

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИТНОГО ТРУБОПРОВОДА

Стрюк С.О.

Научный руководитель - старший преподаватель В.П. Бурков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Согласно отчету, представленному одной из нефтедобывающих компаний Томской области, с момента ввода в эксплуатацию в 2011 году промышленного трубопровода одного из месторождений было зафиксировано 27 отказов. Отмечено, что 23 из 27 отказов приходится на 2017 год.

Характеристики рассматриваемого трубопровода следующие:

- наружный диаметр 325 мм;
- толщина стенки 8 мм;
- длина участка 20 км;
- давление на входе 2,8 МПа;
- материал 13ХФА.

В результате лабораторных исследований и гидравлического моделирования процесса работы нефтесборного трубопровода месторождения Томской области специалистами было установлено, что разрушение трубопровода происходит в результате протекания интенсивной локальной коррозии.

Интенсификация процесса коррозии обусловлена повышенным содержанием углекислого газа и кислорода в транспортируемой жидкости, наличием сульфатовосстанавливающих бактерий, отделением попутно-добываемой воды и распределением её по нижней образующей трубопровода на 40 – 50 % сечения.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра, мной были предложены мероприятия по повышению эксплуатационных свойств данного участка промышленного трубопровода. Одним из таких мероприятий, является замена традиционных стальных труб на композитные (стекловолоконные, базальтоволоконные) в рамках технического перевооружения данного трубопровода. Для исследования в этом направлении, Национальным исследовательским Томским политехническим университетом были приобретены восемь образцов композитных труб производства ООО «ПОТОК-М» [2].

Для определения возможности применения рассматриваемых композитных труб для замены стальных был проведен спектральный анализ образцов эпоксидной смолы всех закупленных труб. Результаты анализа подтвердили стойкость рассматриваемых труб к веществам, содержащимся в транспортируемом флюиде [2].

Для определения прочностных характеристик закупленных труб, были проведены испытания на растяжение в соответствии с инструкциями, представленными в [1]. Чтобы определить возможность применения рассматриваемых композитных труб, необходимо провести расчет и анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) катушки стекловолоконной трубы в условиях работы действующего стального трубопровода. С этой целью в программе Autodesk Inventor мной была построена CAD-модель катушки трубы. Расчет НДС проводился в программе Ansys.

При построении CAD-модели катушки использованы заводские параметры трубы из каталога труб ООО «ПОТОК-М»: наружный диаметр композитной трубы 327,7 мм, толщина стенки 13,7 мм, длина одной трубы 11 м. С целью упрощения построения модели было принято допущение об отсутствии резьбового соединения на торцах трубы, которое имеют реальные заводские трубы.

При загрузке CAD-модели в программу Ansys был выбран материал стекловолокно (Epoch S-Glass UD). Некоторые стандартные параметры используемого материала были заменены на параметры, представленные в документации производителя, а именно:

- Плотность (Density): 1960 кг/м³;
- Модули упругости (Young's Modulus):
 - по окружности 22,8 ГПа;
 - по оси 13,8 ГПа.
- Коэффициент Пуассона (низший) (Poisson's Ratio) составляющий 0,39.

Нагрузка для модели задана следующая:

- Давление транспортируемой среды, составляющее 2,8 МПа, приложенное к внутренней поверхности трубы;
- Расчетное давление грунта на трубу, составляющее 0,03 МПа, приложенное к внешней поверхности трубы по вертикальной оси Y.

При задании входных данных в программе Ansys были приняты следующие допущения:

- Отсутствует продавливание грунта под трубой. Установлено перемещение нижней образующей трубы равное нулю по вертикальной оси Y.
- Модель имеет следующие опоры: консольная заделка (Fixed support) с одного торца, и подвижная опора с запретом перемещения в продольном направлении трубопровода (Frictionless Support) с другого торца.
- Давление грунта на трубу учитывается только по вертикальной оси Y.

В результате расчетов в программе Ansys максимальное расчетное напряжение равно $\sigma_{\max} = 73,848$ МПа. Зафиксированы максимальные напряжения на торце трубы, со стороны Fixed Support, в зонах на 3 и 9 часов циферблата (рисунок 1, 2).

