

УДК 621.452.3-762.4

Ю.В. РУБЛЕВСКИЙ*ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина*

ЩЕТОЧНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ – ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АВИАЦИОННЫХ ГТД И СТАЦИОНАРНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Представлено состояние работ по разработке и исследованию ЩУ для снижения утечек воздуха в авиационных ГТД и стационарных энергоустановках. Выполнены экспериментальные исследования разных вариантов ЩУ и сравнение их эффективности с традиционными уплотнениями. Установлено, что, изменяя параметры ЩУ, можно обеспечить их работоспособность в разных условиях эксплуатации. ЩУ можно с успехом применять для раздела двух сред. Внедрение таких уплотнений эффективный путь сбережения энергоресурсов, что особенно актуально для обеспечения экономической и экологической безопасности страны.

Ключевые слова: щеточное уплотнение, эксплуатационные характеристики, экспериментальные образцы.

Введение

Создание новых и модификация ранее разработанных авиационных ГТД, стационарных энергоустановок, а также ТЭС выдвигают особые требования к повышению их эффективности. Уменьшение непроизводительных утечек – одно из главных направлений решения этой задачи. Снижение утечек может быть достигнуто за счет совершенствования уплотнений.

В машиностроении сегодня основной вид уплотнений между статорными и роторными элементами – это лабиринты. Утечки через лабиринтное уплотнение зависят от многих факторов, основные из которых конструктивное исполнение уплотнения, технология изготовления, величина радиального зазора, количество и геометрия гребешков, динамика взаимных перемещений ротора и статора.

Ведущие мировые разработчики авиационных и стационарных газотурбинных двигателей затрачивают значительные усилия на разработку, испытания и внедрение более эффективных видов уплотнений, таких как щеточные (ЩУ).

Щеточные уплотнения представляют собой набор металлических провололок малого диаметра из сплавов на основе никеля, хрома, кобальта, вольфрама или неметаллических волокон. Для уменьшения трения волокон щеточного уплотнения о роторную деталь проволоочки могут располагаться под углом к сопрягаемой поверхности ротора.

Для достижения требуемых показателей новых разработок широко используются специальные программы, финансируемые правительством. В рамках

выполнения таких программ отрабатывались элементы и узлы новых видов уплотнений. Для создания научно-технического задела проводятся специальные исследования и разработки.

Зарубежные информационные источники говорят об отработке и проверке работоспособности и эффективности новых видов уплотнений на фирмах «Роллс-Ройс», «Дженерал Электрик», Пратт-Уитни, Сименс, Мицубиси, Вестенхауз и ряде других фирм, занимающихся разработкой и эксплуатацией авиационных и стационарных ГТД. Для примера: примерно в 70 ГТД GE работают 205 ЩУ, их суммарная наработка составляет 1.4 млн. часов, а на одном из двигателей GE90 достигнута наработка свыше 40000 часов. В NASA выполнены работы по прямому сравнению расхода воздуха через лабиринтное и щеточное уплотнения на двигателе YТ-700[1].

Оценки показывают, что снижение утечек воздуха в газотурбинном двигателе на 1% сокращает величину удельного расхода топлива на 0,4%. На основании статистических данных 2004 года это могло бы обеспечить только американским авиационным компаниям экономию около 200 миллионов литров топлива в год. А годовая экономия во всем мире составила бы более миллиарда литров горючего [2].

Результаты исследований

В ГП «Ивченко-Прогресс» накоплен значительный опыт проведения работ по отработке конструкции и технологии изготовления ЩУ. Разработана методика проверок расходных характеристик и работоспособности различных вариантов ЩУ.

В ходе проведения комплекса испытаний на специально изготовленных установках были определены расходные характеристики различных вариантов щёточных уплотнений, сравнение расходных характеристик щёточных и лабиринтных уплотнений (рис. 1), а также влияние эксплуатационных факторов на их расходные характеристики.

