

## ДИНАМИКА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ЖИДКОСТНЫМИ РАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ МАЛОЙ ТЯГИ В КАЧЕСТВЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВОЗМУЩАЮЩЕГО МОМЕНТА

На базе электронной модели системы ориентации космического аппарата (КА), построенной в программной моделирующей среде MVTU, были проведены исследования влияния внешних возмущающих моментов на динамику КА.

В качестве исходного импульса двигателя для анализа влияния постоянного возмущающего момента на динамику предельного цикла используется экспоненциальный импульс с временными параметрами:  $3T_1=0,05$  с;  $3T_2=0,10$  с. Конфигурация этого импульса представлена на рис. 1.



$$3T_1=0,05; 3T_2=0,1 \quad (\tau_1=0,0167 \text{ с}; \tau_2=0,033 \text{ с})$$

Рис. 1. Модель экспоненциального импульса тяги с временными запаздываниями

В условиях, когда внешний возмущающий момент отсутствует, а временные запаздывания при запуске и останове двигателя  $\tau_1 = \tau_2 = 0$ , режим поддержания заданной ориентации КА сводится к двухстороннему однопимпульсному

предельному циклу (рис. 2), амплитуды которого равны соответственно по угловой скорости  $A_\omega = 0,250$  рад/с и по углу  $A_\varphi = 0,255$  рад. Далее с ростом величины постоянно возмущающего момента деформация предельного цикла начинает развиваться. При  $M_a = 0,15$  (рис. 3) существует переход системы ориентации к одностороннему предельному циклу. Действующий положительный возмущающий момент  $M_a > 0$  приводит вначале к уменьшению амплитуд цикла по углу и угловой скорости при  $M_a = 0,15; 0,20; 0,60$  (рис. 4, 5), а затем при  $M_a = 0,80; 0,90$  и далее вновь возникает увеличение амплитуды предельного цикла по углу и, следовательно, ухудшение точности ориентации.

Приведенные результаты расчета предельных циклов при  $M_a \neq 0$  показывают высокую чувствительность параметров режима ориентации к величине внешних возмущений.

Зная заранее вариации амплитуд предельного цикла по углу и угловой скорости, вызванные внешним возмущающим моментом, далее можно оценить соответствующие

потребные вариации тягового импульса жидкостного ракетного двигателя малой тяги, как элемента адаптивной системы ориентации, настраиваемой на минимальную статическую ошибку ориентации и минимальную амплитуду колебаний в предельном цикле по углу.

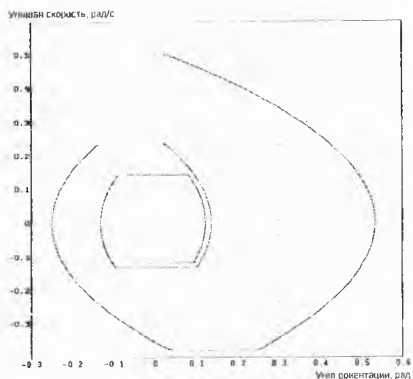


Рис. 2. Фазовый портрет процесса подержания заданной ориентации при  $\tau_1 = \tau_2 \equiv 0$  и  $M_0 \equiv 0$

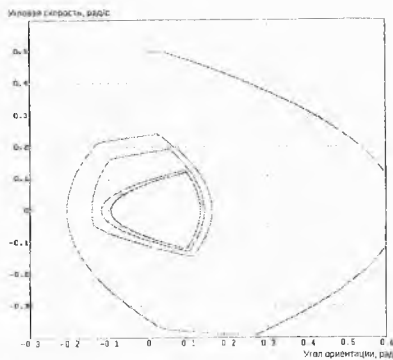


Рис. 3. Односторонний одноимпульсный предельный цикл при  $\tau_1 = \tau_2 \equiv 0$  и  $M_0 = 0.15$

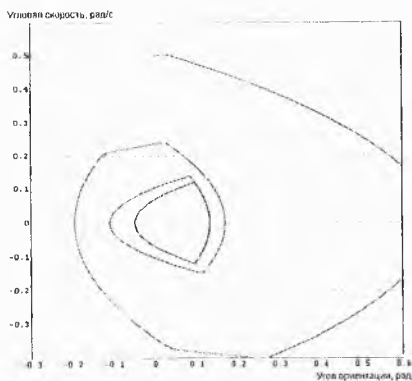


Рис. 4. Односторонний одноимпульсный предельный цикл при  $\tau_1 = \tau_2 \equiv 0$  и  $M_0 = 0.20$

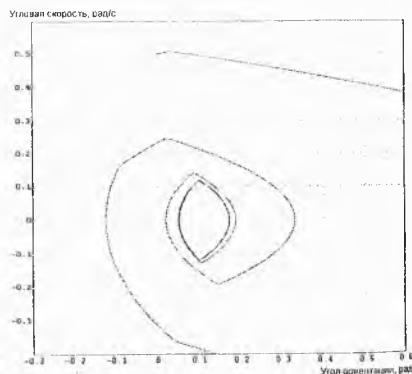


Рис. 5. Односторонний одноимпульсный предельный цикл при  $\tau_1 = \tau_2 \equiv 0$  и  $M_0 = 0.60$

