

*Нуриахметов И.Р.,
студент кафедры «Технологические машины и оборудование»
2 курс, Механический факультет,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Россия, г. Уфа*

*Габбасова А.Х.,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технологические машины и оборудование»
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Россия, г. Уфа*

ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ КОМПЕНСАТОРОВ СИЛЬФОННОГО ТИПА

***Аннотация:** В статье рассматривается вопрос об оценке напряженно-деформированного состояния сильфонного компенсатора в ПК SolidWorks с учетом параметров перемещения трубопроводной системы.*

***Ключевые слова:** трубопроводная система, сильфонный компенсатор, напряженно-деформированное состояние.*

***Annotation:** The article deals with the bellows-type expansion joints stress-strain state calculation in SolidWorks taking into account the parameters of the pipeline system moving.*

***Key words:** pipeline system, bellows-type compensator, stress-strain state.*

Планируя системы трубопроводов, проектировщики учитывают целый ряд факторов, в том числе возможные напряжения и температурные деформации материалов трубопровода, и стараются защитить систему от нагрузок. Одним из способов увеличения срока эксплуатации трубопроводных систем является

использование компенсаторов. Они позволяют предотвратить всяческие изменения, которые протекают в трубах из-за постоянного перепада температур, давления и разного рода вибраций. Отсутствие компенсаторов на трубах может вызвать такие неприятные последствия, как деформация трубы, что в будущем приводит к разгерметизации трубопровода. Один из самых эффективных, но при этом довольно дорогостоящих компенсаторов является сильфонный компенсатор. Однако, сами сильфоны часто выходят из строя.

Основным элементом сильфонного компенсатора является сильфон. Сильфон компенсатора представляет собой гофрированную оболочку вращения под внутренним давлением жидкости. Сильфон может удлиняться или сжиматься под действием сил прикладываемых со стороны. При проектировании и эксплуатации таких конструкций необходимо обеспечить их прочность и устойчивость [1].

Расчет предельного внутреннего давления, при котором оболочка компенсатора переходит в пластическое состояние либо теряет устойчивость, представляет как научный, так и практический интерес.

Объект исследований – компенсатор сильфонного типа трубопровода транспортировки пластовой воды. Сильфонный компенсатор установлен непосредственно перед штуцером входа трубопровода в насос. При этом, частый и внезапный выход из строя этих компенсаторов является единственной причиной отказов трубопровода.

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния трубопроводной системы при постоянных и длительных нагрузках с использованием стандартного метода расчета по ГОСТ 32569-2013 [2].

Анализ результатов показывает, что узел трубопровода, находящийся в непосредственной близости от одного из фланцев компенсатора смещается по осям X на 3,2 мм, Y на 1,9 мм с поворотом вокруг оси Z на $0,9^\circ$, другой фланец компенсатора практически не смещается, так как находится рядом со штуцером насоса, который задан в расчете, как жестко закрепленный (рисунок 1, а).

Смоделированы различные по пространственной геометрии системы

технологических трубопроводов. При расчете рассмотрены отдельно и совместно различные значения длин участков, виды опор, расстояния от отвода до опоры, находящейся рядом с компенсатором. Наиболее безопасный вариант геометрии трубопроводной системы, с точки зрения напряженно-деформированного состояния – это система, с уменьшением длины участка трубопровода с компенсатором 0,5 м, замены скользящей опоры на направляющую и сдвигом ее от компенсатора на 0,5 метра (рисунок 1, б).