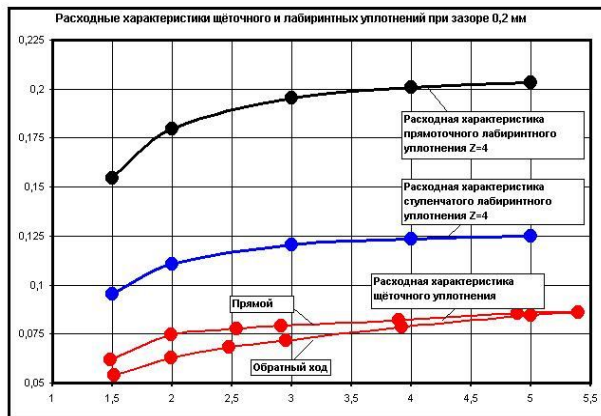


Рис. 1. Сравнение расходных характеристик лабиринтных и щёточных уплотнений

Результаты данных работ позволили перейти к внедрению ЩУ в конструкцию авиационных и стационарных турбин.

На экспериментальном авиационном двигателе была выполнена работа по прямому сравнению эффективности системы лабиринтных и щёточных уплотнений в системе компенсации осевого усилия (КОУ) турбины винтовентилятора.

Условия работы системы уплотнений: обороты ротора турбины винтовентилятора (ТВВ) 8440 об/мин, линейные скорости в уплотнениях до 160 м/с, давление воздуха в разгрузочной полости компенсации осевого усилия на шарикоподшипник ротора ТВВ 710 кПа, температура – 420 °С.

Для оценки эффективности исследуемых щёточных уплотнений выполнялась специальная препарировка для замера давления в полости КОУ и для замера давлений и температур воздуха в трубопроводе подвода воздуха на компенсацию осевого усилия (для определения расхода воздуха). Препарированный трубопровод подвода воздуха перед постановкой на двигатель проходил специальную тарировку «холодной» продувкой с целью определения расходной характеристики. Для определения температурного состояния детали ЩУ препарировались датчиками ИМТК (измеритель максимальной температуры кристаллический).

Выполненные работы показали, что данная система ЩУ по эффективности эквивалентна двойному ступенчатому лабиринтному уплотнению с 9-ю гребешками. В настоящее время продолжают работы по введению ЩУ в конструктивный профиль экспериментального авиационного двигателя.

На базе проведенных работ выполнен комплекс расчетных исследований по улучшению эксплуатационных характеристик турбины наземного применения за счет внедрения ЩУ. Задача заключалась в том, чтобы с минимальными переделками при сохранении исходной конструкции обеспечить возможность установки ЩУ в турбине энергопривода на базе авиационного ГТД (рис. 2).

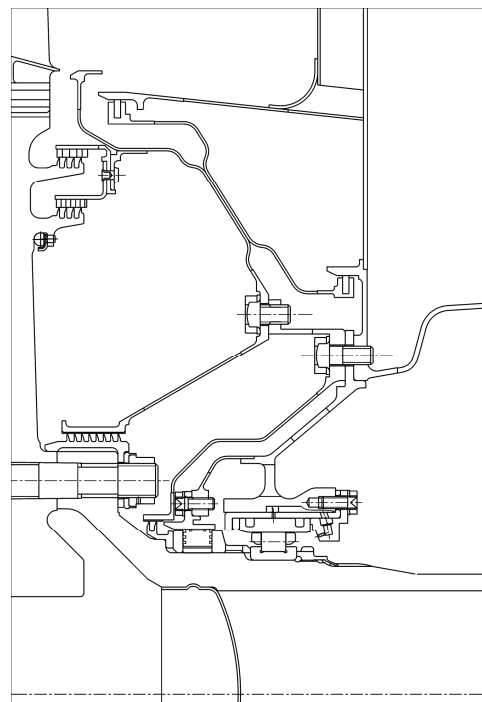
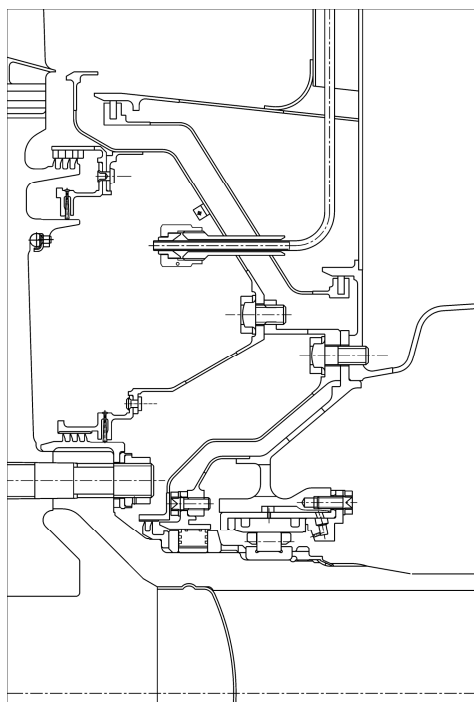


