При $n = \infty$ $d_F = d_1$, т.е. окружность E является границей областей центров кривизны траекторий точек, лежащих вне круга Лагира, разделённых прямой τ-τ (E_7).

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННОГО МЕХАНИЗМА С ДВОЙНЫМ ПОЛЗУНОМ

Соловьев А.С., Дворников Л.Т.

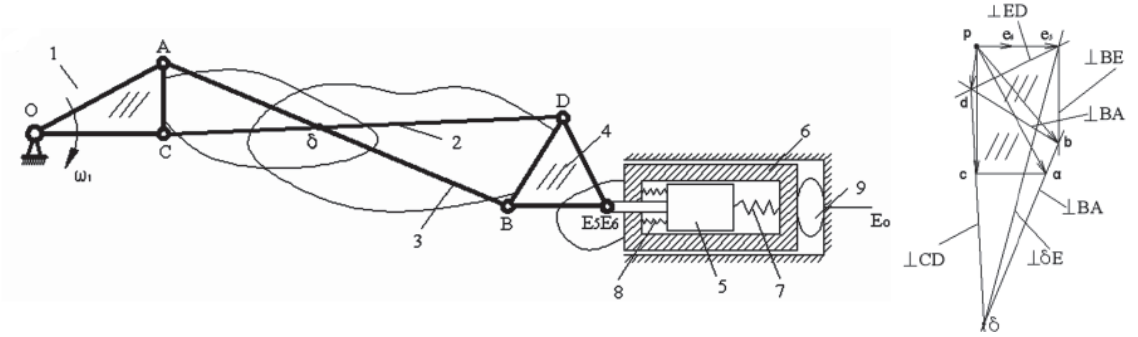
Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, e-mail: antoan29@mail.ru

Автором настоящего доклада «Кривошипно-ползунный механизм с двойным ползуном» (рисунок *а*) запатентован в 2010 г. [1]. При задании движения трехпарному кривошипу 1, он через сдвоенный шатун 2 и 3 воздействует на трехпарное звено 4, передающее движение на сдвоенный ползун 5, 6, в котором установлен упругий элемент 7. Когда ползун 6 упирается в объект прессования 9, ползун 5 имеет возможность двигаться относительно неподвижного ползуна и позволяет кривошипу 1 делать полный проворот.

Точка пересечения шатунов является точкой Ассура для звеньев 1 и 4.

Найдем скорости точек А и С кривошипа

$$\bar{V}_A = \omega_1 \cdot l_{OA}, \quad \bar{V}_C = \omega_1 \cdot l_{OC}.$$



а б

КПМ с двойным ползуном и план его скоростей

Скорость особой точки δ можно найти из уравнений

$$\bar{V}_\delta = \bar{V}_A + \bar{V}_{\delta A}; \quad \bar{V}_{\delta A} \perp \delta A,$$

$$\bar{V}_\delta = \bar{V}_C + \bar{V}_{\delta C}; \quad \bar{V}_{\delta C} \perp \delta C$$

и построить на плане (рисунок, *б*).

Точка Е как и точка δ принадлежит звену 4 и ее скорость определиться как

$$\bar{V}_{E_5} = \bar{V}_\delta + \bar{V}_{E_5\delta}; \quad \bar{V}_{E_5\,\delta} \perp E\delta,$$

$$\bar{V}_{E_5} = \bar{V}_{E_5E_0}; \quad \bar{V}_{E_5E_0} \| E_0E.$$

Она направлена параллельно движению ползуна 6. Точка e_5, определяющая скорость движения ползуна 5, находится на пересечении линий, проведенных из точки δ перпендикулярно δE_5, и горизонтальной линии, выходящей из полюса плана. Далее легко найти скорости точек D и B. Конец вектора скорости движения точки e_6 шестого звена, т.е. рабочего ползуна может занимать любое положение между точками P и e_5 плана.

Список литературы

1. Патент на полезную модель «Кривошипно-ползунный механизм с двойным ползуном», заявка № 2010128671, приоритет от 09.07.2010 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИАФРАГМЫ ВЫТЕСНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Солодилова Е.М., Глушков С.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, Самара, e-mail: ymnyashka@gmail.com

