

ванные на самообразовании в образовательном концепте для ЧПУ HEIDENHAIN.

Образовательный концепт HEIDENHAIN предназначен для обучения и повышения квалификации. Он состоит из трех модулей:

- программное обеспечение НИТ;
- рабочая тетрадь НИТ;
- программная станция HEIDENHAIN.

Интерактивное управление и многочисленные проверочные задания обеспечивают целенаправленный контроль и постоянный самоанализ пройденного материала.

НИТ HEIDENHAIN позволяет обучить правильному написанию программ для станков с ЧПУ, получить основные теоретические знания и в целом данный курс облегчает подготовку специалистов.

УДК 621.822.6.001

О НЕОБХОДИМОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА РЕСУРСА АВИАЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ И ПУТЯХ РЕШЕНИЯ ЭТОЙ ПРОБЛЕМЫ

©2016 И.Л. Гладкий, М.В. Кирьянова

ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь

ON THE NEED FOR IMPROVING AIRCRAFT BEARINGS DOMESTIC FATIGUE LIFE CALCULATION METHODS AND WAYS TO SOLVE THIS PROBLEM

Gladkij I.L., Kiryanova M.V. ("Aviadvigatel" OJSC, Perm, Russian Federation)

The paper describes the necessity to develop the domestic methods of aviation bearing fatigue life calculation in the parts of life modification factors defining and dynamic equivalent load defining by means of using the example of comparative fatigue life calculation for the same dimension-type as domestic and overseas ball bearings by domestic and by overseas methods.

Надёжность и работоспособность авиадвигателей в значительной степени зависят от достоверной оценки ресурса подшипников в опорах роторов. В последнее время, в связи с проблемой импортозамещения, актуализировалась задача уточнения отечественной методики расчёта ресурса авиационных подшипников.

На сегодняшний день существуют две основные причины применения импортных подшипников для отечественных авиадвигателей:

- несовершенство отечественной методики расчёта долговечности подшипников;
- отсутствие отечественных аналогов зарубежным подшипниковым сталям M50, M50NiL – двойного вакуумного переплава, с повышенными однородностью свойств, трещино- и износостойкостью, цементуемых, обеспечивающих работоспособность подшипников при повышенной частоте вращения ($d \cdot n$ до $3 \cdot 10^6$).

Недостаточная или недостоверная расчётная долговечность отечественных под-

шипников является основной причиной применения импортных подшипников для двигателей авиационного и наземного применения разработки ОАО "Авиадвигатель". Опыт сотрудничества с зарубежными производителями (FAG, SKF, P&W) выявил, что расчётная долговечность подшипников зарубежного производства существенно отличается от расчётной долговечности наших аналогов.

Например, для опоры КВД одного из авиационных двигателей расчётная долговечность шарикоподшипника зарубежного производства в ~9 раз превышает расчётную долговечность отечественного аналога, рассчитанную по отечественной методике. В то же время, для опоры ТВД того же двигателя, наоборот, расчётная долговечность импортного роликоподшипника в ~20 раз меньше расчётной долговечности отечественного аналога.

Достоверность расчётов зарубежных производителей подшипников подтверждена опытом эксплуатации.

Проведённый нами анализ показал, что разница в результатах расчёта долговечности подшипников объясняется не столько более качественными материалами, сколько различием методик расчёта.

Отечественная методика не учитывает конструктивные особенности опор, их деформацию в конкретных условиях работы на режимах эксплуатации авиадвигателя (изменение зазора, угла контакта, толщины масляной плёнки, чистоты масла). Расчёт эквивалентной динамической радиальной нагрузки P_T ведётся по стандартной формуле от внешней нагрузки на опору, при номинальном угле контакта. Такой расчёт является достоверным при работе подшипника с гарантированным зазором и с частотой вращения, соответствующей параметру $d \cdot n$ меньше 10^6 . Для подшипников авиационных двигателей, работающих в широком диапазоне изменения параметров эксплуатационных режимов, эти условия не всегда выполнимы. Однако для нестандартных случаев нагружения – при отсутствии зазора, при некруглой дорожке качения, при высокой частоте вращения – отечественная методика расчёта эквивалентной нагрузки не разработана.

В расчётах одной из зарубежных фирм эквивалентная нагрузка определяется исходя из распределения нагрузки по телам качения, фактического зазора в подшипнике с учётом деформации деталей узла под нагрузкой в зависимости от температуры, влияния центробежных сил и т.п. на каждом режиме полётного цикла

Так как эквивалентная нагрузка входит в формулу для расчёта долговечности в степени $\alpha \geq 3$, то разница в её величине существенным образом влияет на результат – расчётную долговечность.

Использование для оценки ожидаемого ресурса авиационных подшипников корректирующих коэффициентов, которые учитывают специальное качество авиационных подшипников и специфические условия их работы (относительно невысокие контактные напряжения и высокую частоту вращения) увеличивают расчётную базовую долговечность L_{10} до ~10 раз по отечественной методике, до 100 раз по методике зарубежных производителей. Такая разница обусловлена тем, что методы корректировки и величина

корректирующих коэффициентов в отечественной и зарубежной практике существенно отличаются.

