

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ В СОСТАВЕ ОПОР РОТОРОВ АВИАЦИОННЫХ ГТД И ЭУ

© 2012 В. А. Зрелов¹, В. В. Макачук², М. Е. Проданов¹, А. А. Сударев²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

²Открытое акционерное общество «Завод авиационных подшипников», г. Самара

Приведён аналитический обзор условий работы подшипников в составе опор роторов турбокомпрессоров большинства отечественных ГТД и ЭУ. Проанализированы условия работы подшипников опор современных и перспективных авиационных двигателей.

Авиационный ГТД, опора ротора, унифицированный опорный модуль, подшипник.

Введение

Условия работы современных и перспективных авиационных двигателей характеризуются ростом нагрузок на элементы, повышением частот вращения роторов и параметров рабочего цикла.

К ним предъявляются повышенные требования:

- снижение массы;
- повышение надёжности;
- уменьшение количества деталей;
- снижение стоимости производства и затрат в эксплуатации;
- уменьшение вредных выбросов и шума.

Анализ статистических данных о дефектах и отказах газотурбинных двигателей и энергетических установок (ГТД и ЭУ) свидетельствует о том, что значительная доля этих дефектов и отказов приходится на опоры роторов этих машин. При этом под опорой понимается не только подшипник, но и конструктивные функциональные элементы, обеспечивающие надёжную работу опоры: уплотнения, демпферы, системы подвода и отвода масла для охлаждения и смазки подшипников, системы подвода и отвода воздуха для наддува уплотнений, средства теплоизоляции, средства контроля параметров и диагностики технического состояния, элементы крепления и передачи усилий.

Выход из строя любого из этих элементов вынуждает приостанавливать эксплуатацию турбомашины и производить ремонт, требующий зачастую демонтажа дви-

гателя и отправки его на специализированное предприятие (ремонтный завод или завод-изготовитель). Всё это сопряжено с большими временными потерями и финансовыми затратами.

В табл. 1-3 представлен перечень ГТД и ЭУ, в которых применяются подшипники опор роторов, изготовленные в ОАО «Завод авиационных подшипников», с указанием предприятий и организаций, обеспечивающих этапы жизненного цикла отечественных двигателей.

Анализ условий работы подшипников в опорах роторов ГТД и ЭУ

Проанализируем условия работы подшипников в опорах роторов отечественных ГТД и ЭУ, созданных за период с 1958 года по настоящее время.

Из анализа изменения значения частоты вращения роторов каскада высокого давления (КВД) по годам создания двигателей можно сделать вывод о том, что этот параметр у анализируемых двигателей имеет тенденцию к росту и охватывает область значений от 10000 до 15000 об/мин (рис. 1).

Среднее значение величины рабочей температуры радиально-упорных подшипников роторов КВД у анализируемых двигателей находится в диапазоне 200 - 250°C (рис. 2).

Анализ изменения параметра DN радиально-упорных подшипников роторов КВД по годам создания двигателей в диапазоне $(1,6 - 2,2) \times 10^6$ мм об/мин (рис. 3) показал, что он имеет тенденцию роста.

Таблица 1. Перечень ГТД и ЭУ с указанием их разработчиков, с подшипниками опор роторов, изготовленными в ОАО «Завод авиационных подшипников» 

									
Авиа-двигатель	А.Люлька Сатурн	РКБМ	Союз	Кузнецов	ЗМКБ		НПП Мотор	ТМКБ Союз	ОМК Б
									
