

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ САМОЛЕТА С ГИБРИДНЫМ ГТД

Гуревич О.С., Сметанин С.А., Ромашихин И.М.  
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва, [sasmetanin@ciam.ru](mailto:sasmetanin@ciam.ru)

*Ключевые слова:* двигатель, электрическая мощность, динамические характеристики.

В качестве одного из наиболее перспективных направлений развития авиационных силовых установок (СУ) в настоящее время рассматривается электрификация и построение полностью электрических и гибридных СУ, в которых тяга получается путем совместного использования теплового двигателя (турбореактивного или поршневого) и электродвигателя. Прогноз развития электрических технологий и дорожные карты создания электрических и гибридных СУ показывают, что появления полностью электрических СУ для магистральных самолетов следует ожидать не ранее 2040-х годов, а наиболее близким к реализации является гибридный двигатель реактивной тяги с электрической подкруткой валов. В двигателе такой схемы на валы роторов устанавливаются электроприводы, позволяющие подводить дополнительную мощность к роторам низкого (РНД) и высокого давлений (РВД). Необходимая электрическая мощность может отбираться от внешних источников (аккумуляторов или вспомогательной силовой установки) или от генераторов, приводимых во вращение от роторов ГТД.

Исследования возможностей улучшения характеристик ГТД применением гибридной схемы построения проводятся за рубежом всеми ведущими разработчиками авиационных двигателей (General Electric, Rolls-Royce, Pratt&Whitney, Safran, Honeywell) и научными центрами (NASAGRC, AFRL и др.). В этих работах, в основном, рассматриваются преимущества, которые позволяет получить электрическая подкрутка на установившихся режимах работы двигателя [1,2], и лишь в немногих исследованиях рассмотрены отдельные аспекты ее влияния на динамические свойства двигателя [3,4].

В настоящей работе исследуются особенности характеристик гибридных ТРДД на режиме приемистости при разных способах применения в нем дополнительного электропривода роторов и возможное использование получаемых преимуществ.

При подводе дополнительной мощности к валам двигателя изменяется режим согласования компрессора и турбины, рабочие точки на характеристиках узлов меняют свое положение, что приводит к изменению параметров рабочего процесса в двигателе. Система автоматического управления (САУ) при этом продолжает поддерживать заданные значения параметров регулирования и обеспечивает требуемые характеристики двигателя. В зависимости от величины передаваемой на роторы электрической мощности, способа ее передачи (от внешнего источника или от другого вала) и направления (к РНД или к РВД) параметры двигателя и реакция САУ будут разными.

Для оценки влияния всех этих факторов на динамические характеристики двигателя в термогазодинамическую математическую модель ТРДД введены математические модели подвода и отбора дополнительной мощности для обоих валов двигателя. Математическое моделирование выполнено при мгновенном изменении электрической мощности в начале процесса приемистости. Рассмотрены схемы подвода электрической мощности от внешнего источника энергии к каждому ротору отдельно и к обоим роторам одновременно в различных пропорциях (1:3, 1:1, 3:1), отбор мощности от одного вала и передача этой мощности другому (от РНД к РВД и от РВД к РНД). Величина электрической мощности варьируется в размере 10, 20, 30 и 50% от номинальной газодинамической мощности, развиваемой турбинами двигателя на режиме малого газа (МГ). Расчеты выполнены для переходного режима работы ТРДД, протекающего при приемистости от режима полетного малого газа до максимального режима, и используемого при уходе самолета на второй круг. В качестве базового значения времени

приемистости принята величина 5 с, задаваемая в технических требованиях к современному двигателю магистрального самолета.

На рис. 1 показано изменение положения линии 5-секундной приемистости на характеристике КВД при подводе к РВД мощности от внешнего источника в размере 50% от номинальной на режиме МГ. Программа управления в этом случае выбрана из условия сохранения времени приемистости посредством регулирования ускорения РВД.

