

УДК 629.762.2

Разработка алгоритма массового расчета многоступенчатой ракеты-носителя на жидком топливе

Коровин Виктор Валерьевич^(*)

korovinvv@bmstu.ru

SPIN-код: 5947-3452

Окень Герман Ильич

okengerman@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена разработке алгоритма массового расчета многоступенчатой ракеты-носителя на жидком топливе. Решается задача определения минимума стартовой массы и рационального распределения массы по ступеням. Используются выражения для удельных измерителей конструкции, учитывающие тип топлива и масштабный фактор. В этом случае весовое качество каждой ступени не является предварительно заданным. Оно определяется в процессе расчета для каждого рассматриваемого варианта. Сравниваются численно-аналитические способы решения задачи с алгоритмом, основанным на переборе вариантов в заданной области параметров. Представлены результаты моделирования для ракет-носителей с двумя и тремя ступенями.

Ключевые слова: проектирование ракеты-носителя, массовый расчет ракеты-носителя, оптимальное распределение масс ступеней, минимум стартовой массы

Введение. Задача массового расчета — определение стартовой массы ракеты и оптимального распределения массы по ступеням при заданной характеристической скорости. В классической монографии [1] предлагается решение для частного случая, когда удельные импульсы и коэффициенты весового качества ступеней одинаковы. В [2] и [3] рассматриваются более сложные аналитические и численно-аналитические подходы, свободные от этих ограничений. Однако, коэффициенты весового качества ступеней должны быть предварительно заданы. В действительности, варьирование масс ракетных блоков означает изменение их весового качества. Это подтверждают предложенные в [4] аппроксимирующие зависимости для удельных измерителей конструкции, в которых аргументом является масса ступени или связанные с ней величины. Выполнение расчетов в этом случае требует разработки численного алгоритма.

Методы и материалы; результаты. Математическая модель, используемая для проектировочного массового расчета ракеты-носителя, включает формулу Циолковского, весовые уравнения для ступеней и выражения для удельных измерителей (весовых коэффициентов) конструкции. Характеристическая скорость задается по результатам баллистического расчета. Наиболее простым подходом является разработка и использование алгоритма, основанного на переборе вариантов в заданной области параметров. В качестве первого приближения рассматривается случай, когда каждая ступень ракеты-

носителя дает одинаковое приращение скорости [1]. Затем, варьированием распределения приращений скорости между ступенями, выявляется вариант с минимальной стартовой массой. Алгоритм расчета реализован в среде Mathcad. При анализе трехступенчатого варианта носителя затраты машинного времени оказываются небольшими, что делает удобным использование созданной программы в учебном процессе.

Заключение. Предложена методика и разработан алгоритм проектировочного массового расчета многоступенчатой ракеты-носителя на жидком топливе. Программа, написанная в среде Mathcad, позволяет находить минимум стартовой массы и определять оптимальное распределение масс по ступеням. Весовое качество каждой ступени при этом определяется с использованием заданных аппроксимирующих зависимостей для весовых коэффициентов, учитывающих массу ступени и тип используемого топлива. Приводятся результаты расчетов и выполнено сравнение с результатами, полученными по аналитическим зависимостям.

Список источников

- [1] Космодемьянский А.А. *Динамика космического полета*. Москва, Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011, 248 с.
- [2] Микрин Е.А., Звягин Ф.В. *Введение в механику полета и управление космическими аппаратами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020, 566 с.
- [3] Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Куренков В.И. *Выбор основных проектных характеристик и формирование конструктивного облика ракет-носителей*. Самара, Изд-во СГАУ, 2015, 448 с.
- [4] Мухамедов Л.П. *Основы проектирования транспортных космических систем*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 265 с.