Работа посвящена моделированию функционирования диафрагмы – разделителя жидкостной и газовой полостей вытеснительной системы. В вытеснительных системах поступление топлива в камеру сгорания ракетного двигателя обеспечивается давлением наддува в топливных баках, создаваемое сжатым газом, чаще всего азотом или гелием. Известны вытеснительные системы подачи компонентов топлива для жидкостных ракетных двигателей, которые содержат баки горючего и окислителя, соединенные с газовым аккумулятором давления и камерой сгорания через пускоотсечные клапаны и регулировочные шайбы [1]. Из схемы подачи топлива исключается турбонасосный агрегат, а компоненты топлива поступают из баков прямо на главные клапаны ракетного двигателя. Давление в топливных баках при вытеснительной подаче должно быть выше, чем в камере сгорания. Преимуществами вытеснительной системы является простота конструкции и скорость реакции двигателя на команду пуска, особенно, в случае использования самовоспламеняющихся компонентов топлива. Такие двигатели служат для выполнения маневров космических аппаратов в космическом пространстве. Вытеснительная система была применена во всех трёх двигательных установках лунного корабля Аполлон — служебной (тяга 9 760 кГс), посадочной (тяга 4 760 кГс), и взлётной (тяга 1 950 кГс) [2].

Типовая вытеснительная система состоит из нескольких баков с компонентами топлива (с горючим и окислителем), шар-баллонов, заполненных рабочим газом, магистралей, клапанов и прочей арматуры.

Топливный бак представляет собой шарообразную конструкцию, сваренную из двух штампованных и механически обработанных полусфер (рис. 1), приваренных к шпангоуту. В каждой полусфере имеется штуцер для подвода рабочего газа и опорожнения компонентов топлива. Бак выполнен из алюминиевого сплава. В одной из полусфер установлен металлический разделитель полостей – диафрагма.

Диафрагма представляет собой штампованную конструкцию, выполнена из технически чистого алюминия, что позволяет ей работать в области пластических деформаций без разрушения (это является условием обеспечения герметичности между газовой и жидкостной полостями).

Диафрагма является ответственным элементом, к которому предъявляются высокие требования обеспечения надежности. Из каждой партии диафрагм несколько единиц подвергаются наземным испытаниям как отдельно, так и в составе топливного бака.

В работе описаны результаты проведения вычислительного эксперимента по испытанию диафрагмы с помощью универсального МКЭ-пакета ANSYS.

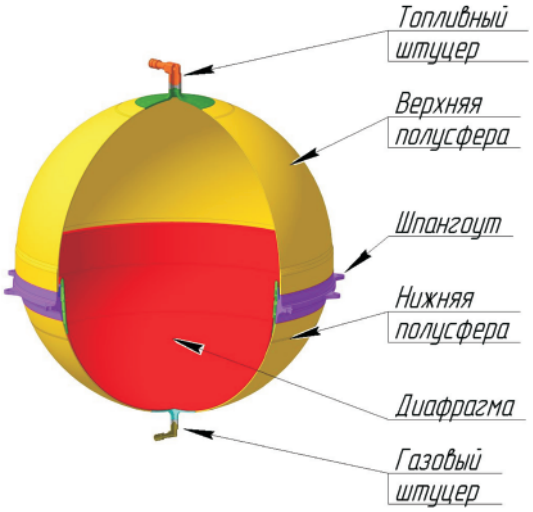


Рис. 1. Топливный бак в разрезе

Конструкция диафрагмы является полностью осесимметричной, равно как и действующее внутреннее давление. В силу этого задача рассмотрена в осесимметричной постановке. Использованы плоские 4-узловые конечные элементы первого порядка Plane182 в режиме осесимметричного поведения.

Поскольку диафрагма работает в области больших неупругих деформаций, то материал требует задания соответствующих упругих и упруго-пластических характеристик в виде кривой деформирования при одноосном растяжении. В стенках сферического бака не допускается образование остаточных деформаций, материал принимаем линейно упругим (с последующим контролем превышения уровнем напряжений предела текучести материала).

Геометрическое моделирование рассматриваемого сечения проводится с помощью чертежного пакета Компас компании АСКОН, Через промежуточный формат экспорта – IGES сечение в виде набора точек и линий импортируется в рабочую область. Основываясь на замкнутых контурах линий, натягиваются топологически простые плоские поверхности, составляющие сечение.

Сетка конечных элементов регулярная, по толщине металла диафрагмы принимаем 3 элемента. По толщине стенки бака также назначаем 3 элемента. В меридиональном направлении размер элементов составляет 1 мм. Для учета контакта поверхности диафрагмы со стенкой бака при работе вытеснительной системы необходимо назначение специальных контактных пар элементов – целевых (TARGE169) на поверхности бака и контактных (CONTA172) на поверхности диафрагмы. При этом для контактной пары указывается коэффициент трения. Нормали контактирующих поверхностей в процессе расчета должны быть направлены друг к другу. Тип контакта для рассматриваемой задачи «поверхность – в поверхность». Общее число элементов в модели составляет при расчете диафрагма–бак: 3250 элементов (из них 800 контактных), 3284 узла.

