

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТОРЦОВЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ УПЛОТНЕНИЙ

© 2012 С. В. Фалалеев, И. С. Виноградов, В. В. Мидюкин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В статье изложен опыт сервисного обслуживания систем торцовых газодинамических уплотнений, описаны разработанное экспериментальное оборудование и методика эквивалентных испытаний, а также основные подходы к созданию системы их диагностирования.

Торцовое газодинамическое уплотнение, система диагностирования, экспериментальный стенд.

Эксплуатационные параметры стационарных газотурбинных установок зависят от допустимых в них уровней давления, температуры и скоростей вращения, пределы которых часто определяются возможностями используемых уплотнительных узлов. В настоящее время существует тенденция реконструкции наземных установок, предполагающая использование высокотехнологичных узлов, которые существенно снижают затраты на эксплуатацию и повышают их надежность. Одним из наиболее ярких примеров является применение торцовых газодинамических уплотнений (ТГДУ) [1]. При соблюдении правил эксплуатации и своевременного обслуживания такое уплотнение должно работать с малой утечкой без изнашивания пары трения в течение длительного ресурса (до 100 тыс.ч). Инвестиционные затраты при создании ТГДУ превышают затраты по созданию традиционных уплотнительных узлов турбомашин, однако система обеспечения функционирования и контроля параметров требует существенно меньших затрат [2]. Также и эксплуатационные затраты по ТГДУ существенно ниже.

Профилактические работы позволяют значительно увеличить ресурс ТГДУ и минимизировать эксплуатационные затраты, при этом они требуют от персонала высокого уровня теоретической подготовки и практических навыков. Узлы ТГДУ являются продуктом высокоточной технологии, имеют детали с точностью изготовления поверхностей до 1 мкм. Попадание в уплотнение твердых частиц и капельной влаги может ухудшить работоспособность уплотнений и уменьшить срок их службы.

Наиболее целесообразной является организация комплексной системы сервисного обслуживания, позволяющей применять совместно различные подходы техобслуживания к разным узлам оборудования, исходя из специфики их конструкции и условий эксплуатации на основе методики мониторинга и диагностики конкретных узлов изделий.

Предлагаемый подход к сервисному обслуживанию позволяет:

- минимизировать внеплановые остановки (внезапные отказы) ТГДУ при достижении максимально длительного срока его службы;
- оптимизировать структуры капитальных ремонтов систем ТГДУ и, как следствие, минимизировать большие единовременные финансовые затраты;
- обеспечить эффективность ремонтов за счёт послеремонтного обследования;
- увеличить межремонтные интервалы и сроки эксплуатации ТГДУ за счёт проведения монтажных, наладочных, ремонтных работ и модернизации в точном соответствии с техническими условиями и регламентами;
- идентифицировать и устранить повторяющиеся отказы путём анализа состояния систем ТГДУ;
- равномерно и обоснованно производить загрузку ремонтного персонала;
- повысить уровень промышленной безопасности;
- снизить эксплуатационные затраты предприятия.

В ООО «Газпром трансгаз Самара» был реализован комплекс по разработке, произ-

водству и сервисному обслуживанию ТГДУ. В частности, производятся следующие работы:

- мониторинг технического состояния систем ТГДУ во время эксплуатации;
- проведение регламентных работ систем ТГДУ;
- мелкий ремонт систем ТГДУ непосредственно в условиях компрессорной станции;
- проведение оценки состояния нагнетателя природного газа и смежных с ТГДУ узлов, способных оказать влияние на работоспособность ТГДУ;
- ревизия поступивших в ремонт узлов и стоек контроля и управления ТГДУ;
- ремонт узлов и стоек контроля и управления ТГДУ;
- испытания отремонтированных узлов и стоек контроля и управления ТГДУ;
- входной контроль покупных изделий и комплектующих;
- анализ дефектов и установление причин отказа систем ТГДУ;
- оценка остаточного ресурса систем ТГДУ;
- ведение статистики и учёта;
- консультации по внедрению систем ТГДУ;
- обучение сотрудников предприятий особенностям эксплуатации и обслуживания систем ТГДУ.

Для реализации данных работ были созданы:

- ремонтно-технологическая база;
- стенды для статических и динамических испытаний ТГДУ;
- оборудование для контроля покупных изделий и комплектующих;
- оборудование для оценки состояния элементов систем ТГДУ, поступивших в ремонт;
- склад с запасными узлами, запчастями и расходными материалами;
- специализированные инструкции.

Весьма эффективным и необходимым является создание системы диагностирования ТГДУ. В ней должны быть реализованы оригинальные методы, разработанные для выявления дефектов в ТГДУ на ранней стадии их проявления. Система диагностирова-

ния должна в автоматизированном режиме проводить анализ причин выявленных дефектов с выдачей рекомендаций по их устранению.