Для совершенствования отечественной методики необходимо обоснованное уточнение коэффициентов, корректирующих несущую способность авиационных подшипников. Экспериментальная база при этом должна обеспечивать статистически достоверный результат. С этой целью должны быть экспериментально определены кривые усталости подшипниковых сталеи и предельная величина напряжений смятия в условиях нагружения подшипников, близких к эксплуатационным. Предел выносливости подшипниковых сталеи при принятом базовом числе циклов $N_{ц0}=10^7$ может существенно отличаться от предела выносливости при числе циклов нагружения $N_{ц} \sim 10^{10}$, соответствующем требуемому ресурсу высокоскоростных подшипников в опорах роторов высокого давления.

Проблема уточнения методики расчёта ресурса авиационных подшипников является отраслевой. Традиционно методическое сопровождение проблем отечественной авиационной промышленности осуществляет отраслевой институт - ФГУП «ЦИАМ», поэтому именно ему необходимо продолжить работы по совершенствованию отечественной методики ресурса авиационных подшипников, привлекая к сотрудничеству специалистов других предприятий отрасли.

В связи с большим объёмом экспериментальных работ требуется соответствующее финансирование в рамках Федеральных целевых программ, в том числе для решения вопросов импортозамещения.

Библиографический список

1. Методика расчётной оценки долговечности подшипников авиационных двигателей и их агрегатов, требования к конструктивным параметрам опор. - М.: ЦИАМ, АО ВНИИПП, 1996.
2. Practical method of calculating attainable life aerospace bearing applications. FAG, publ. No. FL 40134 EA, 1989.
3. Исследование работоспособности подшипников авиационных ГТД при высоких частотах вращения. "Новости зарубежной науки и техники", серия "Двигатели для

авиации и космонавтики", N 11-12, 1991. Изд-е ЦИАМ.

4. Jet Engines and Propulsion Systems for Engineers. GE Aircraft Engines, 1989.

5. Балякин В.Б., Жильников Е.П., Самсонов В.Н., Макачук В.В. Теория и проектирование опор роторов авиационных ГТД. – Самара: изд-во СГАУ, 2007.

УДК 621.6-762

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОРЦОВЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ УПЛОТНЕНИЙ

©2016 А.С. Виноградов, А.Д. Кузнецов, С.С. Кутуев, И.О. Шкоков

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

GAS-DYNAMIC FACE SEALS DESIGN METHOD IMPROVEMENT

Vinogradov A.S., Kuznetsov A.D., Kutuev S.S., Shkokov I.O. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The work present results of series of conducted tests according to which has been formulated basic directions of improvement in designing of face gas-dynamic seal methods to mount in aircraft engine, has been created essential models and conducted calculations, proving the necessity of taking into account the mutual interference of seal impermeability and engine's system settings.

Уплотнения и уплотнительные системы являются обязательной частью авиационного двигателя и любой энергетической установки. Уплотнения определяют работу воздушной и масляной систем двигателя. Высокие значения температуры, давления, окружных скоростей вынуждают применять уплотнительные системы, которые состоят из нескольких уплотнений. Эффективность работы уплотнения и всей уплотнительной системы определяет надёжность и экономичность двигателя, величину удельного расхода топлива [1]. Качество уплотнения зависит от совершенства методов проектирования, поэтому расчётные модели уплотнения должны обладать высокой точностью.

Высокий уровень нагрузок, действующих в авиационном двигателе, приводит к возникновению значительных деформаций. Метод проектирования торцовых газодинамических уплотнений, работоспособных при наличии деформаций, был разработан С.В. Фалалеевым [2]. Большой вклад в развитие математической модели, описывающей процессы, происходящие в зазоре уплотнения, внёс Е.А. Muijderman [3]. Методы проектирования рассматриваемых уплотнений, основанные на углублённом представлении совместных газодинамических и деформационных процессов, для различных условий

применения разрабатывались Максимовым В.А., Мельником В.А., Н.К. Mueller и R. Salant. Вопросы динамики газодинамических уплотнений в разное время рассматривались в работах Фалалева С.В. [2], Etsion I., Green I. Однако все перечисленные методы основываются на проектировании уплотнения, исходя из некоторых начальных условий, которые полагаются априорно заданными. Это приводит к тому, что процессы, происходящие в уплотнительном узле, рассматриваются отдельно от процессов, имеющих место в узлах и системах двигателя, которые, тем не менее, являются неразрывно связанными. Комплекс проблем, требующих решения при проектировании торцового газодинамического уплотнения, показан на рис. 1.

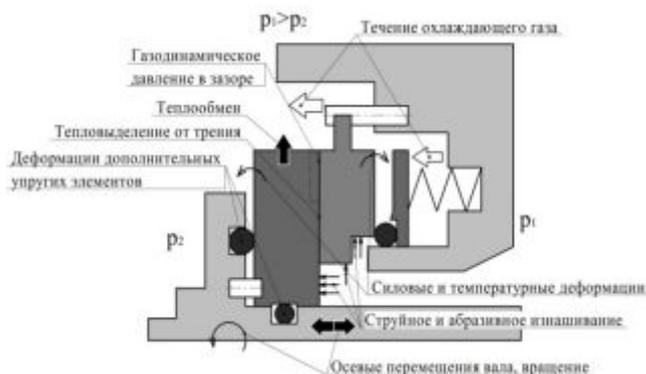


Рис. 1. Комплекс проблем, решаемых при проектировании торцового газодинамического уплотнения