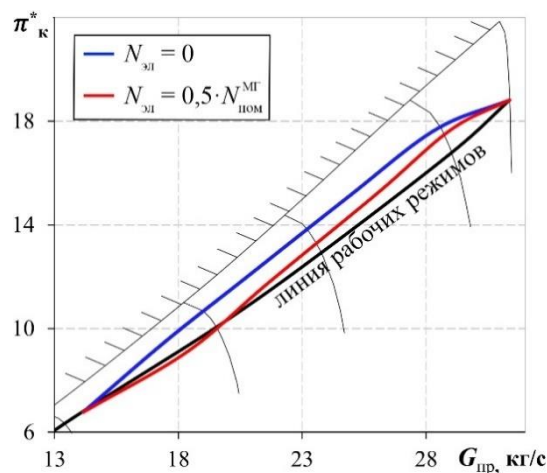


Рис. 1 – Изменение положения линии приемистости на характеристике КВД при подводе мощности к РВД

Видно, что подвод мощности позволяет повысить запасы газодинамической устойчивости (ГДУ) компрессора  $\Delta K_y$ . Запасы ГДУ увеличиваются в течение всего переходного процесса, а вблизи максимального режима повышение  $\Delta K_y$  составляет 5%, при этом на 50 К снижается заброс по температуре газа. Дополнительные запасы ГДУ могут быть использованы для оптимизации характеристик двигателя при его проектировании или для снижения времени приемистости при сохранении исходных запасов ГДУ.

Проведенные расчеты разных схем подвода и перераспределения электрической мощности показывают, что улучшение динамических характеристик ТРДД без ухудшения параметров рабочего процесса может быть достигнуто при подводе мощности от внешнего источника к РВД или одновременно к обоим валам двигателя, а в схеме с перераспределением мощности между валами сокращение времени приемистости достигается только в случае отбора от РНД и подвода к РВД. Оптимальным вариантом, позволяющим сократить время приемистости до 3 с, при сохранении требуемых запасов ГДУ КВД и того же уровня максимальной температуры на входе в турбину, является подвод мощности от внешнего источника к РВД и РНД в пропорции 3:1.

Рассмотренное построение гибридного двигателя – возможность повышения безопасности при уходе самолета на второй круг, а также способ улучшения маневренности многорежимного самолета.

### Список литературы

1. Kloos V., Speak T.H., Sellick R.J., Jeschke P. Dual Drive Booster for a Two-Spool Turbofan: High Shaft Power Offtake Capability for MEA and Hybrid Aircraft Concepts // Proc. of ASME Turbo Expo 2018. 2018. GT2018-75501.
2. Antcliff K.R., Guynn M.D., Marien T.V., Wells D.P. Mission Analysis and Aircraft Sizing of a Hybrid-Electric Regional Aircraft // Proc. of 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting. 2016. AIAA 2016-1028.
3. Kratz J.L., Culley D.E., Thomas G.L. A Control Strategy for Turbine Electrified Energy Management // Proc. of 2019 AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium. 2019. AIAA 2019-4499.

4. Culley D.E., Kratz J.L., Thomas G.L. Turbine Electrified Energy Management (TEEM) for Enabling More Efficient Engine Designs// Proc. of 2018 Joint Propulsion Conference. 2018. AIAA 2018-4798.

Сведения об авторах

Гуревич Оскар Соломонович, д-р техн. наук, профессор, заместитель генерального директора – директор исследовательского центра «Системы автоматического управления». Область научных интересов: авиационные двигатели и их системы автоматического управления.

Сметанин Сергей Анатольевич, начальник отдела. Область научных интересов: методы и системы автоматического управления авиационными силовыми установками.

Ромашихин Иван Михайлович, инженер. Область научных интересов: математическое моделирование ТРДД и его САУ, управление гибридными двигателями реактивной тяги.

#### **STUDY OF TRANSIENT PERFORMANCE OF AIRCRAFT PROPULSION SYSTEM WITH HYBRID GAS TURBINE ENGINE**

Gurevich O.S., Smetanin S.A., Romashikhin I.M.

Central Institute of Aviation Motors, Moscow, Russia, [smetanin@ciam.ru](mailto:smetanin@ciam.ru)

*Keywords: engine, electric power, transient performance.*

Transient performance of a hybrid turbofan with different methods of using additional electric drive of the rotors is investigated. Using a mathematical model of the engine, the optimal hybrid-electric configurations to reduce the thrust response time are determined.