

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РОТОРОВ

Владимир Андреевич Зрелов, д.т.н., Андрей Александрович Осипов, Алексей Юрьевич Ардаков, Даниил Сергеевич Бакин
ФГБОУ ВПО "Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)"

Созданная установка даёт возможность проводить эквивалентные испытания уплотнений из материала МР и других, позволяющие выявить основные дефекты исследуемой конструкции, провести мероприятия по их устранению и оценить ресурс уплотнения. Позволяет исследовать колебания разных типов уплотнений и их влияние на динамические характеристики ротора при различных режимах работы.

Installation is intended for study of the seals of the different type - an face, radial, brush, from material MR and others, working in gas and fluid ambience under high district velocity. Created installation enables to conduct equivalent test the compactions, allowing at short periods to reveal the main defects to under investigation design, check the actions upon their removal and value the resource of the compaction. Presence device excitement and registrations of the vibration of the compactions allows to research the vibration of the different types of the compactions and their vibration upon dynamic features of the rotor under different state of working.

Ключевые слова: уплотнения роторов, экспериментальные исследования, динамические характеристики ротора, герметичность, газовая опора, газовая турбина, материал МР.

Keywords: rotor seals, experimental equipment, the rotor dynamic features, gas turbine, MR material.

Уплотнения роторов турбомашин газотурбинных и ракетных двигателей являются одним из важнейших элементов, определяющих их надёжность и экономичность. Современные и перспективные двигатели характеризуются возрастающими параметрами и нагрузками на их элементы, что требует создания новых конструкций уплотнений.

Для экспериментальной отработки этих конструкций необходимо создание оборудования, позволяющего осуществлять испытания уплотнений в условиях, соответствующих современным и перспективным требованиям эксплуатации.

В СГАУ создана установка, предназначенная для исследования уплотнений различного типа - торцовых, радиальных, щёточных, из материала МР и других, работающих в газовых и жидких средах при высоких окружных скоростях.

Установка выполнена в виде двух основных модулей: модуля с установленным в нём экспериментальным уплотнением и приводного модуля. Последний состоит из корпуса с ротором, опирающегося на газовые подшипники и генератора колебаний - газовую опору большого хода, что позволяет моделировать вибрации ротора и исследовать динамические характеристики уплотнений.

Схема установки для испытания торцовых уплотнений показана на рис. 1, внешний вид - на рис. 2. В верхней крышке установлена испытуемое уплотнение, являющееся сменным (на схеме показана



Рис. 2 Внешний вид установки

но торцовое гидростатическое уплотнение, но может быть установлено любое другое уплотнение). Для обеспечения подвода рабочей среды в камеру уплотнения в верхней крышке выполнены каналы и штуцеры, а на кольце торцового уплотнения закреплены два поршня с отверстиями, связывающими каналы в верхней крышке корпуса с каналами, выполненными в кольце уплотнениями, и рабочими камерами, имеющимися на сменных парах трения торцового гидростатического уплотнения, которые закреплены на кольце уплотнения.

На поверхности кольца закреплены малогабаритные датчики давления. На роторе закреплено рабочее колесо пневмотурбины, а сопловой аппарат её размещён в корпусе установки между газовыми подшипниками (рис. 3).



Рис. 3 Рабочее колесо и сопловой аппарат

Установка содержит корпус 1 с газовыми подшипниками 2, выполненными заодно с корпусом. В корпусе вращается вал 3. Привод вала осуществляется от турбины, состоящей из соплового аппарата 4 и рабочего колеса 5.

Турбина обеспечивает плавное изменение частоты вращения от 0 до 80 000 об/мин. В крышке 6 установлен сменный узел испытуемого уплотнения 7, имеющего гайку 8, закрепляющую сменные пары трения торцового уплотнения 9 к рабочему колесу 10.

Через штуцеры 11 в верхней крышке 6 рабочее тело подаётся в камеру торцового гидростатического уплотнения по системе каналов, выполненных в крышке 6, поршнях 12 и кольце 10.

Уплотняющая среда подводится по штуцеру 13 в корпусе установки в уплотняемую полость, попадает в рабочий зазор h уплотнения, образованного торцом вала 3 и рабочей поверхностью пары трения торцового уплотнения 9. Сбор утечек производится через штуцер 14 в верхней крышке установки.

На кольцо уплотнения 10 закреплены малогабаритные датчики давления, измеряющие распределение давления в рабочем зазоре уплотнения при работе установки.