Граничные условия для диафрагмы – условие неразрывности (равносильно наложению запрета на поступательные радиальные перемещения для всех узлов на оси круговой симметрии), полная заделка цилиндрической части, приваренной к шпангоуту бака. Для бака граничные условия представляют условие неразрывности в полюсе и жесткое закрепление, обусловленное сваркой с жестким шпангоутом. Жесткость шпангоута велика, и данный конструктивный элемент не моделируется, а учитывается в виде граничных условий.

Нагрузка на диафрагму представлена медленно нарастающим давлением в газовой полости до предельной величины. При этом жесткий разделитель жидкостной и газовой сред деформируется в сторону уменьшения объема жидкостной полости, тем самым выдавливая жидкость через специальный штуцер в топливную магистраль. Одно из промежуточных состояний диафрагмы в процессе работы схематично изображено на рис. 2.

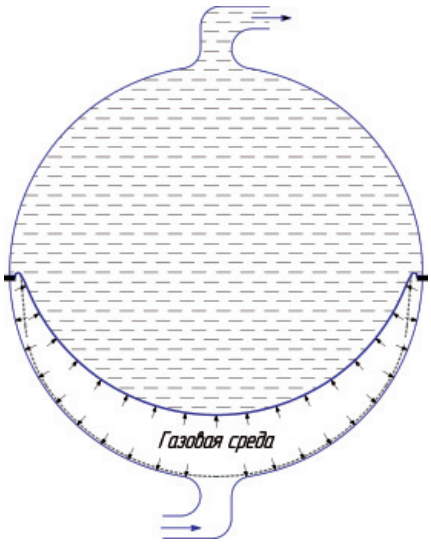


Рис. 2. Схема работы диафрагмы топливного бака

Конечно-элементная модель рассматриваемой части сферического топливного бака, состоящая из диафрагмы и верхней полусферы бака, представлена на рис. 3.

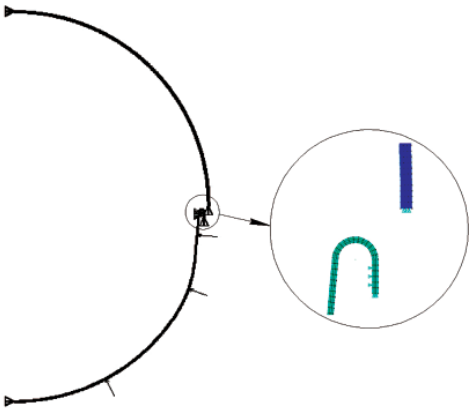


Рис. 3. КЭ модель «Диафрагма-верхняя полусфера бака»

Задача рассматривается в квазистатической постановке, время играет роль относительного параметра и фактически является множителем при нагрузке на текущем шаге. Решение задачи выполняется методом конечных элементов в геометрически и физически нелинейной постановке, т.е. с учётом больших перемещений, пластических деформаций и нелинейного поведения материала.

При работе диафрагма имеет возможность свободно деформироваться, вытесняя топливо, только в пределах пространства, ограниченного стенками бака. Конечно, стенки бака могут деформироваться при вступлении в контакт с диафрагмой и совместном восприятии давления газовой полости, но эти деформации невелики.

Для состояния, соответствующего максимальной величине давления со стороны газовой полости, на

рис. 4 изображена изоповерхность эквивалентных напряжений по теории Мизеса. Исходя из перемещений точек диафрагмы, можно вычислить объем образующейся паразитной полости между диафрагмой и стенкой бака в области шпангоута. Кроме того, из представленной на рис. 4 картины деформированного состояния системы диафрагма-бак может быть вычислен объем не выдавленного в процессе штатной работы системы топлива.

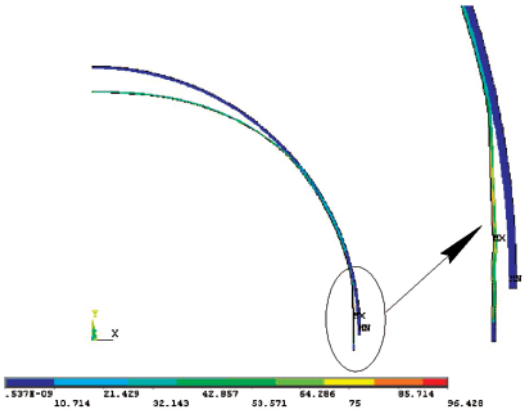


Рис. 4. Изоповерхность эквивалентных напряжений

Список литературы

1. Шевелюк М.И. Теоретические основы проектирования жидкостных ракетных двигателей. – М. : Оборонгиз, 1960.
2. Пилотируемые полёты на Луну, конструкция и характеристики SATURN V APOLLO // Реферат ВИНИТИ. – М., 1973.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРОСОВОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА С ДВУХЪЯРУСНЫМ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

