

Рисунок 1 – Сейсмическое воздействие по осям X и Y

В процессе выполнения расчета предусмотрено взаимное исключение каждого из представленных сочетаний друг с другом.

В результате расчета получены значения усилий в каждом конечном элементе расчетной схемы для каждого из рассмотренных сочетаний нагрузок. Наибольшие значения из вычисленных усилий являются исходной информацией для подбора арматуры в стойке опоре и ростверке.

Список литературы

- 1 Программный комплекс Лира-САПР 2013 : учеб. пособие / Д. А. Городецкий ; под ред. Д. А. Городецкого. – Киев–М., 2013. – 376 с.
- 2 **Абдукадиров, Ф. Э., У. З. Шермухамедов.** К расчету несущих элементов конструкций типа ригеля на стойке с применением программного комплекса / Ф. Э. Абдукадиров, У. З. Шермухамедов // Современная архитектура, прочность зданий и сооружений. Надежность и сейсмическая безопасность : материалы Респ. науч.-практ. конф. – НамЙСИ, 2021. – С. 173–175.
- 3 **Абдусаттаров, А.** Об упругопластическом изгибе тонких пластин и стержней при переменном нагружении / А. Абдусаттаров, Ф. Э. Абдукадиров, Ш. С. Хожаматов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 157–159.
- 4 **Абдусаттаров, А.** Об упругопластическом изгибе тонких пластин и стержней при переменном нагружении / А. Абдусаттаров, Ф. Э. Абдукадиров, Ш. С. Хожаматов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 157–159.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ И ТРОЙНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

А. АБДУСАТТАРОВ, Н. Б. РУЗИЕВА

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Компенсаторы предназначены для уменьшения внутренних усилий в трубопроводах, обусловленных различными перемещениями, температурными и остаточными напряжениями. В мо-

нографии [1] приведена конструктивная схема сифонного компенсатора, в которой отражены основные принципы конструирования устройств подобного типа и параметры, определяющие геометрию и работоспособность оболочки. Сифонные компенсаторы – довольно сложная конструкция, основной несущей и герметизирующей частью которой является гофрированная осесимметричная тонкостенная оболочка. Базовый элемент гофрированной оболочки – полугофр. Основные конструктивные параметры, определяющие геометрию и работоспособность сифонного компенсатора: наружные и внутренние диаметры оболочки, радиусы выступа r_1 и впадины r_2 , длина L_n линейного участка гофра, толщина оболочки – h . Эффективность применения сифонных компенсаторов достигается благодаря их конструктивным особенностям [1–3].

Сифонные компенсаторы в большинстве случаев подвергаются повторным воздействиям нагрузки с ограниченным числом циклов. Число циклов нагружения определяется количеством пусков, остановов и резких изменений режима работы агрегата за время эксплуатации. В этих условиях работы для повышения его компенсирующей способности целесообразно допустить пластические деформации в наиболее нагруженных зонах оболочки. На основе разработанной методики расчета трубопроводных систем [2] приведены результаты расчетов сифонных компенсаторов при циклическом нагружении. Произведен расчет для сифона с одним и двумя гофрами.

На рисунке 1 представлена расчетная схема сифонного компенсатора и указаны основные конструктивные параметры, определяющие геометрию и работоспособность гофрированного сифона. Конструктивные параметры сифон, мм: $l = 200$; $R = 200$, $r_1 = r_2 = 50$; $L_n = 200$; $h = 4$.

Решение задачи показывает, что характер распределения расчетных величин и уровень деформаций зависят от интенсивности нагрузки, конструктивных параметров, в частности, переменности толщины и формы гофра. Условиями появления вторичных, третичных (и т. д.) пластических областей являются $\bar{\sigma}_u^{(n)} \geq \alpha_n \sigma_s$, где α_n – масштабный коэффициент. Анализ результатов расчета показывает, что с увеличением числа циклов нагружений кинетика напряженно-деформированного состояния сифона переходит в стационарное. Это объясняется режимом малоциклового нагружения, а также стабилизацией диаграмм циклического деформирования для упрочняющихся материалов. Результаты исследования НДС сифонных компенсаторов при циклическом нагружении показывают, что возникающие в сифоне пластические деформации локализованы в относительно узких зонах. Поэтому разрушение сифона при малоцикловом нагружении определяется, главным образом, накоплением повреждений и носит явно выраженный усталостный характер [5].

