

УДК 621.45.043

Оптимизация малогабаритного электронасосного агрегата для подачи топлива в жидкостный ракетный двигатель

Широкова Дарья Денисовна^(*)

dashashir23@mail.ru

SPIN-код: 6577-8446

Кочетов Артем Иванович

bornofthewyvern@yandex.ru

Широкова Евгения Сергеевна

shirokova@bmstu.ru

Черемушкин Вячеслав Андреевич

wcheremushkin@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлены результаты оптимизации конструкции малогабаритного электронасосного агрегата (ЭНА) для подачи высококонцентрированного пероксида водорода в жидкостный ракетный двигатель. Ключевыми направлениями оптимизации стали: переход на герметичную схему, повышение технологичности изготовления, проведение теплового анализа и адаптация характеристик под современные элементы силовой приводной системы. Цель работы — создание компактного, надежного и экономически эффективного агрегата, альтернативного традиционным турбонасосным системам.

Ключевые слова: электронасосный агрегат, центробежный насос, малые космические аппараты, жидкостный ракетный двигатель, оптимизация, малогабаритная ракета, монотопливо, пероксид водорода

Введение. Развитие малогабаритных ракет-носителей требует создания компактных, управляемых и дешевых систем подачи топлива [1]. Электронасосные агрегаты (ЭНА) являются перспективной заменой турбонасосным агрегатам (ТНА), однако их внедрение требует решения задач по оптимизации массогабаритных показателей, энергоэффективности и надежности [2, 3]. Данная работа посвящена комплексной оптимизации конструкции ЭНА, направленной на преодоление этих проблем.

Методы и материалы; результаты. На основе ранее разработанного прототипа центробежного ЭНА [2] была проведена его глубокая оптимизация по следующим направлениям.

1. Переход на герметичную конструкцию: конструкция была переработана в герметичное исполнение, что позволило использовать перекачиваемую среду (85 % пероксид водорода) для смазки и охлаждения подшипников [4] и электродвигателя, повысив тем самым надежность и пожаробезопасность.

2. Повышение технологичности: проанализирован и оптимизирован технологический процесс изготовления рабочего колеса [5]. Для сложноконтурных деталей рекомендовано использование ЧПУ-обработки, что снижает трудоемкость и обеспечивает высокую точность.

3. Тепловой анализ: проведено CFD-моделирование теплопередачи в зазоре между ротором и статором герметичного электродвигателя [6]. Результаты подтвердили эффективность жидкостного охлаждения, показав незначи-

тельный температурный перепад (до 3 К), что обеспечивает стабильную работу привода.

4. Оптимизация рабочих характеристик: в настоящее время ведутся работы по корректировке параметров агрегата [5]:

- снижение рабочей частоты вращения для улучшения кавитационных качеств и повышения надежности;

- увеличение напорной характеристики ступени для роста общей эффективности двигательной установки.

5. Адаптация элементной базы: запланированы сравнительные испытания ряда закупленных высокооборотных электродвигателей и их систем управления для выбора оптимального привода по критериям массы, габаритов, КПД и управляемости.

Заключение. В результате проведенных исследований была оптимизирована конструкция малогабаритного электронасосного агрегата. Ключевыми улучшениями стали герметизация, повышенная технологичность изготовления и обоснование теплового режима. Текущие работы направлены на улучшение рабочих характеристик (напора и частоты вращения) и экспериментальный подбор силового привода. Оптимизированный агрегат демонстрирует потенциал для создания компактной, экономичной и высоконадежной системы подачи топлива для перспективных малогабаритных жидкостных ракетных двигателей [1, 3].

Список источников

- [1] Campbell W.E., Farquh J. *Campbell Centrifugal Pumps for Rocket Engines*. Conference Paper. Pennsylvania State Univ. Fluid Mech., Acoustics, and Design of Turbomachinery, 1974, pt. 2, 34 p.
- [2] Широкова Д.Д., Широкова Е.С., Кочетов А.И. Разработка и исследование электронасосного агрегата для малогабаритных ракет-носителей. *XLIX Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 153–154.
- [3] Краев М.В., Лукин В.А., Овсянников Б.В. *Малорасходные насосы авиационных и космических систем*. Москва, Машиностроение, 1985, 128 с.
- [4] Иноземцева Н.В., Прач С.И. *Подшипники скольжения и их расчет*. Гомель, ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023, 75 с.
- [5] Елисеев Б.М. *Расчет деталей центробежных насосов: справочное пособие*. Москва, Машиностроение, 1975, 264 с.
- [6] Берг Б.В., Яковлев В.Н. *Теплообмен в машинах и аппаратах химических производств*. Москва, Машиностроение, 1986, 320 с.