

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ТУРБОВИНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Боровиков Д.А.

МАИ, г. Москва, BorovikovDA@mai.ru

Ключевые слова: ГТД, ТВД, ГСУ, гибридные двигатели, переходные режимы, математическое моделирование.

Современные газотурбинные двигатели достигли крайне высоких удельных параметров, их дальнейшее развитие требует применения новых материалов и источников энергии или перехода к новым схемам и типам двигателей. Одним из направлений дальнейшего развития авиационных двигателей может стать переход к гибридным силовым установкам (ГСУ). Применение таких двигателей может существенно повысить как удельные параметры силовой установки, так и экологичность летательных аппаратов [1]. Развитие идей гибридных двигателей началось в начале XXI века и получило существенное ускорение в последние годы с развитием технологий электрических машин и аккумуляторов [2].

Наиболее эффективно применение таких двигателей для беспилотных летательных аппаратов, имеющих малый вес [3,4] и низкоскоростных региональных пассажирских и транспортных летательных аппаратов, в перспективе с развитием технологий такие двигатели могут стать эффективными и для крупных авиалайнеров [2]. Интерес к развитию гибридных силовых установок проявляется как во всем мире [5], так и в России [6-9]. Большинство работ рассматривают гибридный двигатель с точки зрения повышения удельных параметров силовой установки. Помимо повышения удельных параметров такая силовая установка может обладать и другими преимуществами в рамках выполнения полетной задачи, обеспечить повышение ресурса и надежности силовой установки [10]. В рамках данной работы исследуются динамические характеристики гибридной силовой установки на базе турбовинтового двигателя (ТВД) на различных участках полетной задачи.

В первой части работы рассматривается приемистость гибридной силовой установки. Сравнивается динамика параметров при переключении режимов ТВД и ГСУ на базе ТВД с малого газа на максимальный и с максимального на малый газ при различных мощностях электрической части ГСУ. Несмотря на большую инерционность ротора ГСУ за счет электрической машины приемистость ГСУ может существенно превосходить ТВД.

Вторая часть работы рассматривает работу ГСУ в случае отказа ГТД. Рассматривается задача повторного запуска ГСУ на крейсерском режиме полета, а также задача обеспечения максимальной тяги при посадке за счет электрической машины при отказе ГТД. Результаты расчетов показали, что использование ГСУ позволяет обеспечить дополнительную тягу в случае отказа газотурбинной части как на режиме крейсерского полета, так и на режиме посадки. В случае отказа на крейсерском режиме полета ГСУ позволяет замедлить падение оборотов ротора газогенератора и позволяет обеспечить быстрый и стабильный повторный запуск двигателя. В случае отказа при посадке ГСУ может обеспечить тягу, достаточную для обеспечения посадки.

В работе представлена динамическая математическая модель ГСУ, выполнено сравнение приемистости ТВД и ГСУ на базе ТВД. Выполнен анализ работы ГСУ в случае отказа газотурбинной части. Полученные результаты позволяют сделать вывод о более высокой надежности и приемистости ГСУ на базе ТВД по сравнению с ТВД.

Список литературы

1. Bradley M., Droney C. Subsonic ultra green aircraft research: phase I final report // NASA, Langley Research Center 2011. 207 p. NASA/CR-2011-216847.

2. Examining the conceptual design process for future hybrid-electric rotorcraft / R.A. Danis [et al.] // NASA, Ames Research Center. 2018. 81 p. NASA/CR–2018–219897.
3. Harmon F.G. Neural Network Control of a Parallel Hybrid-Electric Propulsion System for a Small Unmanned Aerial Vehicle, Doctor of Philosophy Dissertation, University of California Davis, 2005.
4. Design, modelling and measurement of a hybrid powerplant for unmanned aerial systems / R. Glascock [et al.] // Australian Journal of Mechanical Engineering. No. 6(2). Pp. 69–78. doi:10.1080/14484846.2008.11464559.
5. Friedrich C., Robertson P.A. Hybrid-Electric Propulsion for Aircraft // Journal of Aircraft. 2015. No. 52(1). Pp. 176–189. doi:10.2514/1.c032660.
6. Каленский С.М., Морзеева Т.А., Эзрохи Ю.А. Силовые установка нетрадиционных схем для перспективных магистральных самолётов нового поколения. Труды ЦИАМ. № 1359, 2019.
7. Расчетные исследования эффективности применения гибридной силовой установки в составе самолета МВЛ / В.С. Захарченко [и др.] // Материалы XXX научно-технической конференции по аэродинамике. Материалы конференции, посвященной 150-летию со дня рождения С.А. Чаплыгина. 2019. С. 119-120.
8. Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В., Денисова Т.В. Моделирование турбовинтовой гибридной электрической двигательной // Российский электронный научный журнал. 2019. № 2(32).
9. Рябов П.А., Селиванов О.Д. Обзор работ ЦИАМ в области гибридных энергетических установок летательных аппаратов. От первых опытных БЛА до магистральных самолетов дальней перспективы // Международный форум Двигателестроения. Научно-технический конгресс по двигателестроению (НТКД–2018) (Москва, 5–6 апреля 2018): сборник тезисов. М.: Ваш Успех, 2018. С. 46–47.
10. Математическое моделирование гибридной силовой установки на базе ГТД для самолета местных воздушных линий / Ю.А. Равикович [и др.] // ICAM 2020 Международная научно-техническая конференция по авиационным двигателям сборник тезисов. Том 1. С. 283-286.

Сведения об авторе

Боровиков Дмитрий Александрович, младший научный сотрудник, аспирант. Область научных интересов: математическое моделирование авиационных и ракетных двигателей и их узлов, разработка методик и систем автоматизированного проектирования узлов авиационных и ракетных двигателей.

**MATHEMATICAL MODELING AND ANALYSIS OF TURBOPROP ENGINE
BASED HYBRID PROPULSION TRANSIENT PROCESSES**

Borovikov D.A.

Moscow Aviation Institute (National Research University), BorovikovDA@mai.ru

Keywords: gas turbine engine, turboprop engine, hybrid engines, transient modes, mathematical modeling.

The work is devoted to the hybrid propulsion response in comparison with turboprop engine. In addition, hybrid propulsion performance during gas turbine malfunction is analyzed. Analyzes showed a reduction of engine response time, reduction of RPM drops during cruise flight gas turbine shutdown, that provide additional time for engine stable restart and increased thrust during decline gas turbine malfunction.