

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИЛЬФОННОГО УЗЛА БАЛЛОНА С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ

Шиманова А.Б.¹, Гаев Е.С.¹, Битерякова Е.М.¹, Казандаев В.В.¹, Павлихин И.С.¹

¹Самарский университет, г. Самара, katty.a.biteryakova@mail.ru

Ключевые слова: сильфонный узел, баллон с криогенной заправкой (БКЗ), прочностной расчёт, деформированное состояние.

Исходя из обзора литературы, на данный момент нет исследований, рассматривающих воздействие температурных и силовых нагрузок на сильфонный узел в баллоне с криогенной заправкой. Поэтому в данной работе проводится исследование процесса охлаждения сильфонного узла до температуры -196°C жидким рабочим телом при заправке.

Был проведён расчёт сильфонного узла БКЗ. Геометрическая модель сильфонного узла представлена на рис. 1.

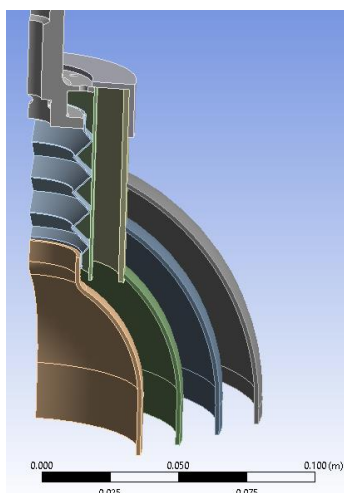


Рис. 1. Геометрическая модель сильфонного узла с 4-мя секциями сильфона криогенного сосуда

На рис. 2 показано поле распределения температур в области сильфонного узла: температура внутреннего сосуда составляет -196°C , а температура варенного в верхнюю крышку штуцера 22°C .

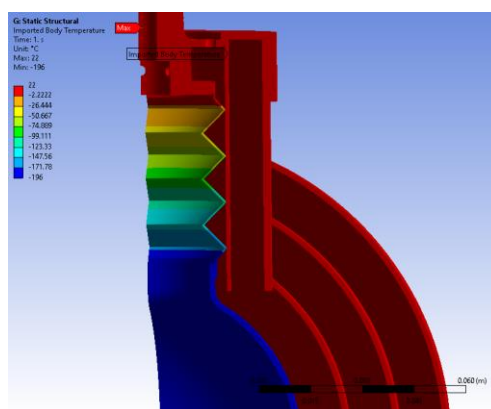


Рис. 2. Поле распределения температур после охлаждения внутреннего сосуда

На рис. 3 показано изменение деформированного состояния в области сильфона при нормальной температуре и после его охлаждения. Для наглядности данные поля распределения суммарных абсолютных деформаций увеличены в 100 раз.

Было выявлено, что при температуре 22°C максимальная суммарная абсолютная деформация сильфона в вертикальном направлении от усилия 110 Н возникает в месте крепления сильфона к внутреннему сосуду и составляет 0,026 мм. После охлаждения до температуры $t = -196^\circ\text{C}$ максимальная суммарная абсолютная деформация составляет 0,37 мм.

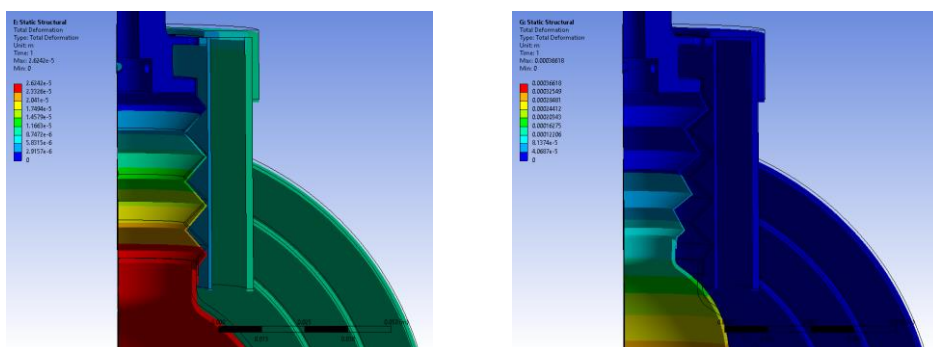


Рис. 3. Поле распределения суммарных абсолютных деформаций ($\times 10^2$) с учетом веса сосудов и рабочего тела при нормальной температуре и после охлаждения до температуры $t = -196^\circ\text{C}$

Был проведён прочностной расчёт с учётом изменения теплового состояния, в котором были заданы следующие граничные условия:

- места сварки были смоделированы жёсткой связью, между сильфоном и окружающим его цилиндром установлен контакт с коэффициентом трения $\mu=0,1$;
- к нижним торцам полусфер сосудов были приложены силы, соответствующие весам этих сосудов и приваренных к ним центрирующих колец;
- к внутреннему корпусу сосуда была приложена суммарная сила, равная максимальному весу азота и весу внутреннего сосуда, равная $F = 110 \text{ Н}$.

