

В ы в о д

Введение узла сухого трения в автоматiku замкнутой системы автоматического регулирования приводит к появлению области системных автоколебаний, которая захватывает часть области устойчивой работы. Поэтому механический демпфер (или любая иная нелинейность типа "сухое трение", "люфт", "гистерезис") ухудшает динамические характеристики рассмотренного класса замкнутых систем автоматического регулирования.

Б и б л и о г р а ф и ч е с к и й с п и с о к

1. Соловьев Е.В., Левинтан Е.Ю. Устойчивость и автоколебания газового редуктора с механическим демпфером //Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб. тр. /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990. С.10-28.
2. Короткий В.А., Есян В.И. Динамические характеристики гидравлического сервопривода //Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб.тр. /Куйбышев. авиац.ин-т. Куйбышев, 1990. С. 129-134.
3. Короткий В.А., Витовтов И.Г. Непрямое регулирование машины с самовыравниванием при наличии сухого трения в регуляторе //Изв. вузов. Сер. Приборостроение, 1986. № 10. С. 21-24.
4. Витовтов И.Г., Короткий В.А. Обобщенная задача Вышнеградского //Изв.вузов. Сер. Приборостроение. 1986. № 10. С. 21-24.

УДК 629.84.063

С.А.Петренко, А.А.Маркин, Ю.В.Монохов

ДИНАМИКА ОТДЕЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНИКА СИСТЕМЫ ПРИЦЕЛИВАНИЯ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ "ЭНЕРГИЯ"

Рассмотрен пример численного расчета динамики отделения механизма переходника системы прицеливания ракеты-носителя(РН) "Энергия".

В состав РН входит система прицеливания, предназначенная для точного автоматического наведения ракеты по заданному азимуту полета. С целью оптимизации массы РН начальная ориентация системы осуществляется только при нахождении ракеты на стартовом устройстве с отводом приборов в начале движения РН.

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.

Приборы прицеливания размещены на специальном жестком основании (переходнике), который крепится к корпусу РН с помощью пневмозамков.

Отвод переходника с приборами производится механизмом отвода, размещенным на отводимой площадке стартового устройства. К механизму отвода предъявляются достаточно жесткие требования как по времени срабатывания пневмозамков (разброс не должен превышать 0,01 с при времени срабатывания 0,025 с), так и по времени схода переходника по шпильчым направляющим, ограниченным значением 0,1 с. Отделение переходника контролируется датчиками, для которых срабатывание двух из трех входит в набор команд на запуск маршевых двигателей РН.

Моделирование динамики отвода выполнено методом численного интегрирования уравнений угловых перемещений РН вокруг центра масс на стартовом устройстве:

$$\dot{\lambda}_R = \frac{1}{2} \lambda_R \times \vec{\omega}_R, \quad (1)$$

$$\dot{\vec{K}}_R + \vec{\omega}_R \times \vec{K}_R = \vec{M}_{RS}, \quad (2)$$

где λ_R - кватернион [1], определяющий переход от инерциальной системы координат $\{I\}$ к связанной с корпусом РН системе координат \mathcal{S}_R (в момент времени $t = 0$ $\{I\}$ совпадает с $\{\mathcal{S}_R\}$); $\vec{\omega}_R$ - угловая скорость РН; \vec{K}_R - кинетический момент РН; \vec{M}_{RS} - суммарный возмущающий момент, действующий на РН с учетом реакций от упругих связей пневмозамков, шпильчных соединений с переходником и действия пружинных толкателей.

Реакции от пневмозамков и шпильчных соединений, а также местные жесткости корпуса РН описаны законом Гука и определены расчетом по методу конечного элемента с экспериментальным подтверждением.

Динамика переходника определялась системой дифференциальных уравнений

$$\dot{\lambda}_P = \frac{1}{2} \lambda_P \times \vec{\omega}_P, \quad (3)$$

$$\dot{\vec{K}}_P + \vec{\omega}_P \times \vec{K}_P = \vec{M}_{PS}, \quad (4)$$

$$\dot{\hat{L}}_P = \hat{F}_{PS} - \hat{K} \hat{V}_P, \quad (5)$$

$$\hat{X}_p = \hat{V}_p, \quad (6)$$

где λ_p - кватернион, определяющий переход от инерциальной системы координат (I) к связанной с корпусом переходника системы координат $\{S_p\}$; $\vec{\omega}_p$ - угловая скорость переходника; \vec{K}_p - кинетический момент; \vec{M}_{ps} - суммарный момент, действующий на переходник и включая - щий: момент от сил трения на шпильках; момент от пружинных толкателей, совмещенных со шпильками; момент от реакций шпилек с учетом упругой составляющей; момент от сил инерции и гравитации, действующих на центр масс переходника; момент от сил пневмогидравлической системы отвода;

$$\hat{L}_p = \begin{bmatrix} L_{p1} \\ L_{p2} \\ L_{p3} \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица компонент механического импульса центра масс переходника;}$$

$$\hat{F}_{ps} = \begin{bmatrix} F_{p1} \\ F_{p2} \\ F_{p3} \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица компонент суммарной силы, действующей на переходник;}$$

$$\hat{K} = \begin{bmatrix} K_1 & 0 & 0 \\ 0 & K_2 & 0 \\ 0 & 0 & K_3 \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица коэффициентов диссипативных сил [3];}$$

$$\hat{V}_p = \begin{bmatrix} V_{p1} \\ V_{p2} \\ V_{p3} \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица компонент линейной скорости центра масс переходника;}$$

$$\hat{X}_p = \begin{bmatrix} X_{p1} \\ X_{p2} \\ X_{p3} \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица координат центра масс переходника.}$$