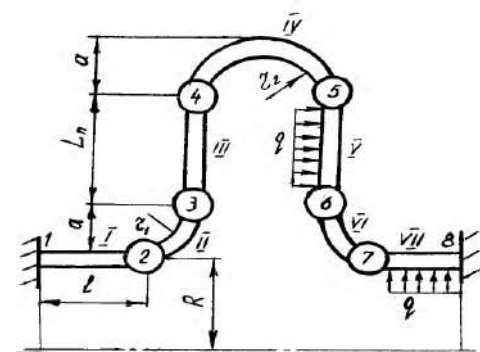


Рисунок 1 – Расчетная схема компенсатора

В качестве примера рассмотрим трехслойный сифонный компенсатор из композиционных материалов, состоящий из набора пластин, цилиндрических и тороидальных элементов. Сифон состоит из двух несущих вязкоупругих слоев и упругого заполнителя. Конструктивные параметры, мм: $R = 200$; $r_1 = r_2 = 50(100)$; $L = 200(300)$. Толщина всех слоев фиксирована. Толщина наружных $h_1 = h_3 = 2$ мм, толщина заполнителя $h_2 = 4$ мм. Вязкоупругий слой характеризуется величинами: $E = 10^5$ МПа; $\nu = 0,3$; $p = 7,8 \cdot 10^5$ кг/мм³; $A = 0,01$, $\beta = 0,1$, $\alpha = 0,05$.

Механические характеристики упругого слоя: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\nu = 0,3$; $p = 7,8 \cdot 10^5$ кг/мм³.

В результате расчетов получены значения частоты колебаний для первого тона в следующих трех случаях, т. е. в зависимости от конструктивных параметров трехслойного сифона [4]:

- 1) при $R_1 = R_2 = 50$; $L_n = 200$, $\omega_R^* = 3,43006 \cdot 10^2$; $\omega_I^* = 1,13724$;
- 2) при $R_1 = R_2 = 50$; $L_n = 300$, $\omega_R^* = 3,37481 \cdot 10^2$; $\omega_I^* = 1,00058$;
- 3) при $R_1 = 50$, $R_2 = 100$; $L_n = 200$, $\omega_R^* = 5,45164 \cdot 10^2$; $\omega_I^* = 1,69881$.

Из этих данных следует, что на частоту колебаний сифона существенное влияние оказывают длина линейного участка гофра L_n , радиусы впадины r_2 и выступа r_1 и толщина h . С увели-

чением L_{II} частота колебаний уменьшается, а с ростом r_2 – увеличивается. На рисунке 2 представлены формы колебаний для четырех элементов сиффона, соответствующих указанным случаям.