Бесконтактные датчики перемещения 15 и 16, установленные в верхней 6 и нижней 17 крышках установки, позволяют измерять рабочий зазор h и амплитуду осевых вибраций кольца 10 и ротора 3.

Воздух к газовым подшипникам 2 подаётся через штуцер 18 крышки 17 и каналы, выполненные в корпусе 1, а выходит через дренажные отверстия.

Для предотвращения перетекания воздуха по газовому тракту имеются лабиринтные уплотнения 19, выполненные в корпусе 1.

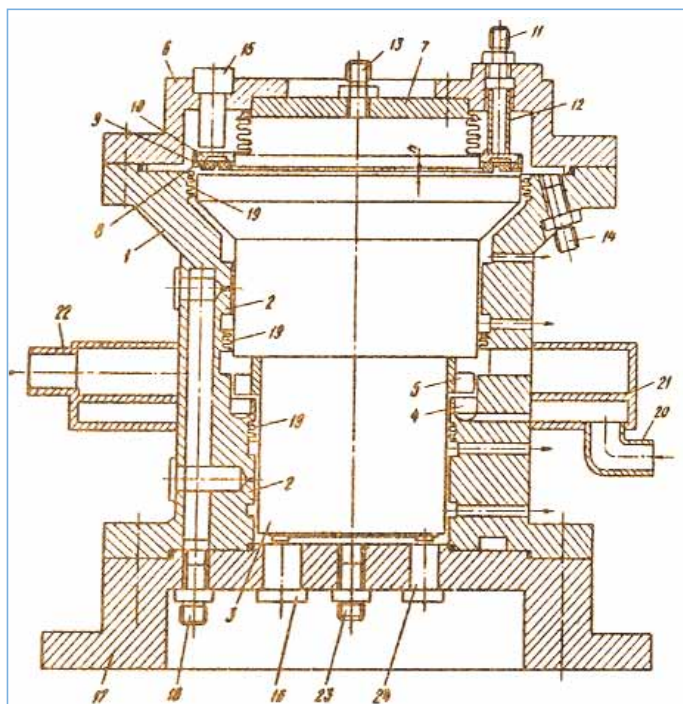


Рис. 1 Конструктивная схема установки

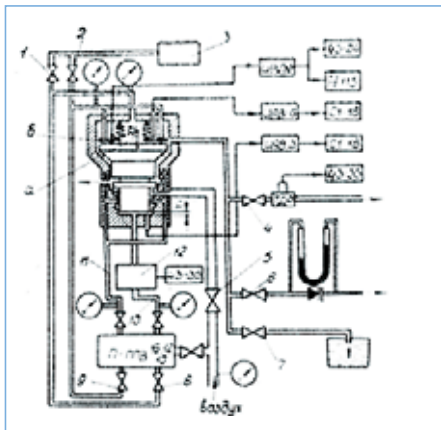


Рис. 4 Принципиальная схема испытательного стенда



Рис. 5 Общий вид испытательного стенда

Подвод газа к турбине осуществляется через патрубок 20, коллектор 21 и радиальные каналы, выполненные в корпусе, а выход его - по радиальным каналам, выполненным в корпусе 1, коллектору 21 и патрубку 22.

Подвод воздуха к генератору колебаний пневмоопоры большого хода осуществляется через штуцер 23 в нижней крышке 17, а выход - через дренажные каналы. Замер оборотов ротора осуществляется бесконтактным датчиком 24, закреплённым в крышке 17.

Принципиальная схема испытательного стенда с установкой и его общий вид показаны на рис. 4 и 5.

Расход уплотняемой среды замеряется либо пьезометром, либо объёмным методом, либо турбинным датчиком расхода типа ТДР 2-1-3 с выводом сигнала на электронный частотомер ЧЗ-35. Диапазоны измерения датчика 0,004...0,016 мм/с. Погрешность в диапазоне измерения расхода $\pm 1\%$.

Давление рабочей среды замеряется образцовыми манометрами с пределами измерения до 1,0 МПа, класс точности 0,4, а так же малогабаритными индуктивными дифференциальными датчиками давления ДМИ-6-1 с диапазоном измерения 0,6 МПа и погрешностью в диапазоне измерения $\pm 3\%$. Для запитки и усиления сигналов, поступающих с первичных преобразователей давления (ДМИ), используются приборы ИД-2И или ИВП-2. Для регистрации давления используются каналы измерения светолучевого осциллографа Н-115, подключенного к выходу ИВП-2.