Максимальное общее перемещение составило $U_0 = 0,76$ мм. Максимальное перемещение наблюдается в зонах трубы, расположенных на 3 и 9 часов циферблата (рисунок 3).

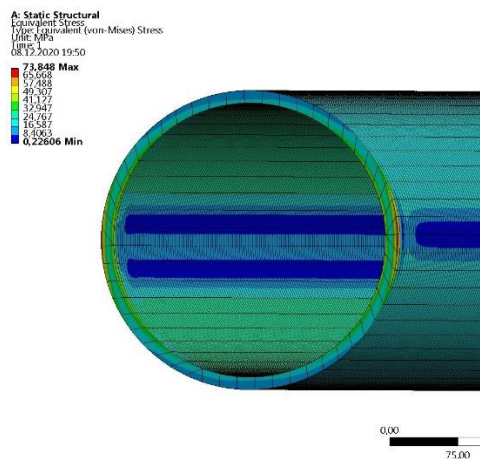


Рис. 1 Расчетные напряжения со стороны Fixed Support

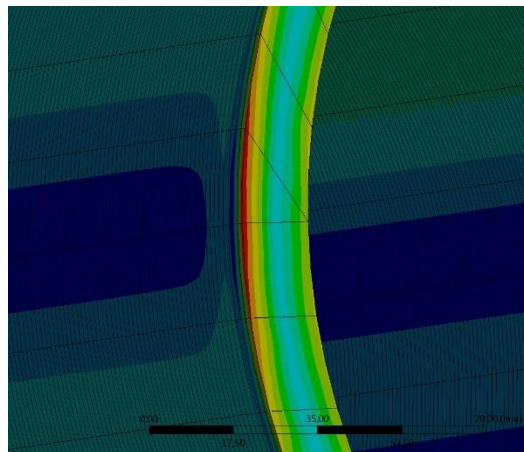


Рис. 2 Расчетные напряжения со стороны Fixed Support, масштаб увеличен

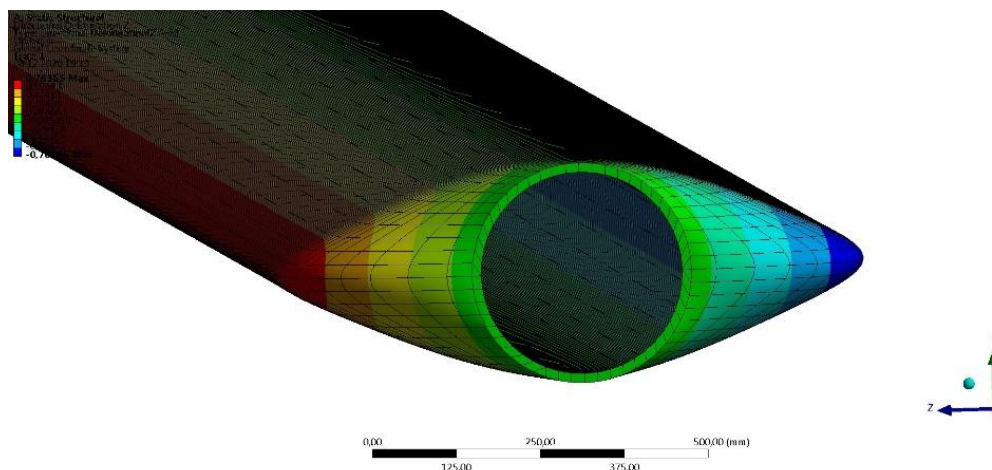


Рис. 3 Общий вид сдавливания трубы в увеличенном масштабе деформации

Таким образом, в результате моделирования НДС катушки композитной трубы было получено значение максимального расчётного напряжения. Для определения требуемой толщины стенки композитной трубы при рассматриваемых нагрузках, в зависимости от необходимого коэффициента запаса прочности, нужно учитывать результаты испытаний по определению минимального разрушающего давления труб разных диаметров (результаты испытаний на растяжение).

Литература

1. ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
2. Стрюк С. О. Разработка мероприятий, направленных на повышение эксплуатационных свойств промышленных трубопроводов в условиях высокой обводнённости транспортируемой среды: бакалаврская работа / С. О. Стрюк; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД); науч. рук. П. В. Бурков. — Томск, 2020.