

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ОБЛИКА ТРДД В СОСТАВЕ ГСУ РЕГИОНАЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО САМОЛЕТА НА ЖИДКОМ ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

Рахманкулов Д.Я., Овдиенко М.А., Захарченко В.С., Варюхин А.Н., Власов А.В.,
Сунцов П.С.

ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва, rahmankulov@ciam.ru

Ключевые слова: формирование облика ГСУ, интеграция СУ на ЛА, ТРДД, выносной вентилятор, электрическая трансмиссия, АБ.

Введение

Ограничения к уровню вредных выбросов и шума, предъявляемые к новым объектам гражданской авиации 2030-2040 гг, вынуждают разработчиков находить комплексные технологические и конструкционные решения применения различных схем силовой установки (СУ) на летательном аппарате (ЛА), применения альтернативных топлив и т.д. По нормам ИКАО ожидается снижение NOx относительно уровня CAEP/8 на 60 %. Поскольку термодинамический цикл традиционного газотурбинного двигателя (ГТД) находится на высоком уровне использования тепловой энергии, добиться столь высокого сокращения уровня выбросов за счет изменений параметров цикла и использования перспективных конструкционных решений камеры сгорания крайне затруднительно.

Инновационным решением является использование криогенного топлива, в частности жидкого водорода. Его применение для силовых установок (СУ) исключает эмиссию CO₂, снижает массовые выбросы NOx в 1,85 раз меньше, чем у керосина [2]. Поддержание температуры жидкого водорода не выше начала кипения – 20 К открывает большие возможности проектирования различных схем с применением электрических машин на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). В таких схемах возможен отбор необходимой величины механической энергии ГТД и распределение потоков электрической энергии на необходимое количество движителей.

В данной работе рассматриваются особенности формирования облика турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) для традиционной схемы, работающей на водороде (рисунок 1 а), и перспективных схемных решений применения ГСУ на ЛА (рисунок 1 б) с целью увеличения эффективности термогазодинамического цикла СУ. Объектом исследований является 70-местный региональный пассажирский самолёт.

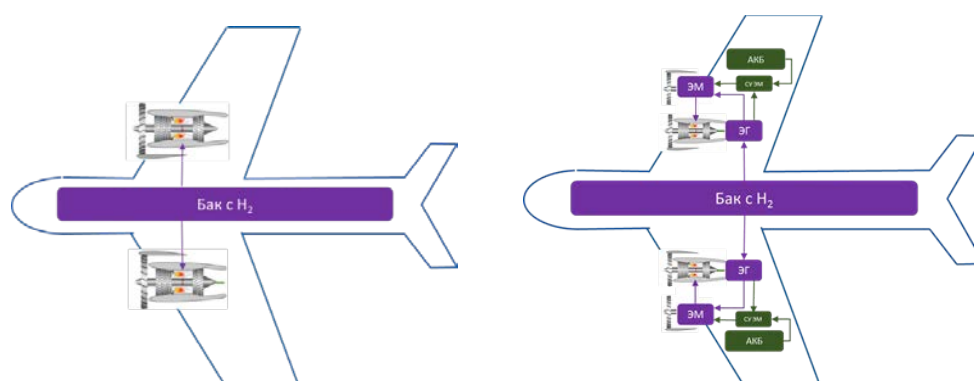


Рис. 1. Общий вид 70-местного регионального пассажирского самолета

Традиционная СУ на водороде

Анализ критических технологий применения перспективных материалов в горячей и холодной части авиационного двигателя, проектирования и технологий производства узлов, эффективности их работы в мировом двигателестроении позволяют использовать в расчетах высокие показатели цикла рабочего процесса ГТД [3-16]. В результате сформирован облик безредукторного двухвального ТРДД, работающего на водороде (с высокой степенью

двухконтурности – 7,8, суммарной степенью повышения давления в компрессоре – 45, максимальной температуры газов в сопловом аппарате турбины высокого давления – 1930 К) без смешения потоков под заданные потребные тяги и условия полета с учетом отборов воздуха для системы кондиционирования и мощности на нужды объекта.