Рис. 2. Лабиринтные и ЩУ в турбине изделия АИ-336-6,3

Условия работы системы уплотнений: обороты ротора турбины 8650 об/мин, линейные скорости в уплотнениях до 177 м/с, давление воздуха в разгрузочной полости 4 кг/см², температура 350°C.

Расход воздуха через уплотнения разгрузочной полости уменьшается на 0,5%, при этом температура газа на входе в ТВД снижается на 4°, а ресурс рабочей лопатки ТВД может быть увеличен на 3000ч.

По результатам расчётных исследований выпущена конструкторская документация и изготовлены экспериментальные образцы для проверки эффективности мероприятий на энергоприводе для газоперекачивающих агрегатов или электростанций АИ-336-6,3.

Расчётно-экспериментальные исследования ЩУ разработки ГП «Ивченко-Прогресс» полностью подтверждены в ходе специальных экспериментальных стендовых испытаний в составе энергопривода АИ-336-6,3.

На работоспособность ЩУ влияют множество конструктивно-технологических параметров, основные из которых: высота уплотнительного элемента, диаметр микропроволочек и их материал, толщина уплотнительного элемента, угол наклона микропроволочек. Изменяя эти параметры ЩУ можно добиваться оптимальных условий работы щеточного уплотнения.



Рис. 3. Общий вид ЩУ после прохождения экспериментальных испытаний на изделии АИ-336-6,3

ЩУ можно с успехом применять там, где необходимо разделить две среды. При этом, как сообщает R.C. Hendricks, перепад давлений может достигать 10 кг/см², линейные скорости в уплотнениях 160 м/с, а температура 680°C (1).

За рубежом щеточные уплотнения повсеместно применяются практически во всех отраслях промышленности. По данным фирмы Sealeze такие уп-

лотнения могут значительно повысить эффективность подачи воздуха в котёл-подогреватель ТЭС. Целый ряд теплообменников проработали со ЩУ в условиях эксплуатации на ТЭС США более восьми лет.

Радиальные, осевые и окружные металлические полосы лабиринтного уплотнения воздухоподогревателя (ВПП) разработаны почти столетие назад. Металлические полосы деформируются сразу же после начала работы, что приводит к большому перетеканию воздуха и, как следствие, к увеличению потребляемой мощности и росту расхода топлива ТЭС.

Щеточные уплотнения (рис.4) идеально подходят для замены полос стали в регенеративных подогревателях воздуха. Жесткие уплотнения быстро изнашиваются, так как они не в состоянии соответствовать неровностям сопрягаемой поверхности.

Кроме того, такие уплотнения повреждаются в условиях больших перепадов давлений и температур (рис. 5).

Эффект от применения щеточных уплотнений может быть весьма значительным. Улучшение уплотнений подогревателя воздуха ведет к увеличению КПД котла, что снижает расход топлива ТЭС на 2%.