Солодилова Е.М., Пономарев Ю.К.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, Самара, e-mail: ymnyashka@gmail.com

Опыт, накопленный при проектировании ракетно-космической техники, показывает, что надежность изделий машиностроения (в частности аэрокосмической промышленности и транспортного машиностроения) в значительной степени определяется наличием негативных вибрационных процессов. Значительная часть этих нежелательных воздействий может быть снижена, а в ряде случаев полностью устранена, при использовании специальных устройств–виброизоляторов и/или демпферов с конструкционным демпфированием.

Практика использования традиционных средств виброзащиты, таких как резиновые или резинометаллические амортизаторы, показала, что они часто не обеспечивают достаточно эффективного снижения уровня вибраций и гашения ударных процессов. В то же время, резина существенно изменяет свои упругодемпфирующие характеристики при колебаниях рабочей температуры, подвержена ускоренному старению под влиянием радиации, растворяется в химически агрессивных средах [1, 2].

В настоящее время при проектировании отечественных изделий аэрокосмической промышленности нашли широкое применение средства виброзащиты на основе прессованного нетканого проволочного материала, так называемого «металлического аналога» резины, или материала МР [3]. На его основе разработано значительное количество виброизоляторов. Все они базируются на принципе рассеяния энергии колебаний защищаемого объекта за счет взаимного трения проволочек, вследствие проскальзывания, при деформировании упругих элементов из материала МР. При этом в материале МР фрикционные пары трения распределены по объему случайным образом, что вызывает анизотропию их характеристик. Это осложняет создание их расчетных моделей. Виброизоляторы из материала МР обладают довольно высокими демпфирующими характеристиками. Однако следует отметить, что с течением времени при наработке они могут существенно снижаться. Ухудшение характеристик обусловлено высоким удельным давлением контактирующих пар витков спирали и относительно малыми площадями контакта фрикционных пар [4].

Как показывает инженерная практика, более прогрессивными упругодемпфирующими элементами, на основе которых можно создавать виброизоляторы, являются многослойные элементы с регулярной структурой, такие как металлические канаты (троса), пакеты стержней, колец, лент. Такие виброизоляторы являются более стабильными в работе, так как обладают распределенным по линиям или площадям контактом фрикционных пар трения [5]. Кроме того, регулярная структура упругих элементов способствует созданию более точных расчетных моделей виброизоляторов.

В настоящей работе приведены результаты объемного проектирования в среде «Компас-график 3D» и исследования характеристик в программном комплексе ANSYS конструкции тросового виброизолятора с двухъярусным ансамблем пространственно ориентированных упругодемпфирующих элементов специального вида.

Конструкция виброизолятора (рис. 1) состоит из верхней и нижней обоймы упруго связанных пространственным ансамблем тросовых элементов (рис. 2). Каждая обойма состоит из специального болта с развитой фигурной шляпкой (рис. 3), специальной шайбы в форме цилиндрического кольца с тонкой мембраной в среднем сечении (рис. 4) и фигурной крышки (рис. 5), соосно собранных в единый пакет. Пакет фиксируется от разделения с помощью гайки с плоским основанием, законтренной упругой пружинной шайбой Гровера.

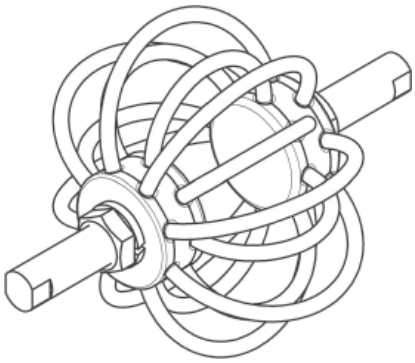


Рис. 1

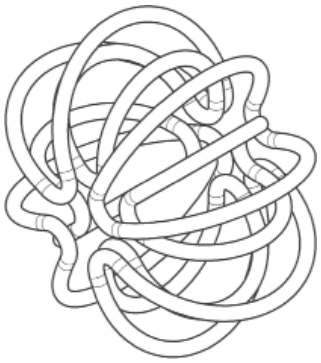


Рис. 2