Внедрение предлагаемой системы сервисного обслуживания несомненно повысит надёжность эксплуатируемых систем ТГДУ, приведёт к увеличению межремонтного ресурса, снижению затрат на ремонт и уменьшит количество остановок ГПА со стравливанием газа. Необходимо отметить, что в настоящее время фирмы «Джон Крейн», «ИглБургманн», «Грейс» создали на территории России свои сервисные центры [3].

От объёма, режимов и длительности испытаний зависит достоверность оценки характеристик и надёжности изделия и, как следствие, технико-экономический эффект от его эксплуатации. Цели экспериментальных исследований ТГДУ заключаются в подтверждении результатов осуществлённых газодинамических и прочностных расчётов, а также оценке принятых решений, касающихся выбора материалов, процессов изготовления, монтажа и эксплуатации узла ТГДУ.

В настоящее время при участии авторов разработаны технология проектирования, изготовления и ремонта ТГДУ и, что особенно важно, методология их доводки на заданные параметры. Создана производственная и экспериментальная база, основывающаяся на оснащении производства специальными станками, лазерной установкой, испытательным оборудованием, позволяющая проводить весь необходимый спектр испытаний создаваемых и ремонтируемых ТГДУ [4]. Основу этой базы составляют динамические стенды СУ-1 и стенд СУ-2 (табл.1).

Стенды позволяют создавать практически любые условия работы ТГДУ, соответствующие реальным условиям их эксплуатации в составе ГПА. В том числе появилась возможность исследовать нестационарные режимы, например режим пуска-останова [5]. На этом режиме происходит контакт и изнашивание уплотнительных поверхностей, следовательно, он во многом определяет ресурс ТГДУ.

Таблица 1. Сравнительные характеристики стендов СУ-1 и СУ-2

Параметры	Стенд СУ-1	Стенд СУ-2
Давление воздуха (азота)	120 атм	120 атм
Частота вращения ротора	До 15 000 об/мин	До 9 000 об/мин
Диаметр вала	50...200 мм	50...200 мм
Диаметр корпуса	150...350 мм	150...350 мм
Количество испытуемых узлов	1	2
Управление стендом и сбор данных	Вручную	Полная автоматизация цикла испытаний
Длительность непрерывных испытаний	1 час	24 часа и более
Дополнительные возможности	Моделирование переко-сов вала	1. Замеры крутящего момента 2. Замеры температуры 3. Моделирование нестационарных процессов

В соответствии с принятой концепцией унификации [6] спроектированы несколько базовых испытательных головок, каждую из которых за счёт использования переходных втулок можно будет использовать для испытаний ТГДУ, имеющих близкие диаметральные размеры.

Создание методики испытаний ТГДУ требует создания методики моделирования на динамическом стенде условий, максимально приближенных к условиям эксплуатации в составе энергетической установки

[7]. При имитации на динамическом стенде условий эксплуатации ТГДУ имеется возможность варьирования следующих определяющих параметров: давление уплотняемого газа P_2 , частота вращения ротора ω , время работы на режиме t , величина торцового биения втулки δ , температура уплотняемого газа T .

В табл.2 приведены предлагаемые нами способы моделирования характеристик ТГДУ за счёт изменения определяющих параметров.

Таблица 2. Способы моделирования характеристик ТГДУ

Исследуемые явления	Возможные способы моделирования характеристик
Газодинамические характеристики уплотнения	Использование критериального комплекса $\mu^2 \omega^3$
Тепловое состояние пары трения, температурные деформации колец пары трения	За счёт подбора определяющих параметров: ω , T , α
Силовые деформации колец пары трения	Создание рабочего значения P_2
Динамическое состояние уплотнения	Моделированием осевых вибраций за счёт создания торцового биения δ
Ресурсные показатели (время работы, пуски-остановы).	Воспроизведение числа пусков-остановов, подбор циклограммы работы, воссоздание времени работы t с моделированием эксплуатационных нагрузок

Способы моделирования были установлены с использованием апробированной математической модели ТГДУ [2].

Решение задачи повышения надёжности и снижения затрат на эксплуатацию ГПА требует создания научно обоснованных методов и средств оценки ресурса систем ТГДУ в условиях эксплуатации, при плановых ремонтах и при решении вопроса о продлении ресурса уплотнений.

В настоящее время специалистами ООО «Газпром трансгаз Самара» совместно с учёными СГАУ начата разработка методики диагностирования и оценки ресурса системы ТГДУ. Её внедрение позволит оптимизировать регламентные работы, снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт. Комплекс диагностирования системы ТГДУ предусматривает минимально необходимую совокупность методов и технических средств оценки состояния ТГДУ при проверке на испытательном стенде и в условиях эксплуатации. В результате проведения предлагаемых работ межремонтный ресурс уплотнений поднимется с 12000 до 25000 ч, что позволит выйти на уровень зарубежных аналогов.