Поле распределения эквивалентных напряжений по Мизесу в сильфоне БКЗ, полученные в результате проведённого прочностного расчёта, представлены на рис. 4-5.

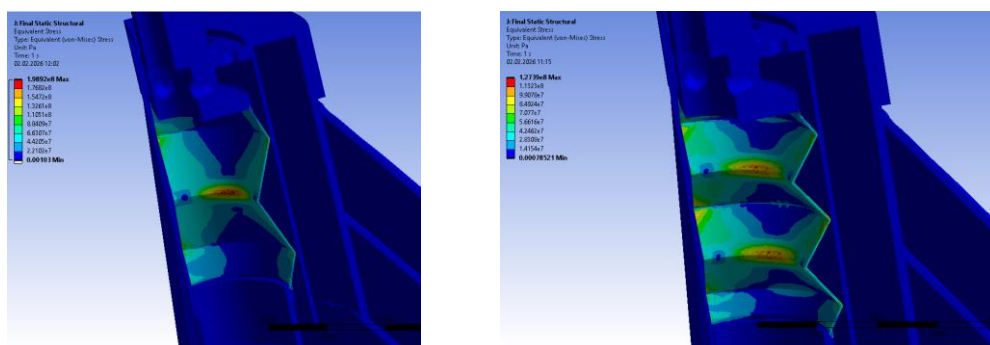


Рис. 4. Поле распределения эквивалентных напряжений в сильфоне с двумя и тремя секциями

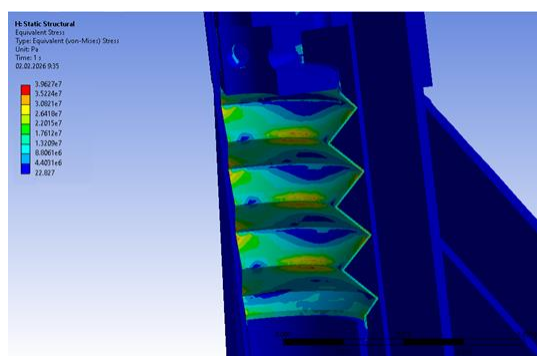


Рис. 5. Поле распределения эквивалентных напряжений в сильфоне с четырьмя секциями

В результате проведенных расчётов получено, что оптимальным вариантом является конструкция сильфонного узла с 4-мя секциями сильфона. Были выявлены максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу после захлаживания сильфонного узла в процессе заправки, которые возникают в местах сгиба и после приложения сил составляют $\sigma_{\max \text{ экв}} = 39,6$ МПа. При этом значении коэффициент запаса прочности равен:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max \text{ экв}}} = \frac{184}{39,6} = 4,65 > 1,5.$$

Следовательно, конструкция сильфонного узла соответствует нормам прочности для материала 12Х18Н10Т, из которого он изготовлен.

Отдельно был проведён расчёт деформаций внутреннего сосуда. Уменьшение длины сосуда (при закреплении его за зону сварки с сильфоном) составило 4,95 мм.

Список литературы

1. Оценка термоциклической прочности баллона с криогенной заправкой / А.И. Довгялло, Д. А. Угланов, А. Б. Шиманова, А. А. Шиманов // Вестник Международной академии холода. – 2022. – № 1. – С. 37-43. – DOI 10.17586/1606-4313-2022-21-1-37-43.

Сведения об авторах

Шиманова Александра Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва; область научных интересов: термодинамика, теплопередача, криогенная техника.

Гаев Евгений Сергеевич – младший научный сотрудник НОЦ ГДИ-209; область научных интересов: термодинамика, теплопередача, криогенная техника.

Битерякова Екатерина Михайловна – инженер-конструктор НОЦ ГДИ-209, область научных интересов: термодинамика, теплопередача, криогенная техника.

Казандаев Василий Владимирович – инженер-конструктор НОЦ ГДИ-209, область научных интересов: термодинамика, теплопередача, криогенная техника.

Павлихин Иван Сергеевич – инженер-конструктор НОЦ ГДИ-209, область научных интересов: термодинамика, теплопередача, криогенная техника.

COMPUTATIONAL STUDIES OF THE PARAMETERS OF THE BELLOWS UNIT OF A CYLINDER WITH CRYOGENIC FILLING

Shimanova A.B.¹, Gaev E.S.¹, Biteryakova E.M.¹, Kazандаev V.V.¹, Pavlikhin I.S.¹

¹Samara University, Samara, katya.biteryakova@mail.ru

Key words: bellows unit, cryogenically filled cylinder (CFC), strength calculation, deformed state.

Computational studies of the bellows assembly of a cryogenically filled cylinder (CBC) were conducted, taking into account temperatures (–196 to +22°C) and force readings. The optimal, recognized design has four bellows sections. The maximum equivalent von Mises stress was 39.6 MPa, and the safety factor was 4.65.