномёрзлых грунтов //Научные исследования и современное образование. – 2019. – С. 69-73