Состояние газа в пневмосистемах отвода и обезвешивания в связи с малым временем отделения описывается уравнениями без теплообмена с внешней средой:

$$\dot{P}_{j1} = \frac{\alpha_{кр} (R \omega_{j1} T_{j2} - P_{j1} S_{nj} \dot{L}_j)}{V_{noj} + S_{nj} l_j}, \quad (7)$$

$$\dot{T}_{j1} = \frac{T_{j1} S_{nj} \dot{L}_j}{V_{noj} + S_{nj} l_j} - R \frac{T_{j1}^2 \omega_{j1}}{P_{j1} (V_{noj} + S_{nj} l_j)} + \frac{T_{j1} P_{j1}}{P_{j1}}, \quad (8)$$

$$\dot{P}_{j2} = \frac{\alpha_{кр} R (\omega_{j2} T_{j3} - \omega_{j1} T_{j2})}{V_{тpы\delta}}, \quad (9)$$

$$T_{j2} = \frac{T_{j2} P_{j2}}{P_{j2}} - R \frac{T_{j2}^2 (\omega_{j2} - \omega_{j1})}{P_{j2} V_{тpы\delta}}, \quad (10)$$

$$\dot{P}_{j3} = \frac{\alpha_{кр} R (\omega_{j3} T_{тpы\delta} - \omega_{j2} T_{j3})}{V_{pec}}, \quad (11)$$

$$\dot{T}_{j3} = \frac{T_{j3} P_{j3}}{P_{j3}} - R T_{j3}^2 \frac{(\omega_{j3} - \omega_{j2})}{P_{j3} V_{pec}}, \quad (12)$$

где j ($j = \overline{1,4}$) - индекс, определяющий принадлежность к пневмосистемам обезвешивания и отвода (два пневмоцилиндра обезвешивания и два отвода (рис. I)); $P_{j1}, T_{j1}, \omega_{j1}, \dot{L}_j, S_{nj}, V_{noj}$ - давления, температуры, расходы, длины штоков, площади поршней и начальные объемы поршневых пространств пневмоцилиндров отвода и обезвешивания; $P_{j2}, T_{j2}, \omega_{j2}$ - давления, температуры и расходы в трубах между подпоршневыми пространствами и ресиверами соответствующих систем; $P_{j3}, T_{j3}, \omega_{j3}$ -

- давления, температуры и расходы в ресиверах; $\alpha_{кр}$ - адиабатическая постоянная газа; R - универсальная газовая постоянная; $V_{тpуд}$ - объем трубы между подпорыненным пространством и ресивером; V_{pec} - объем ресивера; $T_{тpуд}$ - температура газа в магистрали, подводящей к ресиверу.

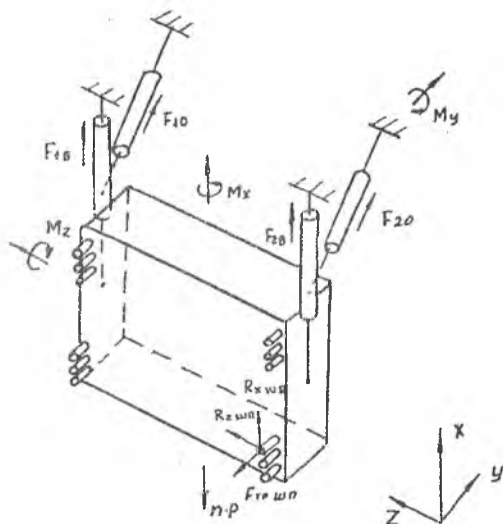
Расходы в системе определялись из соотношений, полученных на основании [2].

При моделировании учитывалась одновременность срабатывания пневмозамков с наибольшим разбросом по времени.

