

Старжинська А.В., Пономаренко С.О.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІД ЧАС ЗАПУСКУ СУПУТНИКІВ НА НИЗЬКУ НАВКОЛОЗЕМНУ ОРБІТУ

Ключові слова: повітряний старт, аерокосмічна система, розгалужена траєкторія, розривна динамічна система, малі космічні апарати.

Розвиток новітніх технологій сприяє прискоренню розробки перспективних проектів малих космічних апаратів (МКА) при порівняно невеликих витратах часу та коштів. Водночас, найбільшою перешкодою на шляху до їх широкого застосування залишається доставка на орбіту. Сьогодні розробники МКА, як правило, орієнтуються на можливість їх виведення на орбіту в якості попутного навантаження при ракетному старті. Однак, для проведення недорогих і швидких місій високий потенціал для запуску МКА має метод повітряного старту, що передбачає застосування авіаційно-космічних систем (АКС) у складі літака-носія (ЛН), ракети носія (РН). Його ефективність досягається шляхом оперативного підбору оптимальної траєкторії виведення, точки і напрямку запуску РН із ЛН.

Траєкторія виведення МКА є розривною. Вона має декілька етапів, протягом яких параметри руху РН залишаються безперервними, а в моменти переходу між цими етапами (відділення ступенів, головного обтікача та самого МКА) вони змінюються стрибками в межах прийнятих обмежень. Найбільш складною ділянкою польоту АКС є виведення РН на орбіту після її відділення від ЛН. Існують також похибки визначення початкових умов. Якщо РН запускається зі наземного стартового пристрою, то похибки початкових координат вважаються відсутніми і необхідно мінімізувати лише похибку часу старту. При повітряному старті додатково виникають і похибки початкових координат.

Однією з найбільших технічних проблем під час повітряного старту є нестабільний стан РН, як елемента АКС як складеної системи. Швидкість, висота і кут нахилу траєкторії РН при старті мають бути максимально наближені до номінальних значень. Тому актуальним є визначення необхідних умов побудови оптимальної траєкторії виведення МКА, що забезпечать її відповідність всім вимогам до оптимальних траєкторій та ефективне використання енергетичних ресурсів АКС.

Керування РН на цій ділянці реалізується методом термінального керування, що полягає у виведенні об'єкту в заданий кінцевий стан з максимальною точністю у відповідності із різними цільовими обмеженнями, що накладаються на параметри руху і керування РН. Алгоритм такого керування передбачає прогнозування майбутнього руху РН від поточного до термінального моменту, формування керуючого впливу та необхідну корекцію траєкторії виведення.

Визначення керування РН відбувається методами теорії оптимального керування складними динамічними системами. Математична модель руху

АКС представляється у вигляді математичної моделі розривної динамічної системи. Застосування даних методів дозволило визначити умови оптимальності траєкторії виведення РН та знайти алгоритм оперативної оптимізації розгалужених траєкторій руху АКС.

Методика рішення задачі полягає в визначенні сценарію розгалуження траєкторії РН та її структурної схеми. Складається рівняння руху підсистем складеної динамічної системи уздовж гілок траєкторії та окреслюються обмеження. Формується критерій в точках розриву траєкторії на підставі визначених обмежень та встановлюється послідовність моментів часу структурних перетворень. Враховуючи змінний розмір вектору стану і керування, проводиться перехід від складеної динамічної системи до розривної.

В результаті проведеного дослідження були визначені необхідні і достатні умови оптимальності керування розривними динамічними системами з адаптивними властивостями щодо дії збурень, які спричиняють зміну параметрів процесу виведення АКС на орбіту. Вирішено проблемні питання, що постають при створенні багаторазової АКС, розроблено оптимальну траєкторію РН під час повітряного стару.

Дослідження проводилися для проекту української аерокосмічної системи на базі ЛН Ан-124 «Руслан». При цьому були враховані особливості конструкції, аеродинамічні та експлуатаційні характеристики ЛН. Розроблено оптимальну траєкторію руху ракети-носія під час повітряного старту.

Оптимізація процесу виведення дозволяє підвищити ефективність АКС, збільшити корисне навантаження і сприяє підвищенню надійності польоту внаслідок підвищення стійкості алгоритмів виведення до збурюючих впливів.

Література

1. Пономаренко С.О. Модель національної аерокосмічної системи розгортання глобальної сенсорної мережі / С.О. Пономаренко, О.М. Тачиніна, О.І. Лисенко, В.Б. Кисельов, О.Г. Гуйда // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2020. – № 6. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/6_2020/part_1/6.pdf – 26 с.

2. Немовленко А. Е. Воздушный старт космических аппаратов / А.Е. Немовленко, А.В. Макарова, М.В. Кирпиков // Символ науки. Международный научный журнал. – 2020. – № 12. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://elibrary.ru/> – 67 с.

3. Баранов В.Л. Моделирование задач терминального управления методом дифференциальных преобразований / В.Л. Баранов, О.С. Урусский, Г.Л. Баранов // Электронное моделирование. – 1995. – №2. – 12-16 с.