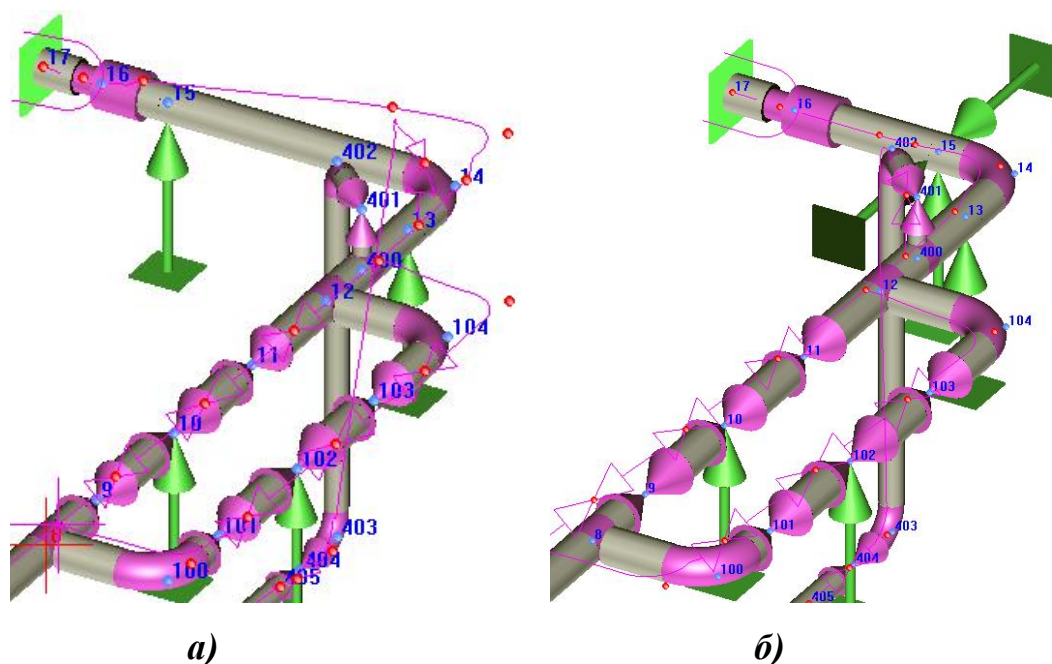


Рисунок 1. Графическое представление результатов расчета при изменении вида опоры, сокращении длины участка и сдвиге опоры

Обоснование прочности системы трубопровод-компенсатор и надежности компенсатора посредством аналитических формул или на основе расчета напряженно-деформированного состояния по стандартной методике расчета на прочность и жесткость трубопровода не представляется возможным. Это связано с геометрической сложностью конструкции сиффона.

Поэтому на втором этапе исследований поставлены задачи:

- создание твердотельной модели сиффонного компенсатора в ПК SolidWorks;
- задача комплексного сравнительного анализа напряженно-деформированного состояния модели сиффонного компенсатора с учетом

различных смещений, передаваемых от сопряженной трубопроводной системы, обусловленных его температурными деформациями;

- определение посредством компьютерного моделирования предельных внутренних и внешних параметров компенсатора с учетом пространственной геометрии трубопроводной системы [3], при которых оболочка компенсатора переходит в пластическое состояние либо теряет устойчивость.

Создана твердотельная 3D-модель сильфонного компенсатора. При построении модели заданы основные размерные характеристики: габаритные размеры, размеры изгибов, глубин гофры, число гофров, шаг гофрировки, толщина стенки.

Дальнейшее исследования проводились в Simulation ПК SolidWorks. Задали материал – AISI 321, и толщину модели 0,4 мм, согласно ГОСТ Р 50618-93 [4]. В модуле Simulation ПК SolidWorks заданы следующие нагрузки:

- один торец гофра жестко зашпемлен – задано отсутствие перемещений по всем степеням свободы, что соответствует штуцеру насоса непосредственно соединенного с компенсатором;

- в другом торце гофра заданы значения перемещений по осям X на 3,2 мм, Y на 1,9 мм с поворотом вокруг оси Z на $0,9^\circ$ в соответствии с температурным перемещением примыкающего трубопровода, взятыми из результатов исследования по стандартной методике расчета на прочность и жесткость;

- к внутренней поверхности гофра приложено давление соответствующее рабочему давлению трубопровода 0,3 МПа;

- сила тяжести перпендикулярно оси гофра $9,8 \text{ м/с}^2$.

