

На практике обычно применяют комбинацию методов удаления АСП отложений. Рациональным решением при применении химического метода, а именно растворителя бензол+гексан, является последующая промывка трубопровода горячей жидкостью, связано это, как минимум, с двумя факторами: тепловой метод имеет ограничение по длине трубопровода (то есть не может промывать его на большие расстояния ввиду теплопотерь), что полностью удовлетворяет нашу ситуацию, так как модельный трубопровод – промышленный; обратная промывка отлично справляется с уже рыхлыми отложениями, оставшимися после применения растворителя, исключает образование парафиновых пробок.

Рациональное комбинирование химической обработки и использования горячей обратной промывки может значительно повысить эффективность эксплуатации трубопроводов и добиться снижения производственных затрат на транспортировку нефти.

#### Литература

1. ГОСТ 11851-2018 Нефть. Методы определения парафинов (с Поправкой) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200160491>
2. ГОСТ 6370-2018 Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей (с Поправкой) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200160609>
3. Распоряжение Минприроды России от 01.02.2016 N 3-р (ред. от 19.04.2018) "Об утверждении методических рекомендаций по применению Классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 01.11.2013 N 477". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_253923/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_253923/)
4. Трубопроводный транспорт углеводородов: материалы III Всерос. науч.- практ. конф. (Омск, 30 окт. 2019 г.)/Минобрнауки России, ОмГТУ. – С. 201. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41439470>
5. Иванова И. К., Шиц Е. Ю. Кинетические характеристики растворения компонентов асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в алифатико- ароматическом растворителе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, № 6, 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kineticheskie-harakteristiki-rastvoreniya-komponentov-asfaltosmoloparafinovyh-otlozheniy-aspo-v-alifatiko-aromaticheskom>

### **ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЕНСАТОРОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**Шахметов И.Н.**

Научный руководитель - доцент Н.В. Чухарева

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

Для увеличения уровня эксплуатационной надежности надземного трубопровода необходимо учитывать такой фактор, как влияние температуры окружающей среды на трубопровод, вследствие которого происходит его температурная деформация. Данные перемещения могут привести к повреждению технологических объектов, расположенных на трубопроводе, а также к увеличению давления на опоры, которое способно сдвинуть их с места или разрушить. Для предотвращения этого на трубопроводах создаются компенсационные участки – компенсаторы.

В связи с этим актуальным становится вопрос об обеспечении высокой надежности, безопасности, а также минимально возможной металлоемкости надземного участка трубопровода еще на этапе проектирования.

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) участка трубопровода с различными видами компенсаторов при изменении температуры окружающей среды.

Расчет НДС участка надземного трубопровода с компенсаторами проводился методом конечных элементов, реализованным в программном комплексе ANSYS. Данный расчетный комплекс нашел широкое применение при проектировании объектов нефте- и газотранспорта [4-6].

На данный момент наиболее распространенными типами компенсаторов, применяющимися при строительстве магистрального трубопровода, являются П, Г, Z - образные компенсаторы. Их недостатками являются высокая металлоемкость и большие размеры.

Для решения данной задачи был проведен патентный обзор и найдены два новых типа компенсатора, которые имеют меньшее применение при строительстве надземных магистральных трубопроводов. Так, авторами патента [2] был предложен дугобразный компенсатор, представляющий собой трубы холодного гнущья или отводы заводского изготовления с радиусом изгиба не менее пяти диаметров для возможности прохождения очистных и диагностических устройств. Авторами патента [3] предлагается строительство компенсатора по S-образной траектории с применением тех же труб холодного гнущья или отводов заводского изготовления. В результате возникает вопрос о прочностных и компенсационных свойствах данных компенсаторов в сравнении с наиболее распространенным типом компенсаторов, а именно П-образным.

Для проведения исследования был выбран участок действующего надземного трубопровода «N» с П-образным компенсатором, имеющий диаметр 530 мм с толщиной стенки 9 мм и рабочим давлением 4 МПа. Материалом трубопровода служит низколегированная конструкционная сталь 09Г2С. Параметрами компенсатора являются: расстояние между неподвижно закрепленными опорами 200 м, вылет компенсатора 12 м, длина полки компенсатора 27 м, радиус поворота оси трубопровода 2,5 м, плечо компенсатора 86,5 м.

Исследования влияния температуры окружающей среды на деформацию трубопровода проводилось серийой исследований при трех температурах – 0, +40 и –40 °С. Торцы трубопровода с обеих сторон имеют жесткое крепление. Так же полка компенсатора имеет жесткую фиксацию, и оба плеча компенсатора могут перемещаться только в

продольном направлении трубопровода, т. к. участок имеет подвижные опоры. Начальная температура окружающей среды +22 °С.

Согласно [1] для данной конструкции компенсатора было рассчитано максимально допустимое напряжение, которое составило 176 МПа. Тогда с учетом того, что предел текучести стали из которой изготовлен компенсатор, составляет 350 МПа, коэффициент запаса прочности П-образного компенсатора должен быть равен приблизительно 2.

Результаты исследования напряжений П-образного компенсатора приведены на рисунках 1-3. Как и предполагалось, максимальные полные напряжения возникают в области поворотов компенсатора. При +40 °С данная величина составляет 128,27 МПа, при 0 °С – 98,73 МПа и при -40 °С – 147,32 МПа. Все значения напряжений для исследуемых температур находятся в допустимых рамках, т.е. минимальный коэффициент запаса прочности составляет более 2, что говорит о способности компенсатора выдерживать данные нагрузки.