При необходимости измерения частоты пульсаций давления сигнал от ДМИ, усиленный в ИВП-2, подаётся на цифровой частотомер ЧЗ-24.

Измерение зазоров в уплотнении производится при помощи токовихревых датчиков, которые в комплекте с аппаратурой типа ИАВ-3 и ИАВ-8 изготовлены в СГАУ. Такой метод позволяет получить сигнал, который не зависит от свойств рабочего тела, находящегося в зазоре. Основные технические характеристики этой аппаратуры следующие: диапазон измеряемых частот 0...100 000 Гц; основная погрешность не более $\pm 5\%$; мощность, потребляемая от сети, 60 Вт; время непрерывной работы 12 ч.

Для исследования колебаний уплотнений используется генератор гармонических колебаний давления воздуха, изготовленный в СГАУ. Этот генератор подключён к штуцеру подвода давления в поршневую пневмостатическую опору. Основные технические характеристики генератора следующие: диапазон изменения среднего давления в рабочей камере генератора колебаний давления $(1...4) \cdot 10^5$ Па; расход воздуха не более 0,02 кг/с; диапазон частот пульсаций давления 0,5...2400 Гц; диапазон амплитуды пульсаций давления до $0,2 \cdot 10^5$ Па; форма сигнала близкая к гармонической; давление воздуха на входе в генератор до $8 \cdot 10^5$ Па. Генератор гармонических колебаний представляет собой совокупность электро-механического привода модулирующего диска, рабочей и резонансной камер. Принцип генерирования пульсаций давления основан на периодическом прерывании потока воздуха, вытекающего в атмосферу из сопла, установленного в рабочей камере.

Для изменения частоты пульсаций давления предусмотрено регулирование частоты колебаний генератора.

Уплотнений позволяет путём форсирования скорости скольжения в уплотнении, частоты и амплитуды колебаний подвижного элемента, величины удельных нагрузок проводить эквивалентные испытания уплотнений. Т. е. испытания, позволяющие в короткие сроки выявить основные дефекты исследуемой конструкции уплотнения, проверить мероприятия по их устранению и оценить ресурс уплотнения.

Благодаря наличию сменного рабочего блока уплотнений возможна быстрая и простая их замена в процессе исследования.

Наличие устройств возбуждения и регистрации колебаний уплотнений позволяет исследовать колебания уплотнений различных типов при различных режимах их работы.

Одним из преимуществ этой установки, выгодно отличающим её от известных подобных конструкций, является мобильность, поскольку она обладает малыми габаритами и массой не более 25 кг, и для её функционирования достаточно давления воздуха не более 0,6 МПа. Для питания контрольно-измерительных приборов используется электрическая сеть с напряжением 220 В при частоте тока 50 Гц. Использование таких источников энергии и наличие дистанционного управления установкой обеспечивает безопасную работу с ней. При проектировании экспериментальной установки были заложены также её параметры (окружная скорость в зоне уплотнения до 460 м/с, давление уплотняемой криогенной или высокотемпературной среды до 5 МПа, частота осевой вибрации ротора до 2400 Гц), которые соответствуют не только современным условиям работы уплотнений ДПА, но и учитывают тенденции изменения этих условий.

Установка отличается тем, что генератор осевых колебаний ротора выполнен в виде торцевой камеры, образованной между корпусом и ротором, сообщённой с источником пульсирующего давления.

Ещё одной особенностью установки является её универсальность. На ней помимо торцевых уплотнений можно испытывать на высокой частоте вращения как и радиальные уплотнения, так и уплотнения из МР и перспективные щёточные уплотнения. ■

Литература:

1. Белоусов АИ, Изжеуров Е.А., Сетин А.Д. Исследование гидродинамических и фильтровальных характеристик пористого материала МР // Вибрационная прочность и надёжность двигателей и систем летательных аппаратов. - Куйбышев, 1975. Вып 2. С. 70-80.
2. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. М. Машиностроение, 1981, - 247с.
3. Жижкин А.М. Распределение пор по размерам в тонкостенных изделиях из материала МР // Труды международной научно-технической конференции "Проблемы и перспективы развития двигателестроения". Часть 1. Самара. 2003. - С. 185 - 190.
4. Минц Д.Е., Шуберт С.А. Гидравлика зернистых материалов. М. Минкоммунхоз РСФСР, 1955, - 112с.

Связь с автором: zrellov07@mail.ru,
kipdla@ssau.ru,
danilfromtorzok@mail.ru