

УДК 629.764

Оптимизация системы отвода створок головного обтекателя ракеты-носителя «Союз-2.1б»

Кузнецова Екатерина Ильинична^(*)

a133b06@voenmeh.ru

Бурунова Виктория Юрьевна

burunova_viu@voenmeh.ru

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача оптимизации системы принудительного отвода створок головного обтекателя (ГО) ракеты-носителя «Союз-2.1б». Представлена математическая модель динамики створки как абсолютно твердого тела с шестью степенями свободы. Применен генетический алгоритм NSGA-II для определения параметров привода, исключающих реверс траектории створки. Показано, что оптимизированные параметры обеспечивают увеличение минимального расстояния до полезной нагрузки (ПН) до 18,7 м и полностью исключают риск столкновения.

Ключевые слова: головной обтекатель, ГО, отделение створок, полезная нагрузка, безопасность, математическое моделирование, оптимизация

Введение. Процесс отделения ГО является одним из наиболее критичных этапов полета ракеты-носителя «Союз-2.1б». Основная задача — обеспечить гарантированное удаление створок от полезной нагрузки (ПН). Неоптимальные параметры системы отвода могут привести к нештатному возвратному движению, характеризующимся разворотом створки под действием аэродинамических моментов и сопровождающимся ударом по корпусу ракеты или разгонному блоку «Фрегат».

Методы и материалы; результаты. Для анализа процесса отделения разработана математическая модель динамики створки как абсолютно твердого тела с шестью степенями свободы. Модель учитывает моменты от сил привода, аэродинамических сил, гравитации и инерции.

Основные уравнения динамики:

– уравнения поступательного движения:

$$m \cdot \ddot{\vec{R}}_{CM} = \vec{F}_{aero} + \vec{F}_{grav} + \vec{F}_{np} + \vec{F}_{in} - m \cdot \ddot{\vec{a}}_{RN};$$

– уравнения вращательного движения:

$$\mathbf{J} \cdot \dot{\vec{\omega}} + \vec{\omega} \times (\mathbf{J} \cdot \vec{\omega}) = \vec{M}_{np} + \vec{M}_{aero} + \vec{M}_{grav} + \vec{M}_{in};$$

– аэродинамические нагрузки рассчитывались по формуле:

$$\vec{F}_{aero} = \bar{q} \cdot S \cdot \vec{C}_F(\alpha, M), \vec{M}_{aero} = \bar{q} \cdot S \cdot L \cdot \vec{C}_M(\alpha, M),$$

где $\bar{q}$ — скоростной напор; S — характерная площадь; L — характерная длина; α — угол атаки; M — число Маха; $\vec{C}_F(\alpha, M)$ — вектор коэффициента

аэродинамической силы; $\vec{C}_M(\alpha, M)$ — вектор коэффициента аэродинамического момента.

Поставлена многокритериальная задача оптимизации с вектором управляющих параметров:

$$X = \{F_{np}, d_{np}\}, F_{np} \in [50, 250] \text{ кН}, d_{np} \in [1.0, 3.0] \text{ м}.$$

Целевые функции:

– $f_1(X) = -\min(D_{PN}(t)) \rightarrow \max$ — максимизация минимального расстояния до ПН;

– $f_2(X) = \max(|\alpha(t)|) \rightarrow \min$ — минимизация максимального угла атаки.

Для решения задачи применен генетический алгоритм NSGA-II, реализованный в среде MATLAB.

Сравнительные результаты исследований

Параметры	Сила привода (F_{np}), кН	Плечо привода (d_{np}), м	Минимальное расстояние до ПН (L), м	Угол атаки (α), °	Риск повреждения ПН
Неоптимизированный вариант ($F_{np} = 120$ кН, $d_{np} = 1,5$ м)	120	1,5	–2,1 (столкновение)	–15 (реверс траектории)	Критический
Оптимизированный вариант ($F_{np} = 175$ кН, $d_{np} = 2,4$ м)	175	2,4	18,7	до +65	Отсутствует

Заключение. Решение поставленной оптимизационной задачи позволяет значительно повысить безопасность процесса отделения ГО для ракеты-носителя «Союз-2.1б». Целенаправленный выбор параметров привода обеспечивает увеличение зазора между створкой и ПН с отрицательных значений до 18,7 м и полностью исключает вероятность нештатного возвратного движения створки. Полученные результаты могут быть применены для модернизации существующих и проектирования перспективных систем отделения ГО семейства ракет «Союз».

Список источников

- [1] *Ракета-носитель «Союз-2.1б». Техническое описание.* Москва, РКК «Энергия», 2021, 234 с.
- [2] Лавров Е.А., Белоцерковский С.М. Динамика отделения створок головного обтекателя с учетом нестационарных аэродинамических характеристик. *Космонавтика и ракетостроение*, 2020, № 4, с. 45–56.
- [3] Никитин В.А., Соколов А.В. *Теоретическая механика. Динамика.* Самара, Изд-во Самарского университета, 2019, 380 с.