

## РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УПЛОТНЕНИЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Belogolov Yu. I.

### CALCULATION OF THIN-WALL METAL SEALS OF COMPLEX GEOMETRIC SHAPE

**Аннотация.** Тонкостенные металлические уплотнения нашли свое применение в конструкциях и соединениях, которые применимы в условиях динамических (ударных) нагрузок, нестационарности давления и температуры, а также агрессивности сред. Существенным недостатком таких уплотнений является чувствительность оболочечного элемента к условиям нагружения, например, со стороны золотника затвора клапана. Обеспечение надежности таких соединений может быть достигнуто за счет снижения жесткости оболочечного элемента. Для снижения жесткости оболочечного элемента может быть использована тонкостенная пластина (оболочечно-пластинчатое уплотнение), сильфон (оболочечно-сильфонное уплотнение), мембрана (оболочечно-мембранное уплотнение), тороидальная форма (оболочечно-тороидальное уплотнение). Ниже будет рассмотрено только оболочечно-сильфонное уплотнение, как геометрически более сложное.

**Ключевые слова:** тонкостенное уплотнение, оболочка, напряженно-деформированное состояние, расчеты на прочность, моделирование.

**Abstract.** Thin-walled metal seals have found their application in structures and joints that are applicable under conditions of dynamic (shock) loads, non-stationary pressure and temperature, as well as aggressive environments. A significant disadvantage of such seals is the sensitivity of the shell element to loading conditions, for example, from the side of the valve spool. Ensuring the reliability of such connections can be achieved by reducing the rigidity of the shell element. To reduce the rigidity of the shell element, a thin-walled plate (shell-plate seal), a bellows (shell-bellows seal) and a toroidal shape (shell-toroidal seal) can be used. Below, only the shell-bellows seal will be considered, as it is geometrically more complex.

**Keywords:** thin-walled seal, shell, stress-strain state, strength calculations, modeling.

Прочностной расчет тонкостенных уплотнений сложной геометрической формы может быть выполнен с использованием методов конечно-элементного (МКЭ) моделирования, так как при аналитическом решении такие задачи описываются значительным числом уравнений, а могут и не иметь решения вовсе [1, 2].

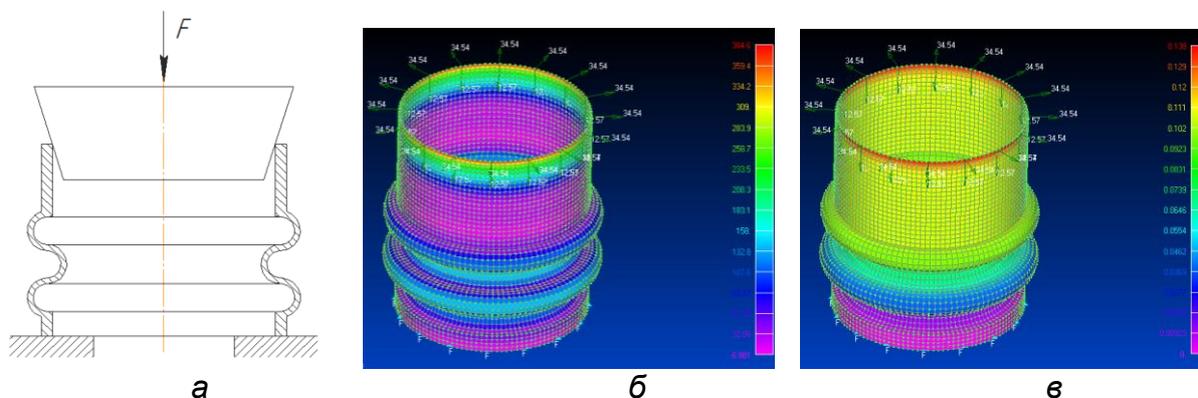


Рисунок 1 – Оболочечно-сильфонное уплотнение:  
а – схема нагружения; б – эквивалентные напряжения при нагрузке 1,5 кН;  
в – суммарные перемещения при нагрузке 1,5 кН