Напряжение по окружности гофра превышает предельно допустимое, которое задается стандартом на материал корпуса. Подобранный стандартным методом сильфон не способен одновременно выдерживать рабочее давление и фактические перемещения узла трубопровода, с учетом его пространственной геометрии. Такие превышения предельно допустимых напряжений, являются следствием того, что фактические значения сдвига и осевого хода превышают нормативные. Подбор другого стандартного компенсатора по значению сдвига

невозможен, так как нет удовлетворяющих нормативных значений более или равных 3,2 мм.

Затем по аналогичной методике построены модели сильфонов с количеством гофр от 5-ти до 12-ти при неизменной геометрии эскиза сильфона. Получены значения максимальных эквивалентных напряжений. По результатам расчетов получена зависимость максимальных эквивалентных напряжений сильфона от количества гофр с учетом геометрии трубопровода (рисунок 2).

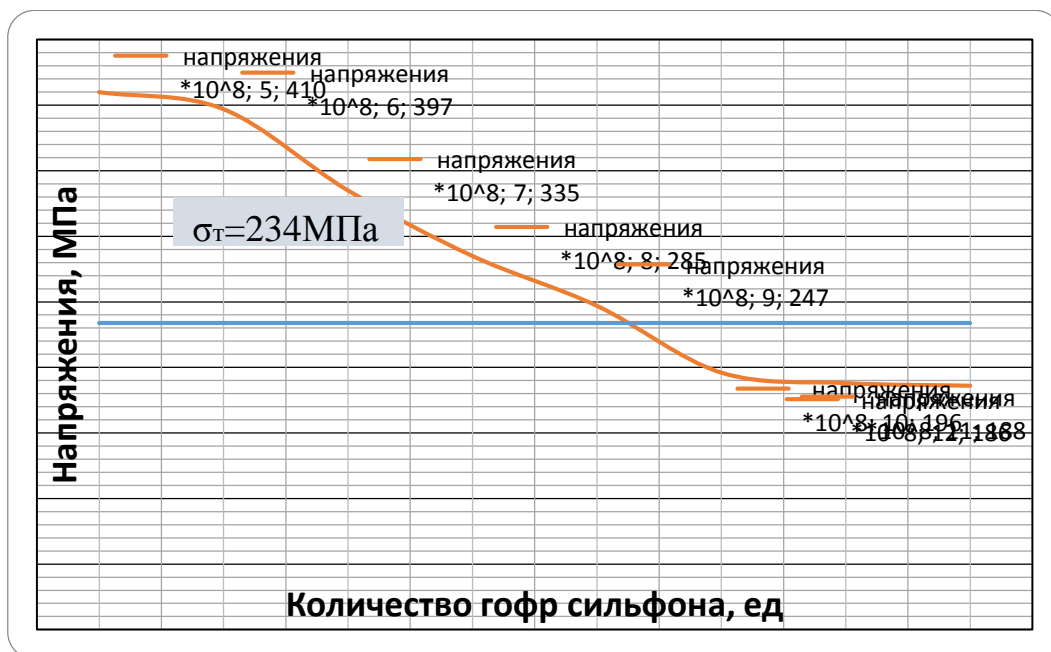


Рисунок 2. Зависимость максимальных эквивалентных напряжений сильфона от его количества гофр, с учетом геометрии трубопровода

Установлено, что для исследуемого трубопровода, исходя из проведенного с учетом пространственной геометрии трубопроводной системы сравнительного анализа НДС сильфонных компенсаторов с количеством гофр от 5 до 12, оптимальной конструкцией оказался компенсатор с 10-тью гофрами. Согласно же стандартной методике расчета для данного трубопровода рекомендован сильфонный компенсатор с 8-мью гофрами, что не обеспечивает его безотказную работу и приводит к периодическим непредусмотренным ремонтам и в связи с этим существенным экономическим затратам.

