

Шевченко Сергей Андреевич, аспирант, ведущий инженер – конструктор ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск  
Григорьев Александр Львович, д. т. н., проф., НТУ «ХПИ»  
Степанов Михаил Сергеевич, д. т. н., проф., НТУ «ХПИ», kpi\_mmtt@mail.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ В МАНЖЕТЕ ГАЗОВОГО РЕДУКТОРА**

Исследуемые редукторы разрабатываются для пневмосистемы запуска ракетного двигателя, который устанавливается на верхней ступени ракеты-носителя. Система использует 2 редуктора – управляющий (с 2 уплотнительными манжетами поршней) и расходный (с 3 манжетами). Манжеты изготавливаются из фторопласта-4 и имеют П-образный профиль, контактирующий с алюминиевой втулкой (или штоком клапана) по внешнему (внутреннему) усю. Рабочим телом является гелий, который в полостях этой системы сжат до низкого (около 2 МПа), среднего (6-7 МПа) или высокого (10-30 МПа) давления.

От силы трения между усом и втулкой зависят амплитуды колебаний клапанов и динамическая устойчивость системы в целом. Экспериментальному определению этой силы было посвящено несколько работ, но известная теория, в которой трение считается пропорциональным силе давления газа на площадь скользящего уса манжеты, плохо согласуется с результатами испытаний.

Для уточнения теории был выполнен расчёт НДС усов манжеты при использовании дифференциальных уравнений для тонкостенной цилиндрической втулки переменной толщины. Точкой начала контакта с опорой скользящий ус разбивался на 2 зоны (контактную и свободную); координата этой точки определялась в итерационном алгоритме. На краях принимались условия защемления для контакта с дном манжеты и свободного опирания на противоположном конце. Параметры защемления определялись при решении задачи упругого (для высокого давления – упругопластического) деформирования дна. В контактной зоне учитывалось поле давлений газа в зазоре, которое рассчитывалось по уравнениям изотермической модели ламинарного течения (здесь производная от квадрата давления газа по длине зазора является постоянной величиной).

Результаты расчёта по новой модели выявили заметное влияние начальных зазоров (которые, в том числе, зависят от температуры материала) и углов конусности усов манжеты на величину распределенной реакции в уплотняющем контакте. Но ещё большим оказалось влияние относительной толщины (которая у внутреннего уса выше, чем у внешнего). Причем при переходе от внешнего к внутреннему усю сила давления газа на его площадь (закономерно) снижается, а сила трения – увеличивается, что противоречит прежней теории.

Учитывая большое число влияющих факторов, на этом этапе исследования ограничились расчётом сил трения в манжетах разрабатываемой пневмосистемы, но в дальнейшем планируется получить аналитическую зависимость этой силы от геометрических, прочностных и силовых параметров уплотнения.