ГСУ на водороде с двумя ТРДД и двумя выносными вентиляторами

Схема ГСУ подразумевает использование аккумуляторных батарей (АБ) на режиме руления и взлета с целью удовлетворения норм выбросов NOx. Часть тепловой энергии ТРДД используется для создания тяги вентилятора второго контура, приводимого в движение через вал турбины низкого давления, часть – через реактивную тягу внутреннего сопла и часть – через электрический генератор, отбирая мощность от вала низкого давления на выносной вентилятор, приводимый электродвигателем (рисунок 1 б).

Поисковые исследования влияния отбора мощности от вала вентилятора, степени двухконтурности и степени повышения давления вентилятора для определения минимального расхода топлива ТРДД привели к следующим параметрам цикла: степень двухконтурности 4,5, доля отбора мощности 40 %. Основная идея заключалась в увеличении полного КПД СУ за счет распределении большей части работы цикла на вал вентилятора и уменьшении тяговой работы и потерь с выходной скоростью из внутреннего сопла, а также увеличении тягового КПД выносного вентилятора. Достичь этого возможно при увеличении суммарной степени двухконтурности за счет использования выносных вентиляторов, которые в отличие от вентилятора ТРДД, не зависят от турбины низкого давления и могут быть спроектированы на меньшую частоту вращения с большим расходом воздуха на необходимую скорость полета. Важно отметить, что отбор воздуха для системы кондиционирования самолета осуществляется через приводной компрессор, который в свою очередь питается от генератора на валу каскада низкого давления, улучшая тем самым термогазодинамический цикл ТРДД.

Результаты

Сформированы облики перспективных ТРДД для уровня технологического развития 2030-2040 гг. для двух схем. Использование водорода приводит к росту работы цикла и внутреннего КПД из-за высокой теплотворной способности (120 МДж/кг) и свойств продуктов сгорания в воздухе (в основном за счет увеличения значения газовой постоянной и, как следствие, роста работы расширения в турбине). Это позволяет снизить почти в 3 раза удельный расход топлива, по сравнению с керосином.

Использование схемы ГСУ позволяет снизить удельный расход топлива на 7 % по сравнению с традиционной схемой СУ, работающей на водороде. Суммарная степень двухконтурности ГСУ по сравнению с традиционными ТРДД увеличена с 7,8 до 12,7, диаметр ТРДД снижен с 1,3 до 1,07, а диаметр выносного вентилятора – 1,2 м. Распределении тяги между ТРДД и выносным вентилятором составил 59 и 41 %, частоты вращения вентиляторов – 6700 и 4400 об/мин соответственно.

Использование ГСУ в составе: ТРДД с выносными вентиляторами в сравнении с СУ традиционного типа (ТРДД) обеспечивает самолету лучшую транспортную эффективность (7,3 г/пасс км против 8,5 г/пасс км у СУ традиционного типа), а также незначительное уменьшение взлетной массы ЛА (30020 кг против 30458 кг у СУ традиционного типа). Масса ГСУ с электрической трансмиссии по предварительным расчетам выше на 20 % СУ традиционного типа, работающего на водороде.

Данные результаты показывают высокую эффективность и перспективность использования ГСУ с использованием электрической трансмиссии на ВТСП для региональных самолётов.