Далее расчет компенсатора проводился с учетом толщины компенсатора. Построены модели сильфонов различной толщины при неизменной геометрии

эскиза сильфона и количества гофр. Постоянным количеством гофр выбрано 8 штук, так как это количество является оптимальным по стандартному методу подбора. Построена зависимость максимальных эквивалентных напряжений сильфона от толщины гофры, с учетом геометрии трубопровода, которая приведена на рисунке 3.

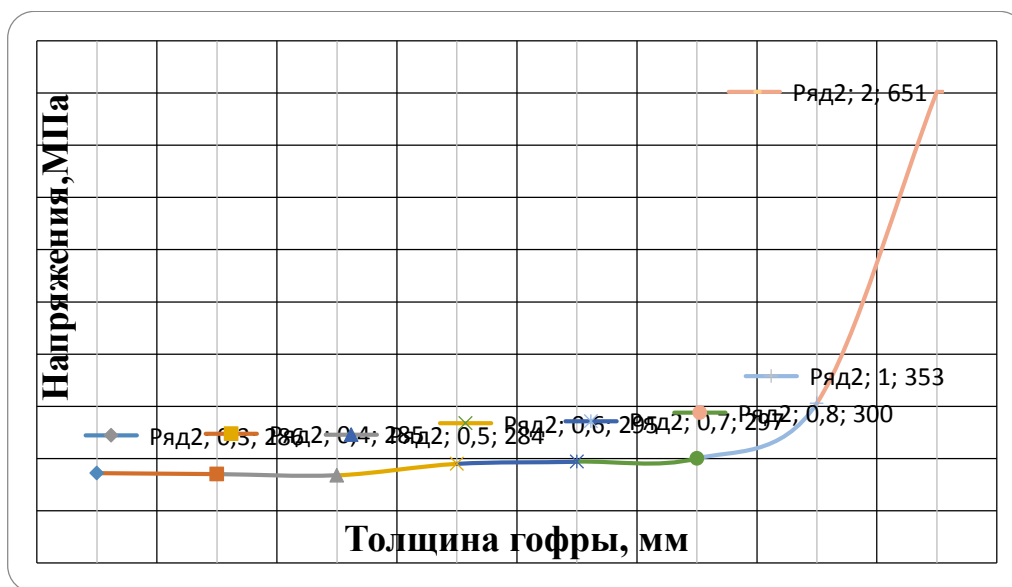


Рисунок 3. Зависимость максимальных эквивалентных напряжений сильфона от толщины гофра с учетом геометрии трубопровода

Согласно зависимости 3 изменение толщины гофра компенсатора не улучшает картину напряженно-деформированного состояния при данных рабочих условиях.

Надежная работа компенсаторов в трубопроводной системе требует учета множества переменных. Самая главная задача состоит в определении направления действия смещений. Подобрать оптимальное решение можно только при наличии этой информации. Сложные трубопроводные системы должны подразделяться на менее сложные участки, чтобы гарантировать оптимальную компенсацию смещения в нескольких направлениях. Каждый участок обычно разделяется анкером или неподвижной опорой.

Разработана методика подбора компенсаторов с учетом фактической геометрии трубопроводной системы, ее сложности и с учетом фактических ее температурных перемещений, а так же методика построения расчетной модели

сильфонного компенсатора в ПК SolidWorks, которая может применяться при проектировании и оценке ресурса трубопроводных систем с сильфонными компенсаторами.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Беляев, А.К. Теоретическое и экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния сильфонных компенсаторов как упругих оболочек/ А.К. Беляев, Т.В. Зиновьева, К.К. Смирнов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2017. – Вып. 10. – С. 9-19.

2. ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200111138> (дата обращения 17.05.2019).

3. Zakirnichnaya M.M., Kulsharipov I.M. Wedge gate valves selecting essentials in the pipeline systems designing based on permissible operation parameters // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 87 (2017) 082055 DOI10.1088/1755-1315/87/8/082055.

4. ГОСТ Р 50618-93. Сильфоны компенсаторные однослойные металлические. Типы, общие технические требования [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200026265> (дата обращения 17.05.2019).