

Артемюк Н.П., Доценко В.Н., Чайка А.И.,
Василенко В.М., Кузьминов Ф.Ф.

РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ ГИДРО(ГАЗО)СТАТОДИНАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ

В развитии авиационных двигателей, турбонасосных агрегатов (ТНА) ЖРД турбоагрегатов и многих других машин четко наблюдаются тенденции повышения частоты вращения роторов, их надежности и долговечности. Важным фактором, способствующим решению задач, связанных с отмеченным, является существенное улучшение показателей работы опорных узлов. В настоящее время в качестве альтернативы применению в опорных узлах указанных машин подшипников качения рассматривают подшипники скольжения. По данным патентных исследований и научно-технической литературы из всех типов подшипников скольжения в высокоскоростных опорных узлах среднего и большого ресурса преимущественно используют подшипники, в рабочую зону которых смазочный материал подается ^{по А} сравнительно высоким давлением — гидростатодинамические подшипники (ГСДП), газостатодинамические подшипники или комбинации указанных подшипников и подшипников качения. Например, фирмой "Крайслер" разработан ГТД малой мощности ($N = 75$ кВт, $n = 58500$ об/мин) с воздушными подшипниками. Подобное решение использовано и в "Механико-технологическом объединении" (США) применительно к ГТД большей мощности ($N = 490$ кВт, $n = 60000$ об/мин). Фирма "Аэроджет ликунд рокет" для увеличения ресурсов ТНА ($n = 75000$ об/мин) окислителя (кислорода) и ТНА ($n = 20000$ об/мин) горючего (водорода) разрабатывает гидростатические подшипники (ГСП), в качестве смазочного материала которых используются указанные вещества [1]. Комбинированные подшипники для ТНА ЖРД АЕСЕ ($n = 110000$ об/мин, ресурс — 10 ч), предназначенного для космических межорбитальных буксиров, разрабатываются

фирмой "Рокит дайн".

Применение гидро(газо)статодинамических подшипников в ряде случаев существенно упрощает конструкцию опорных узлов; позволяет использовать в качестве смазочного материала любую чистую однокомпонентную рабочую среду независимо от её температуры, включая мало-вязкие и агрессивные рабочие тела машин и агрегатов - топлива, теплоносители и др.; позволяет регулировать значения характеристик в процессе работ. Достоинствами ГСДП являются также: большой (а часто даже практически неограниченный) ресурс работы, сравнительно небольшие потери мощности, малый шум, экологическая чистота, высокая грузоподъемность при различных (включая и нулевую) частотах вращения [2].

К настоящему времени в ХАИ выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований подшипников скольжения с традиционной и нетрадиционной жидкостной, газовой и газожидкостной смазкой [3]. В разработанных теоретических моделях учитываются основные особенности работы (нестационарный характер нагружения, большие тепловые потоки, смешанность, неизотермичность, сжимаемость, нестационарность, двухфазность течения смазочного материала в отдельных зонах гидравлических трактов подшипников, силовые и тепловые деформации отдельных элементов и др.) гидро(газо)статодинамических подшипников в составе опорных узлов турбоагрегатов, двигателей, машин и агрегатов различного назначения. Однако анализ данных исследований и эксплуатации высокоскоростных машин и агрегатов различного назначения показывает на необходимость дальнейшего совершенствования конструкций и разработки новых типов опорных узлов. В разработках и уточнениях нуждаются и методы расчета характеристик гидро(газо)статодинамических подшипников отдельных исполнений (в особенности работающих на нетрадиционных смазочных материалах) и динамических характеристик систем "ротор-опоры" [3].

Проведенные нами в последнее время исследования носят теоре-

тический и экспериментальный характер. В результате теоретических работ созданы на базе МКЭ модель расчета упруго-демпферного элемента типа полукольца; методы расчета статических и динамических характеристик подшипников, работающих на жидкостях, обладающих неньютоновскими свойствами; методы оценки динамических характеристик (критических скоростей, форм, частот собственных колебаний, амплитуд вынужденных колебаний) системы "ротор-опоры", а также дополнены за счет совместного более полного учета указанных выше особенностей работы подшипников, ранее разработанные методы расчета. Новым является разработка методов расчета ГСДП, работающих на неньютоновских смазочных материалах; методов расчетов динамических характеристик роторов сложной формы, в которых учитываются динамические свойства отдельных элементов опор, нагруженности ГСДП и связанности последних.