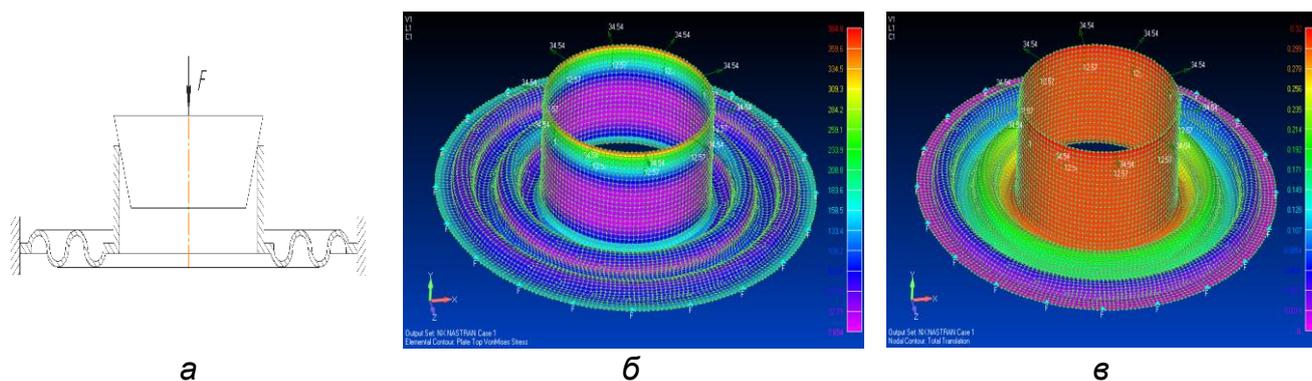


Рисунок 2 – Оболочечно-мембранное уплотнение:  
 а – схема нагружения; б – эквивалентные напряжения при нагрузке 1,5 кН;  
 в – суммарные перемещения при нагрузке 1,5 кН

Построение геометрии, задание нагрузок, разбиение на КЭ модели в Femap (MSC.vN4W) производилось согласно рекомендациям указанным в [3]. Геометрические размеры седла (высота оболочки, диаметры, толщина) во всех моделях одинаковы.

Расчет моделей производился в Femap, так как он более удобен при приложении нагрузок, а результаты расчетов отличаются, например, от результатов в WinMachine менее чем на 5%. Полученные результаты моделирования для оболочечно-сильфонного и – мембранного уплотнений, сравнивались с аналогичными расчетами для оболочечно-пластинчатого уплотнения [4].

К основным выводам можно отнести: напряжения, возникающие на торце оболочки практически одинаковые, что свидетельствует о правильном построении модели и одинаковых условиях нагружения; возникающие, после приложения нагрузки, перемещения отличаются (у оболочечно-мембранного выше), что указывает на разную жесткость конструктивных решений. С повышением скорости срабатывания золотника клапана, имеет смысл рассматривать оболочечно-мембранное уплотнение.

Следует отметить, что использование оболочечного седла пониженной жесткости позволяет значительно снизить динамическую нагрузку, что дает возможность выполнить седло более тонкостенным – снизить усилие в зоне золотника и седла для обеспечения герметичности уплотнительного соединения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Долотов А.М., Белоголов Ю.И.** Жесткостная модель оболочечно-пластинчатого седла // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2 (38). С. 107-110.
2. **Долотов А.М., Белоголов Ю.И.** Оболочка как элемент уплотнения // Трубопроводная арматура и оборудование. 2014. № 2. 94-97.
3. **Шимкович Д.Г.** Femap & Nastran Инженерный анализ методом конечных элементов – М.: ДМК Пресс, 2008. – 704 с., ил. (Серия «Проектирование») ISBN 978-5-94074-461-0
4. **Белоголов Ю.И.** Совершенствование конструкций уплотнительных соединений с тонкостенными элементами (упругой кромкой): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2013. 23 с.