

УДК 629.785

Численное исследование рабочих процессов в пневмогидравлической системе малого разгонного блока «БОТ» на основе 1D-моделирования

Георгиев Александр Федорович

ageorgiev@bmstu.ru

SPIN-код: 5328-2651

Тетерина Мария Вячеславовна^(*)

mariya10341@yandex.ru

SPIN-код: 3057-4719

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена проектированию двигательной установки малого разгонного блока «БОТ» (МРБ) с применением отечественного программного комплекса «Моделирование динамических систем» (МДС). Разработана архитектура пневмогидравлической системы (ПГС), использующей метан и кислород в качестве рабочих тел. Осуществлен выбор рационального теплового режима системы за счет замены традиционного термостатирования на адиабатическое сжатия газа. Предложенное техническое решение позволяет упростить конфигурацию системы ПГС МРБ.

Ключевые слова: 1D-моделирование, пневмогидравлическая система, малый разгонный блок, двигательная установка, МДС, МРБ

Введение. В условиях сжатых сроков разработки космических аппаратов (КА) необходимо сокращать этап проектирования, в рамках которого проводятся параметрические исследования. В качестве решения рассмотрена система 1D-моделирования МДС, позволяющая проводить комплексный динамический анализ сложных мультифизичных систем, корректировать параметры и ускорять процесс принятия и обоснования проектного решения.

Цель работы: формирование и оптимизация архитектуры МРБ путем проведения параметрических исследований на основе модельно-ориентированного подхода.

Задачи работы:

- разработать параметрическую 1D-модель ПГС в программном комплексе МДС для выбора рационального варианта архитектуры системы и ее параметров;
- провести валидацию разработанной модели путем сопоставления рассчитанных тяговых характеристик двигателей с данными, полученными на основе расчета аналитическими методами [1];
- исследовать термодинамические процессы в полученной 1D-модели МРБ.

Методы и материалы; результаты. Программный комплекс МДС представляет собой универсальный инструмент для анализа технических систем. Моделирование объекта осуществляется путем построения расчетной схемы, в которой графические элементы соединяются между собой в соответствии

с конструктивными правилами, после чего задаются начальные условия и параметры. На основе созданной расчетной схемы комплекс автоматически формирует систему дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ), представляющую собой математическую модель объекта [2].

Поскольку ключевая функция МРБ — выведение КА на целевые орбиты, его объединенная двигательная установка должна обеспечивать изменение высоты, коррекцию положения, стабилизацию и маневрирование. Учитывая независимую подачу компонентов топлива в двигатель, ПГС метана и ПГС кислорода были смоделированы отдельно. Система горючего имеет наиболее сложную архитектуру в связи с необходимостью снабжения не только маршевого двигателя, но и двигателей стабилизации и ориентации.

Исходная схема ПГС предусматривала термостатирование газообразных компонентов в основных баках для сохранения тяговых характеристик [3]. В новой архитектуре ПГС использует коллектор с начальным давлением 1 атм., что исключает необходимость заправки на космодроме до рабочих 20 атм. и повышает безопасность выведения. Нагрев газа обеспечивается адиабатическим сжатием при выходе на рабочий режим, что позволило отказаться от системы подогрева.

Заключение. Ключевым изменением в архитектуре ПГС является применение эффекта адиабатического сжатия газа в коллекторах, что позволило исключить систему подогрева газа, повысив надежность конструкции и стабильность работы двигателей. В результате работы достигнута цель — разработана новая рациональная архитектура ПГС МРБ (метана и кислорода) и выбраны параметры узлов и агрегатов на основе 1D-моделирования в МДС. Разработанная 1D-модель в среде МДС характеризуется высокой степенью гибкости, что позволяет оперативно адаптировать архитектуру ПГС под требования различных миссий.

Список источников

- [1] Васильев Н.В., Новицкий Б.Б., Бурцев С.А. *Расчет сопла Лаваля с использованием газодинамических функций*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, 27 с.
- [2] *Официальный сайт ООО «СПЕКТР ИКС»*. URL: <https://spectrx.ru/> (дата обращения 10.06.2025).
- [3] Георгиев А.Ф., Трудоношин В.А., Кюрджиев Ю.В., Верзилин С.С., Никулин Д.С. Выбор проектных параметров пневмогидравлической системы малого разгонного блока «БОТ» на основе результатов 1D-моделирования. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2024, вып. 11, с. 1–13. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2024-11-2400>