Список литературы

1. Карпов, А. Е., et al. "Development of top-level requirements for regional aircraft based on the needs of the Russian market." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1024. No. 1. IOP Publishing, 2021.
2. Андреев В., Борисов В., Климов В. И др. Внимание: газы. Криогенное топливо для авиации – М.: Моск. Рабочий, 2001. – 224 с., ил.
3. TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET. No. E00093EN. Pratt & Whitney Canada Corporation, Models: PW814GA, PW815GA. February 24, 2017, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration
4. TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET. No. IM.E.096 for PW800 Series Engines. Issue: 03, 11 December 2019, European Union Aviation Safety Agency
5. PurePower PW800 – Powering the Future. (www.spsairbuz.com/story/?id=865&h=PurePower-PW800--mdash;Powering-the-Future)
6. Next-Generation PurePower PW800 engines power Gulfstream G500, G600. Aerospace Manufacturing and Design (<https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/pure-power-pw800-engines-gulfstream-101814/>)
7. TYPE CERTIFICATE DATA SHEET. № E00091EN, GENERAL ELECTRIC COMPANY MODELS: GE Passport 20-17BB1A, GE Passport 20-18BB1A, GE Passport 20-19BB1A. Revision 0, 29 April 2016, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration
8. TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET. No. IM.E.113 for Engine GE Passport 20 Series Engine. Issue: 02, 19 December 2019, European Union Aviation Safety Agency
9. Technology development continues for next generation turbofan and turboprop engines. News, May 08, 2013, (<http://aviationbenefits.org/newswire/2013/05/technologydevelopmentcontinuesfornextgenerationturb ofanandturbopropengines/>)
10. GE's Passport engine features ceramic matrix composites. News, Composites World, October 21, 2013.
11. TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET No. E.018 for BR700-710 engines Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG, 05 December 2019
12. Ulrich Wenger. Advance2 - Rolls-Royce Technology for the New Pearl Jet Engine Family. ISABE-2019-24021
13. Rolls-Royce celebrates launch of new Pearl engine family. Press Release, 29 May 2018, Rolls-Royce plc., (<https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/28-05-2018-rr-celebrates-launch-of-new-pearl-engine-family.aspx>)
14. Pearl 15. Rolls-Royce plc., (<https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/business-aviation/pearl-15.aspx#section-aftermarket-support-and-training>)
15. John Whurr. Future Civil Aero engine Architectures & Technologies. Rolls-Royce, 2013
16. Mark Thomas. Better power for a changing world. Next Generation Engines. 2014

Сведения об авторах

Рахманкулов Д.Я. инженер 1 категории, область научных интересов: рабочие процессы ГТД, термогазодинамика, интеграция СУ, ГСУ на ЛА;

Варюхин А.Н., к.т.н., заместитель генерального директора ЦИАМ - директор исследовательского центра «Гибридных и электрических силовых установок», область научных интересов: гибридные и электрические СУ;

Овдиенко М.А., к.т.н., заместитель директора центра «Гибридных и электрических силовых установок», область научных интересов: гибридные и электрические СУ;

Захарченко В.С., к.т.н., начальник отдела, интеграция СУ, ГСУ на ЛА;

Власов А.В., инженер 2 категории, интеграция СУ, ГСУ на ЛА.

Сунцов П.С. инженер-конструктор 1 категории, аэродинамика ЛА, моделирование ЛТХ ЛА, интеграция СУ, ГСУ на ЛА

DESIGN OF TURBOFAN ENGINE ON LIQUID HYDROGEN FUEL FOR A REGIONAL PASSENGER AIRCRAFT

Rakhmankulov D.Ya., Zakharchenko V.S., Varyukhin A.N., Ovdienko M.A.,
Vlasov A.V., Suntsov P.S.
CIAM

This paper considers the design features of a turbofan engine for a traditional scheme (for the level of technological development by 2030- 2040) powered by hydrogen and presents a hybrid power plant architecture for a regional passenger aircraft in order to increase the efficiency of the thermodynamic cycle of the power plant.

The hybrid power plant scheme involves the use of batteries in taxiing and take-off mode in order to meet the NO_x emission standards. The one part of a turbofan engine thermal energy is used to create the thrust of a fan driven through the shaft of a low-pressure turbine, another part is used through the jet thrust of an internal nozzle and the last part is taken by an electric generator, taking power from the low-pressure shaft to an external fan driven by an electric motor. The use of a hybrid power plant scheme reduces the specific fuel consumption by 7% compared to the traditional scheme of a hydrogen-powered power plant.