Рис. 4. Общий вид ЩУ фирмы Sealeze

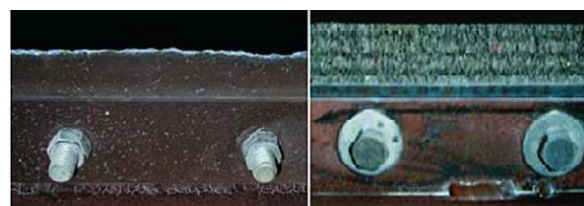


Рис. 5. Сравнение степени износа металлической полосы уплотнения (слева) и нового ЩУ (справа).

По материалам фирмы Sealeze

В условиях США, при поставочной стоимости угля 80\$ за тонну, годовая экономия на один воздухоподогреватель составляет более 3 млн. \$. Кроме того, сам котёл при этом работает в оптимальном режиме, что значительно снижает вредные выбросы тепловых электростанций в атмосферу.

Заключение

Прогрессивные конструкторско-технологические решения, отработанные в аэрокосмической отрасли промышленности, необходимо применять в стационарных энергоустановках и ТЭС, где они дают значительный экономический эффект. При этом также улучшаются экологические характеристики работы ТЭС за счёт снижения их вредных выбросов в атмосферу.

Применение новых видов уплотнений, таких как ЩУ, является одним из эффективных путей сбережения энергоресурсов, что особенно актуально в настоящее время для обеспечения экономической и экологической безопасности страны.

Литература

1. *Relative Performance Comparison Between Baseline Labyrinth and Dual-Brush Compressor Discharge Seals in a YT-700 Engine Test [Текст] / R.C. Hendricks, T.A. Griffin and T.R. Kline, K.R. Csavina, A. Pancholi and D. Sood // NASA Technical Memorandum 106360. – 1994. – 23 p.*

2. *Sealing in Turbomachinery [Текст] / R.E. Chupp, R.C. Hendricks, S.B. Lattime, B.M. Steinetz // NASA (Glen Research Center, Cleveland, Ohio) / TM (Timken Company, North Canton, Ohio), August 2006.*

Поступила в редакцию 30.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ЩІТКОВІ УЩІЛЬНЕННЯ – ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ ПОЛІПШЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АВІАЦІЙНИХ ГТД І СТАЦІОНАРНИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК

Ю.В. Рублевський

Представлений стан робіт з дослідження ЩУ для зниження витоків в авіаційних ГТД і стаціонарних енергоустановках. Виконані експериментальні дослідження різних варіантів ЩУ й порівняння їх ефективності із традиційними ущільненнями. Установлено, що, змінюючи параметри ЩУ, можливо забезпечити їхню працездатність у різних умовах експлуатації. ЩУ можна з успіхом застосовувати для розділу двох середовищ. Впровадження таких ущільнень ефективний шлях заощадження енергоресурсів, що особливо актуально для забезпечення економічної й екологічної безпеки країни.

Ключові слова: щіткове ущільнення, експлуатаційні характеристики, експериментальні зразки.

BRUSH SEALS THE EFFECTIVE REMEDY OF IMPROVEMENT OF PARAMETERS AVIATION GTE AND STATIONARY POWERHOUSES

Ju. V. Rublevsky

The condition of works research BS for decrease in leaks in aviation GTE and stationary power-house is presented. Experimental researches of various variants BS and comparison of their efficiency with tradition seals are executed. It is established, that changing parameters BS it is possible to provide their working capacity in different conditions of operation. BS it is possible to apply with success to section of two environments. Introduction of such consolidations an effective way of savings of power resources that is especially actual for maintenance of economic and ecological safety of the country.

Key words: brush seal, operational characteristics, experimental samples.

Рублевский Юрий Владленович – ведущий конструктор ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина, e-mail: RU-YV@mail.ru.