При исследовании опорных узлов ТНА много внимания уделено улучшению динамических характеристик системы ротор-опоры за счет установки втулки галостатического подшипника на упруго-демпферные элементы. Разработано несколько конструкций таких опор (в виде кольцевых пластин и щеточного типа). Использование упруго-демпферных элементов многофункционально. Так, в одной из опор втулка подшипника установлена на два пакета \angle -образных металлических полуколец, которые выполняют роль уплотнения полости подвода. Применение таких элементов позволяет существенно улучшить амплитудно-частотные характеристики ротора, обеспечивает самоустановку подшипников, уменьшает влияние перекосов и температурных деформаций на характеристики подшипников. После предварительного исследования указанных опор на модельных установках сотрудниками ХАИ совместно с сотрудниками КБХА (г. Воронеж) спроектированы, изготовлены и испытаны несколько натуральных агрегатов с упруго-демпферными опорами. В частности, был изготовлен ТНА с ГСП на водороде, втулка которого

опирается на описанные выше пакеты <-образных пластин. Испытания этого узла на воздухе показали удовлетворительную работоспособность искомых опор. Изготовлен и успешно испытан водяной насос с ГСП, установленными на резиновых амортизаторах. Ведутся работы по изучению характеристик комбинированных опор.

Полученные результаты были использованы при разработке опорных узлов опытного турбокомпрессора ($n = 100000$ об/мин, $D = 0,012$ м, смазочный материал - воздух) поддува двигателя внутреннего сгорания.

Нами изучались также радиальные ГСП втулочного типа и подшипник с самоустанавливающимися сегментами, $D = 0,10$ м и $0,30$ м, $n = 0 \dots 3000$ об/мин) и динамические характеристики роторов (валопроводов) стационарных турбин. В качестве смазочных материалов рассматривалось масло турбинное типа Тп - 22. Специфическими особенностями работы указанных подшипников являлись большая нагруженность подшипников (относительный эксцентриситет $\chi = 0,80 \dots 0,95$), большие тепловые потоки, работа подшипников в режимах пуска и останова с малым давлением питания. Вследствие возможности работы рассмотренных подшипников при нештатном режиме трения подробно рассматривался вопрос выбора материалов основных деталей.

Были оценены значения статических характеристик радиальных подшипников с диаметром $D = 0,10, 0,30, 0,42$ м, в качестве смазочного материала которых используются вода или водный раствор полимеров. Работа являлась продолжением ранее проводимых нами исследований по оценке возможности замены дефицитных традиционных смазочных материалов (масел) подшипников скольжения стационарных турбин новыми негорючими и менее дефицитными жидкостями [4]. Выполненные сопоставления показали удовлетворительное согласование данных расчетов с имеющимися у нас данными экспериментальных исследований, полученных при совместном испытании подшипников в НПО "Турбоатом".

Применительно к опорным узлам жидкостного трения машин и агрегатов различного назначения (ТНА, шестеренчатым насосам, интегральным привод-генераторам, стационарной турбине и др.) выполнен сравнительный анализ характеристик подшипников различных типов (ГСДП с жиклерами, ГСДП с капиллярами, ГСДП с взаимным целевым дросселированием, ГСДП с сообщающимися, ГСДП с разделенными камерами, ГСДП с самоустанавливающимися сегментами и др.). Показано, что из всех рассмотренных подшипников требованиям, предъявляемым к подшипникам указанных машин и агрегатов малой и средней мощности, в наибольшей степени зачастую удовлетворяют ГСДП с сообщающимися камерами и ГСДП с подвижными сегментами, имеющие камеры прямоугольной или круглой формы. В качестве входных устройств ГСДП зачастую предпочтительней использовать жиклеры. Подшипники с сообщающимися камерами эффективнее по статическим характеристикам и несколько уступают ГСДП с самоустанавливающимися сегментами по динамическим характеристикам. Поэтому при проектировании опорных узлов средне- и высокоскоростных машин и агрегатов сначала целесообразно изучить возможность использования ГСДП с сообщающимися камерами. Только при необходимости существенного улучшения динамических характеристик ротора рекомендуется затем рассматривать ГСДП с подвижными сегментами.

Полученные нами новые результаты обобщены в виде общих рекомендаций по оценке характеристик и выбору типа подшипников и значенных параметров гидро(газо)статодинамических подшипников. Ряд данных подвергаются дальнейшей экспериментальной проверке. Отдельные основные результаты исследований, имеющие законченный характер (это касается конструктивного исполнения отдельных изделий подшипников, оценок характеристик и др.), переданы для практического использования в организации ЗМКБ "Прогресс", КБ "Химвтоматика", КБ "ХИММАШ", НПО ФЭД, НПО "Турбоатом", завод им. Малышева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кервен П., Янг В., Фергерсон Ф. Исследование воздушных подшипников для малоразмерных авиационных газовых турбин с высокими эксплуатационными характеристиками. Энергетические машины и установки, Г-94, сер.А, № 4, 1972, с.69-79.

2. Лукин Г.А. и др. Газовые опоры турбомашин. М., Машиностроение, 1989, 240 с.

3. Гидростатические опоры роторов быстроходных машин/Н.П.Артеменко, А.И.Чайка, В.Н.Доценко, Ф.Ф.Кузьминов, А.И.Поддубный, В.В.Усик. - Харьков, из-во "Основа" при Харьк. ун-те, 1992, 197 с.

4. Чайка А.И., Кантемир А.Д., Иващенко Е.И. Исследования радиальных подшипников скольжения, работающих на воде// Гидростатодинамические опоры высокоскоростных роторов и механические передачи, Харьков, ХАИ, с.16-25.