Рассмотрим внешний возмущающий положительный момент, изменяющийся по следующему закону:  $M_0(t) = A \sin \omega t = 0.05 \sin 0.2017t$ . Здесь в исходном варианте параметры  $A$  и  $\omega$  подобраны таким образом, что период колебаний внешнего воздействия совпадет с периодом колебаний КА при  $M_0 \equiv 0$ , когда система ориентации будет на-

ходиться на двухстороннем предельном цикле (рис. 6). При амплитуде внешнего гармонического воздействия, равной 0.05, деформация исходного предельного цикла при  $\tau_1 = \tau_2 = 0$  и  $3T_1 = 0,05$  с;  $3T_2 = 0.10$  с незначительна. Далее с ростом амплитуды  $A$  предельный цикл распадается на два односторонних одноимпульсных цикла, периодически переходящих в двухсторонний цикл и обратно. Такая картина весьма характерна для нелинейных колебательных систем с периодическими возмущениями [3] (рис. 7).

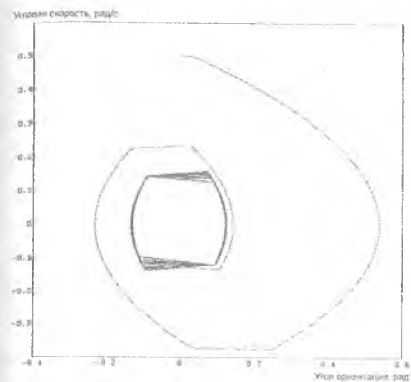


Рис. 6.  $M_B = A \sin wt = 0.05 \sin 0.2017t$

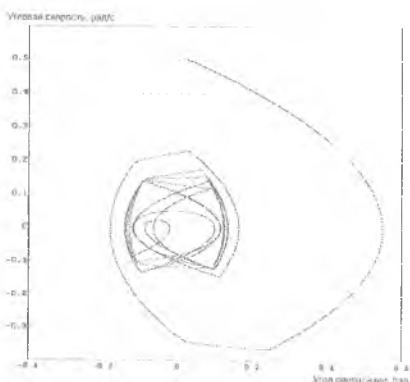


Рис. 7.  $M_B = A \sin wt = 0.2 \sin 0.2017t$

Совместное действие постоянного внешнего момента и периодически изменяющегося момента представлено результатами моделирования на рисунках 8, 9.

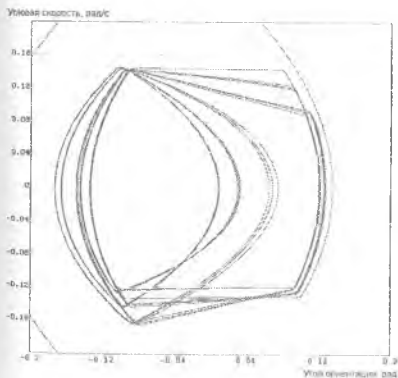


Рис. 8.  $M_B = M_{B1} + A \sin wt = 0.02 + 0.02 \sin 0.2017t$

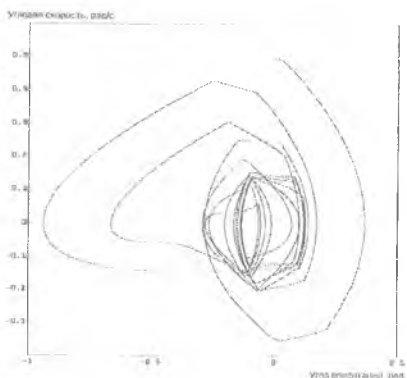


Рис. 9.  $M_B = M_{B1} + A \sin wt = 0.5 + 0.5 \sin 0.2017t$

Принята следующая структура возмущающего момента:

$$M_e = M_{e1} + A \sin \omega t,$$

где  $M_{e1}$  – постоянная составляющая внешнего возмущающего момента.

Как и следовало ожидать, деформация фазовой траектории, приводящей к предельному циклу, и самого предельного цикла в данном случае значительная. Здесь цикл приобретает форму, периодически изменяющуюся во времени. Этот факт еще раз подтверждает положение, что в адаптивной системе ориентации автоподстройка параметров тягового импульса двигателя возможна только по измеренным значениям фазовых координат системы. В широких пределах такая автоподстройка невозможна, поскольку изменение тяги двигателя в пределах 50 ... 80% в импульсных режимах включений в настоящее время не может быть обеспечена. Необходимо также отметить, что определенные резервы в смысле адаптации в условиях существенного изменения внешнего возмущающего момента система ориентации КА может иметь за счет аппаратурного изменения пакюпа линий включения и выключения двигателей на фазовой плоскости. Однако эти резервы являются достаточно ограниченными.

#### Библиографический список

1. Белиев П.М., Уваров Е.И. Расчет и проектирование реактивных систем управления космических летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1974.
2. Основы теории автоматического управления ракетными двигательными установками /А.И. Бабкин, С.В. Белов и др. - М.: Машиностроение, 1978.
3. Рауншенбах Б.В., Гокарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. - М.: Наука, 1974.