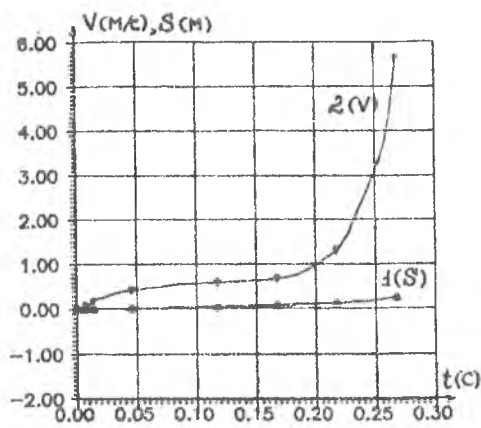
В качестве метода интегрирования применен метод Рунге-Кутты 4-го порядка с постоянным шагом. Шаг интегрирования выбирался исходя из точности и устойчивости решения системы (I)-(I2). При этом оказалось, что в связи с бестроительным характером движения переходника и его малыми моментами инерции, определяющим значение шага интегрирования, являлась динамика переходника, а не динамика газа в пневмосистемах отвода и вывешивания. При оценке шага интегрирования вариациями по значениям от 0,01 с до 0,000001 с был принят шаг 0,000005 с. Программа моделирования реализована на языке *Fortran-77* на ЭВМ с процессором *Motorolla-80030* (Беста-90) и *IBM-PC/AT-386* (33 МГц). Процессорное время реализации одного варианта расчета составляет 7-10 часов.

В результате оценки выявлены достаточные для безаварийного отделения параметры конструкции переходника, пружинных толкателей, пневмосистем отвода и обезвешивания.

Выявлено также влияние местной жесткости корпуса РН и шпильчатого соединения переходника и РН на время и динамику отвода.

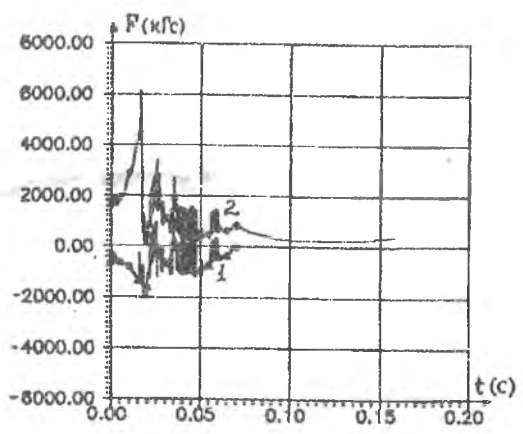


Р и с. 1. Схема действующих сил и моментов при отводе переходника системы прицеливания



Р и с. 2. Перемещение и скорость центра масс переходника: 1 - скорость; 2 - перемещение

На рис. 2-4 приведены результаты моделирования для конкретной реализации исходных данных с наилучшими начальными условиями по векторам состояния РН, переходника и разбросам давления в пневмосистемах отвода и обезвешивания.



Р и с. 3. Сила трения (1) и суммарная сила (2)

Для исключения перекоса системы при нераскрытии пневмозамка и заклинивании переходника на шпильчных направляющих рекомендована и внедрена тарировка усилий аварийного отрыва пневмозамков.

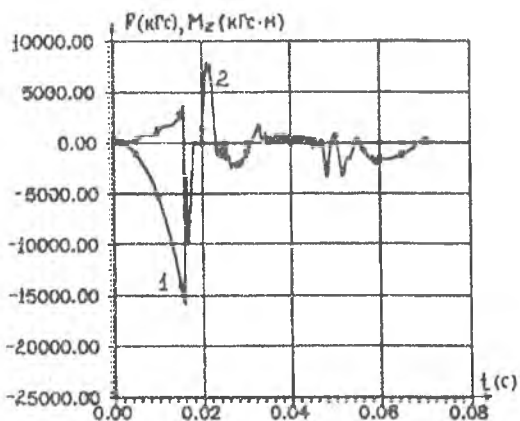
С той же целью рекомендовано начальный объем подпоршневых пространств пневмоцилиндров отвода и обезвешивания довести до значений $0,001 \text{ м}^3$, что позволит работать находящемуся в этом объеме газу в качестве демпфера при прохождении переходником участков шпильек с большим трением и исключить, тем самым, заклинивание переходника на шпильчных направляющих.

Библиографический список

1. Бранец В.Н., Дыгловский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. М.: Наука, 1973. 320 с.

2. Гликман Б.Ф. Математические модели пневмогидравлических систем. М.: Наука, 1986. 368 с.

3. Гладкий В.Ф. Динамика конструкции летательного аппарата. М.: Наука, 1969. 496 с.



Р и с. 4. Усилие в замке (1) и суммарный момент (2)

УДК 629.84.063

С.А.Петренко, А.А.Маркин, Ю.В.Монахов,
И.П.Калугин

ОТДЕЛЕНИЕ ФЕРМЫ ЗАПРАВочно-ДРЕНажной МАЧТЫ
РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ "ЭНЕРГИЯ"

Разработана математическая модель процесса отделения фермы заправочно-дренажной мачты ракеты-носителя "Энергия". Рассмотрены основные факторы, определяющие динамику и время отделения фермы; предложены рекомендации, повышающие надежность функционирования фермы.

Для обеспечения заправки, дренажа и слива компонентов топлива при испытаниях или достартовой аварии в состав ракетно-космического комплекса "Энергия" включена заправочно-дренажная мачта (ЗДМ).

Выбор конструктивного решения стыка наземной и бортовой магистралей заправки и дренажа в виде заправочно-дренажной мачты определен по результатам оптимизации габаритов, зон размещения, числа разъемов, Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.