

УДК 629.764.7

Массовый анализ ракет-носителей малой грузоподъемности

Бечаснов Павел Михайлович

bechasnov@bmstu.ru

SPIN-код: 7996-8716

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена зависимость массовых характеристик жидкостных ракетных блоков малой размерности от масштабного фактора, определены основные составляющие этой массы и оценен характер влияния на нее основных определяющих параметров. Полученные результаты сравнены с доступными статистическими данными. Показано определяющее влияние на сухую массу ракетного блока (РБ), действующей на него приведенной сжимающей силы, отнесенной к площади его миделева сечения. Выявлено, что для современных РН малой грузоподъемности степень увеличения относительной конечной массы РБ при уменьшении их размерности может быть значительно снижена по сравнению с ранее разработанными изделиями схожей размерности.

Ключевые слова: ракета-носитель, массовый анализ, масштабный фактор, массовое совершенство, методы оценки

Введение. Известные зависимости, созданные с использованием метода удельных показателей, плохо описывают область параметров, соответствующую РН малой грузоподъемности. Так, формулы, предлагаемые в работе [1], описывают РБ с полной массой не менее 30 тонн, разделяя их массу только на топливные отсеки и прочие элементы. В работе [2] удельные показатели массы РБ малой размерности основываются на изделиях времен зарождения космонавтики, в силу чего их худшие характеристики обусловлены техническим уровнем, а не размерностью. Например, у РН Vanguard, созданной в 1958 г., отсутствовала система ограничения поперечных перегрузок, появившаяся только на РН Saturn-V, топливные баки и баллоны наддува были выполнены из нержавеющей стали [3]. Однако удельные показатели ее блоков в одиночку определяют [2] достаточно большой участок зависимости массового совершенства РБ от масштабного фактора. Это зашумляет исходные данные для проектирования и не дает возможности предпроектного анализа конструкций РН малой грузоподъемности.

Поэтому целью данной работы был анализ зависимости массовых характеристик РБ малой размерности от масштабного фактора. Для достижения данной цели требовалось решить следующие задачи: провести сравнительный анализ составляющих массовой сводки РБ малой размерности; проанализировать зависимости массы топливных баков и сухих отсеков от определяющих критериев; определить зависимость массы системы наддува от определяющих критериев; получить аналитические зависимости для масштабирования показателей массового совершенства РБ; сформировать эмпирическую взаимосвязь массового совершенства РБ малой размерности с их масштабом на основе

полученных данных и сравнить с результатами, полученными по известным моделям.

Методы и материалы; результаты. В данной работе исследования проводились с использованием аналитических и статистических данных о параметрах составных частей РБ, доступных из литературных источников. С помощью факторного анализа определены основные составляющие сухой массы РБ, из доступных аналитических зависимостей оценен характер влияния на массу этих составляющих основных определяющих параметров. Полученные результаты сравнены с доступными статистическими данными.

Проведен сравнительный анализ составляющих массовой сводки РБ, показавший значимость влияния масс топливных баков, сухих отсеков и системы наддува при возможности пренебрежения вкладом иных составляющих. Показано, что масса этих составляющих в первом приближении прямо пропорциональна сжимающей силе, отнесенной к площади поперечного сечения РБ. Меньшее влияние оказывают рост массы топливных баков с их удлинением и увеличение коэффициента охлаждения вытеснительного газа с уменьшением диаметра баков.

Закключение. В результате анализа эмпирической зависимости массового совершенства РБ малой размерности от их масштаба с помощью полученных аналитических соотношений было выявлено, что степень увеличения относительной конечной массы РБ при уменьшении их размерности в существующих статистических моделях значительно преувеличена. В целом использование для прогноза массового совершенства РБ полученных аналитических соотношений с масштабированием параметров известного прототипа обеспечивает погрешность на уровне 10–15 %, что лучше, чем у метода удельных измерителей. Таким образом, анализ зависимости массовых характеристик РБ малой размерности от масштабного фактора проведен и цель работы достигнута.

Список источников

- [1] Мухамедов Л.П., Кириевский Д. А. Приближенная методика проекторочного баллистического расчета первых ступеней ракет-носителей. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2020, № 6, с. 67–77.
- [2] Koelle D.E. *Handbook of Cost Engineering and Design of Space Transportation Systems*. Germany, Ottobrunn, Transcost Systems, 2013, 276 p.
- [3] Klawans B. *The Vanguard Satellite Launching Vehicle — An Engineering Summary*. URL: <https://archive.org/details/TheVanguardSatelliteLaunchingVehicle> (accessed 23.11.2025).