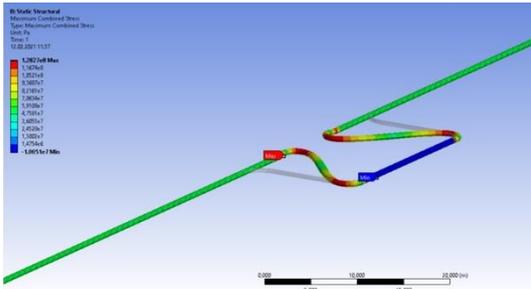


Рис. 1 Напряжения при +40 °С

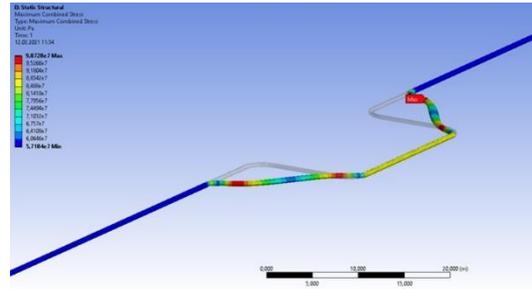


Рис. 2 Напряжения при 0 °С

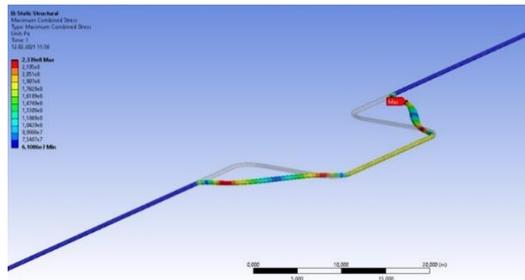


Рис. 3 Напряжения при -40 °С

Ввиду того, что полка данного компенсатора имеет жесткую фиксацию, перемещения возникают лишь в местах примыкания компенсируемых участков. При +40 °С происходит удлинение трубопровода и компенсатор испытывает сжимающее воздействие. Максимальное перемещение составляет 27,23 мм. При 0 и -40 °С происходит растяжение компенсатора ввиду сужения материала, которое происходит при падении температуры, и максимальное перемещение составляет соответственно 12,44 мм и 51,74 мм.

Для исследования НДС дугообразного и S-образного компенсатора были созданы математические модели. Плечи данных компенсаторов, а также диаметр, толщина стенки трубопровода и давление составляют те же величины как в случае и с П-образным компенсатором.

Таблица

Результаты исследований НДС трех типов компенсаторов

	Тип компенсатора		
	П-образный	S-образный	Дугообразный
Масса участка трубопровода совместно с компенсатором, кг.	25099	25132	24983
Температура +40 °С			
Максимальные перемещение конструкции, мм.	27,23	22,91	42,1
Максимальное полное напряжение, МПа.	128,27	80,31	112,63
Температура 0 °С			
Максимальные перемещение конструкции, мм.	12,44	9,95	19,23
Максимальное полное напряжение, МПа.	98,73	67,04	81,63
Температура -40 °С			
Максимальные перемещение конструкции, мм.	51,74	42,62	79,9
Максимальное полное напряжение, МПа.	147,32	103,22	132,63

Как видно из результатов исследований максимальные напряжения дугообразного и S-образного компенсатора составляют меньшие значения в сравнение с П-образным при их практически равной массе. Можно

сделать вывод о том, что применение данных компенсаторов позволяет увеличить компенсационные участки и, как следствие, снизить металлоемкость при строительстве трубопровода.

Также проведя аналитический расчет по [1] было установлено, что перемещения компенсатора зависят и от давления внутри трубопровода. Перемещение от его воздействия составляет 10,31 мм, и оно всегда положительно. Стоит отметить, что при отрицательной разности температуры компенсатор совершает большие перемещения, чем при положительной. Это объясняется большим градиентом температуры.

На основании полученных результатов можно заключить, что для снижения металлоемкости при проектировании и строительстве компенсационных блоков магистрального трубопровода возможно использование компенсаторов S-образного или дугообразного типа, т. к. при одинаковом весе в сравнении с П-образным компенсатором они испытывают меньшие напряжения, и как следствие, могут компенсировать большие участки. Это объясняется, в первую очередь, их геометрическими параметрами, которые позволяют более равномерно распределить напряжения в изгибах. Также их дополнительным преимуществом является то, что они в меньшей степени препятствуют прохождению средств очистки и диагностики, вследствие большого радиуса поворотов.

#### Литература

1. СП 36.13330 – 2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85 (с Изменениями № 1, 2. – М.: Госстрой ФАУ ФЦС, 2013. – 64 с.
2. Дугообразный компенсатор для трубопровода: пат. 141422 Рос. Федерация: МПК F16L 51/00 / авторы Мустафин Ф. М. [и др.] № 2013148693/06; заявл. 31.10.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.
3. S-образный компенсатор для трубопровода: пат. 95059 Рос. Федерация: МПК F16L 51/00 / авторы Шаммазов А. М. [и др.] № 2009148360/22; заявл. 24.12.2009; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 16.
4. Моделирование трубопроводов с помощью ANSYS – Обзор возможностей [Электронный ресурс] –Режим доступа: <https://www.ansys.soften.com.ua/about-ansys/blog/299-modelirovanie-truboprovodov-s-pomoshchyu-ansysobzor-vozmozhnostej.html>, свободный – (20.11.2020).
5. Ni L., Zhang S., Dai J. Force Analysis of  $\pi$ -type Compensator in Pigging Operation //JPhCS. – 2018. – Т. 1064. – №. 1. – С. 012047.
6. Xu Z. et al. Finite Element Analysis of Square-Shaped Compensator for Overhead Pipeline with Thermal Fluid-Solid Coupling //DEStech Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences. – 2018. – №. icner.