Планируемые результаты разработки:

- перечень допустимых величин типовых повреждений деталей ТГДУ, обеспечивающий заданный ресурс и требуемые характеристики узла ТГДУ;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований ТГДУ при наличии типовых повреждений рабочих поверхностей (сколов, царапин и т.п.);
- апробированная методология оценки остаточного ресурса ТГДУ при плановых ремонтах и в процессе эксплуатации;
- компьютерная система оценки ресурса ТГДУ.

Внедрение её позволит: сформулировать обоснованные требования к поставщикам и сервисному обслуживанию ТГДУ; обеспечить снижение эксплуатационных затрат за счёт уменьшения требуемого количества ремонтов ГДУ; уменьшить количество остановок ГПА со стравливанием газа; снизить безвозвратные потери газа.

Многолетний опыт эксплуатации ТГДУ в ООО «Газпром трансгаз Самара» как им-

портного, так и собственного производства показал, что использование дорогостоящих уплотнений с газовой смазкой, требующих высоких технологий, даёт значительный экономический эффект в эксплуатации при соблюдении правил эксплуатации и ремонта. Уплотнительные узлы на основе ТГДУ дороже традиционных, однако существенно снижаются эксплуатационные затраты и они быстро окупаются.

Библиографический список

1. Фалалеев, С.В. Торцовые бесконтактные уплотнения двигателей летательных аппаратов: основы теории и проектирования [Текст] / С.В. Фалалеев, Д.Е. Чегодаев. - М.: Изд-во МАИ, 1998. - 278с.
2. Повышение эксплуатационной надёжности ГПА развитием конверсированных авиационных технологий [Текст] / С.Д. Медведев, С.В. Фалалеев, Д.К. Новиков [и др.]. - Самара: Самарский научный центр РАН, «АСТ», 2008. - 371с.
3. Гритцнер, Э. ООО «Игл Бургманн» - комплексный подход к сервису уплотнительной техники [Текст] / Э. Гритцнер, С.В. Березин // Разработка, производство и эксплуатация турбо-, электронасосных агрегатов и систем на их основе: труды V междунар. науч.-техн. конф. «СИНТ'09». - Воронеж: Научная книга, 2009. - С.148-152.
4. Создание экспериментальной базы для испытаний торцовых газодинамических уплотнений [Текст] / С.Д. Медведев, В.В. Седов, С.В. Фалалеев [и др.] // Мега Паскаль. - М.: Газпром, 2008. -№ 3. - С.14-16.
5. Экспериментальные исследования ТГДУ [Текст] / С.В. Фалалеев, В.Б. Балякин, Д.К. Новиков [и др.] // Изв. СНЦ РАН.- 2011. -Т.13. -№4. - С.209-212.
6. Фалалеев, С.В. Унификация конструкции газодинамических уплотнений [Текст] / С.В. Фалалеев, В.В. Седов, В.В. Мидюкин // Вестн. СГАУ.- 2011. -№3 (27).- Ч.3. - С.11-15.
7. Фалалеев, С.В. Разработка методики эквивалентных испытаний торцовых газодинамических уплотнений [Текст] / С.В. Фалалеев, С.Д. Медведев // Изв. Самар. науч. центра Российской академии наук. - Самара: СНЦ РАН, 2008. -Т.10. -№3. - С. 844-848.

BUILDING A DIAGNOSIS FACE GAS DYNAMIC SEALS

© 2012 S. V. Falaleev, I. S. Vinogradov, V. V. Midyukin

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The article describes the experience of service systems socket gas dynamic seals are described designed experimental equipment and method of equivalent tests, as well as the main approaches to the creation of their diagnosis.

Mechanical gas-dynamic seal, system diagnostics, experimental stand.

Информация об авторах

Фалалеев Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipdla@ssau.ru. Область научных интересов: моделирование многодисциплинарных процессов в конструкции авиационных двигателей, уплотнения с газовой и жидкостной смазкой.

Виноградов Илья Сергеевич, аспирант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipdla@ssau.ru. Область научных интересов: уплотнения с газовой смазкой.

Мидюкин Виктор Вениаминович, аспирант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipdla@ssau.ru. Область научных интересов: уплотнения с газовой смазкой.

Falaleev Sergei Viktorovich, doctor of technical sciences, professor, Head of the department of construction and design of aircraft engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kipdla@ssau.ru. Area of research: Multidisciplinary modeling of processes in the design of aircraft engines, seal on the gas and liquid lubricant.

Vinogradov Ilya Sergeevich, Postgraduate, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kipdla@ssau.ru. Area of research: Sealing gas lubrication.

Midyukin Viktor Veniaminovich, Postgraduate, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kipdla@ssau.ru. Area of research: Sealing gas lubrication.