

ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ПОЗДОВЖНЬОЇ СТІЙКОСТІ РІДИННОЇ РАКЕТИ-НОСІЯ ПАКЕТНОЇ СХЕМИ КОМПОНУВАННЯ

Інститут технічної механіки Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: nikolaev.o.d@nas.gov.ua

Пакетна схема компоновання ступенів ракет-носіїв (РН) досить поширена при створенні важких ракет-носіїв. Однак розвиток поздовжніх коливань в рідинних РН з пакетною схемою компоновання ступенів має певні особливості.

Показано, що корпус таких РН як динамічний об'єкт має щільний спектр власних частот і складні просторові форми коливань, при цьому поздовжні коливання ідентичних елементів бічних блоків РН можуть відбуватися в одній фазі або в протифазі, а форми власних поздовжніх коливань центрального і бічних блоків можуть відрізнятися як по фазі, так і по амплітуді. Коливання тяги двигунів бічних блоків при польоті РН пакетної схеми також можуть відбуватися синфазно або протифазно, внаслідок чого взаємодія корпусу РН пакетної схеми з маршовими рідинними ракетними двигунами (РРДУ) її бічних блоків може надавати як стабілізуючий, так і дестабілізуючий вплив на поздовжню стійкість рідинної РН.

Розроблено математичну модель динамічної системи «РРДУ – корпус РН», яка описує взаємодію поздовжніх коливань корпусу двоступеневої РН пакетної схеми компоновання з РРДУ її центрального і бічних блоків. Математичне моделювання вільних поздовжніх коливань корпусу РН пакетної схеми компоновання виконано з використанням комп'ютерних засобів скінченно-елементного проєктування (САЕ-системи). Вперше моделювання поздовжніх коливань корпусу РН пакетної схеми проведено з урахуванням дисипації енергії коливань рідкого палива і конструкції РН.

Запропоновано підхід до аналізу поздовжньої стійкості рідинних РН пакетної схеми, в якому використовується критерій Найквіста, узагальнений для випадку багатовимірних динамічних систем. Він заснований на розмиканні замкнутої динамічної системи «РРДУ – корпус ракети пакетної схеми» по каналах тяги РРДУ центрального і бічних блоків і дослідженні стійкості отриманих одноканальних систем. На основі запропонованого підходу виконано чисельне дослідження взаємодії поздовжніх коливань корпусу РН пакетної схеми компоновання і низькочастотних процесів в маршових рідинних ракетних двигунах установках першого ступеня цієї РН.

Ключові слова: поздовжня стійкість ракети-носія пакетної схеми компоновання, рідинний ракетний двигун, базатоконтурна система, узагальнений критерій Найквіста, частоти коливань, логарифмічні декременти коливань.

1. Натанзон М. С. Продольные автоколебания жидкостной ракеты. М.: Машиностроение, 1977. 208 с.
2. Балакирев Ю. Г. Решение проблемы продольных колебаний советских жидкостных ракет в полете: достижения и неудачи. Часть 1. Космонавтика и ракетостроение. 2012. С. 185–191.
3. Колесников К. С. Динамика ракет. М.: Машиностроение, 1980. 375 с.
4. Lock M., Rubin S. Active Suppressor of POGO on the Space Shuttle. Aerospace Corporation, NASA. Contract NAS3-17752; AIR-75/7428 – 1. NASA, 1974. CR-134749.
5. Николаев А. Д., Хоряк Н. В. Определение параметров собственных продольных колебаний конструкции корпуса жидкостных ракет-носителей с учетом диссипации энергии. Авиационно-космическая техника и технология. 2004, № 4 (12). С. 62–73.
6. Николаев А. Д., Хоряк Н. В., Серенко В. А., Клименко Д. В., Ходоренко В. Ф., Башлий И. Д. Учет диссипативных сил при математическом моделировании продольных колебаний корпуса жидкостной ракеты. Техническая механика. 2016. № 2. С. 16–31.
7. Башлий И. Д., Николаев А. Д. Математическое моделирование пространственных колебаний оболочечных конструкций с жидкостью с использованием современных средств компьютерного проектирования и анализа. Техническая механика. 2013. № 2. С. 18–25.
8. Kohnke P. Ansys Inc. Theory Manual. 001369. Twelfth Edition. Canonsburg : SAS IP, 2001. 1266 p.
9. Пилипенко О. В., Прокопчук А. А., Долгополов С. И., Хоряк Н. В., Николаев А. Д., Писаренко В. Ю., Коваленко В. Н. Математическое моделирование и анализ устойчивости низкочастотных процессов в маршевом ЖРД с дожиганием генераторного газа. Вестник двигателестроения. 2017. № 2. С. 34–42.
10. Гликман Б. Ф. Автоматическое регулирование жидкостных ракетных двигателей. 2-е издание, перераб и доп. М.: Машиностроение, 1989. 296 с.
11. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1972. 767 с.
12. Булгаков Б. В. Цепи регулирования с звеньями, имеющими по несколько степеней свободы. Прикладная математика и механика. 1950. Т. XIV, вып. 6. С. 619–650.

Отримано 12.08.2022,
в остаточному варіанті 28.09.2022