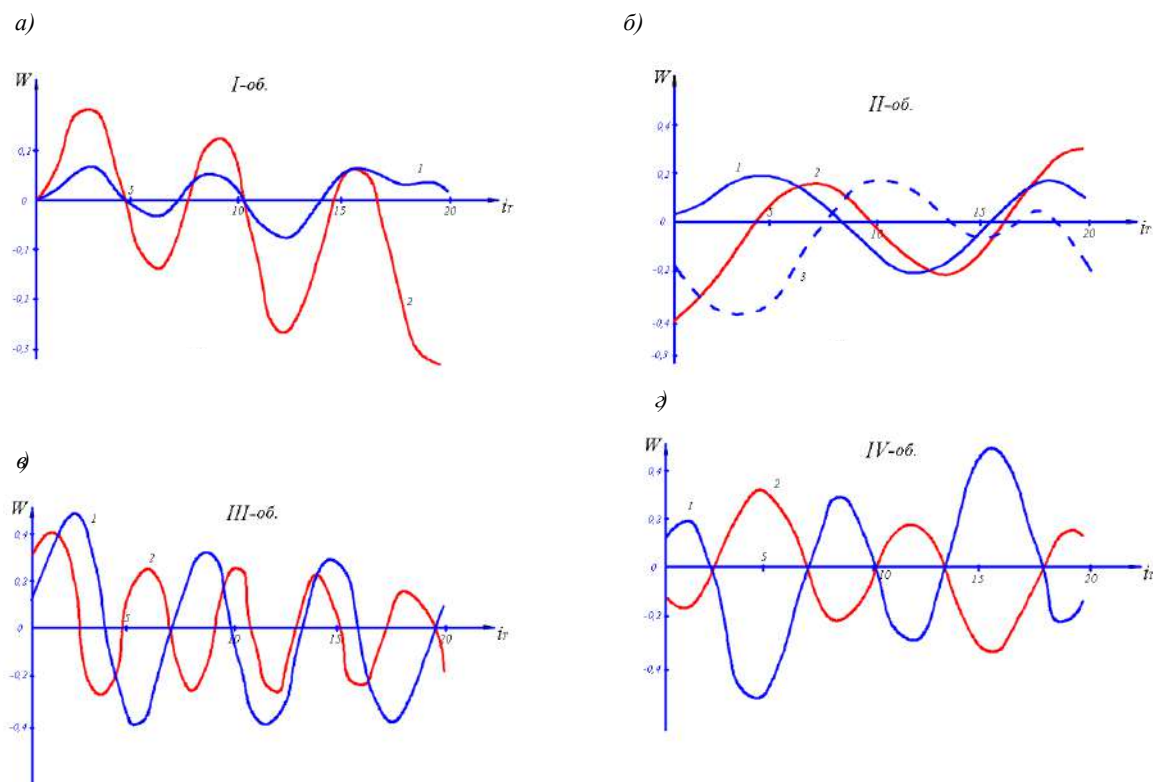


Рисунок 2 – Форма колебаний элементов трубопровода-сиффона

Также анализированы результаты расчетно-экспериментальных исследований статической и малоциклового прочностного состояния тройниковых соединений труб большого диаметра, применяемых при строительстве магистральных нефтепроводов [5].

Показано, что напряженно-деформированное состояние тройников характеризуется большой неравномерностью. При последующем нагружении тройника внутренним давлением определен момент начала роста трещины. Отмечено, что интенсивный рост трещины начался при давлении 7,5 МПа, а при достижении давления в 10,2 МПа произошло окончательное разрушение тройника с образованием свища. Представляет также интерес сравнение коэффициентов концентрации напряжений при малоцикловом нагружении, по уточненным расчетным формулам Нейбера – Махутова. Для сравнительной оценки произведен расчет НДС компенсатора с использованием программы ANSYS [6].

Список литературы

- 1 Гусенков А. П. Малоцикловая прочность оболочечных конструкций / А. П. Гусенков, Г. В. Москвитин, В. Н. Хорошилов. – М. : Наука, 1989. –254 с.
- 2 Мяченков, В. И. Расчет составных оболочечных конструкций на ЭВМ / В. И. Мяченков, И. В. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1981. –216 с.
- 3 Селезнев, В. Е. Основы численного моделирования магистральных трубопроводов / В. Е. Селезнев, В. В. Алешин, С. Н. Прялов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : МАКС Пресс, 2009. – 436 с.
- 4 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойных элементов конструкции на упругом основании / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – М. : Физматлит, 2006. – 379 с.
- 5 Абдусаттаров, А. Моделирование расчета нелинейного деформирования и повреждаемости трубопроводных систем при циклических нагружениях : [монография] / А. Абдусаттаров, Н. Х. Сабиров, Н. Б. Рузиева. – Ташкент, 2021. – 170 с.
- 6 Abdusattarov, A. Mathematical models of pipeline deformation under repeated – variable loading taking into account damageability / A. Abdusattarov, N. Sabirov, N. Ruzieva // AIP Conference Proceedings 2637, 030014 (2022); Published Online: 20 October 2022. – DOI : 10.1063/5.012148.