Д-20П Д-25В Д-30 Д-30КП Д-30КУ Д-30Ф6 ПС-90А ПС-90А2 ПС-90ГП2	АЛ-7Ф АЛ-21Ф АЛ-31Ф АЛ-41Ф АЛ-31СТ	ВД-7Б РД36-35 РД36-51 РД-7М РД36-41 ТВД-1500 РД-600	АМ-3 АМ-5 РД-9Б РУ-19-300 Р11Ф-300 Р15Б-300 Р27-300 Р28В-300 Р29-300 Р79В-300 РДК-300	НК-12 НК-4 НК-6 НК-8-2 НК-8-4 НК-86 НК-88 НК-89 НК-22 НК-144 НК-25 НК-32 НК-56 НК-93 НК-12СТ НК-14СТ НК-16СТ НК-36СТ НК-37 НК-38СТ	АИ-20 АИ-24 АИ-25 ДВ-2 АИ-22 АИ-222 Д-36 Д-436 Д-18Т Д-27 Д136 АИ-9 АИ-450	ВК-1Ф ТВ2-117 ТВ3-117 ГТДЭ-117 ГТД-350 ТВ7-117 РД-33 ГТД-1000 ГТД-1250 ВК-2500	РД-9Ф Р13Ф-300 Р25-300 Р95Ш Р195	Р11Ф2-300 Р29Б-300 Р35-300 РД-1700	ГТД-3Ф ТВД-10Б ТВД-20 ВГТД-43 ТВ-0-100

Таблица 2. Перечень серийных предприятий, осуществляющих производство ГТД и ЭУ

									
Мотор-Сич	УМПО	Моторостроитель	МНПП Салют	КМПО	ММПП им.В.В.Чернышева	Пермские моторы	Рыбинские моторы	КаДви	Зоря-Машпроект

Таблица 3. Перечень серийных предприятий, осуществляющих ремонт ГТД и ЭУ

							
AP3-21	AP3-121	AP3-123	AP3-218	ЛАРЗ	AP3-570	AP3-712	УЗГА

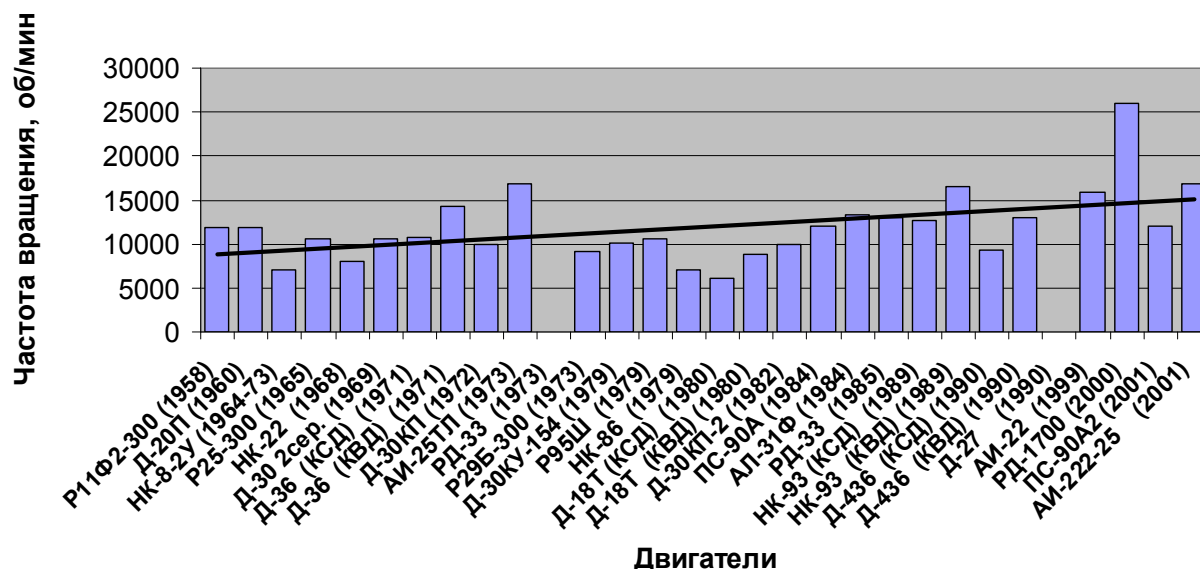


Рис. 1. Изменение частоты вращения роторов КВД по годам создания двигателей

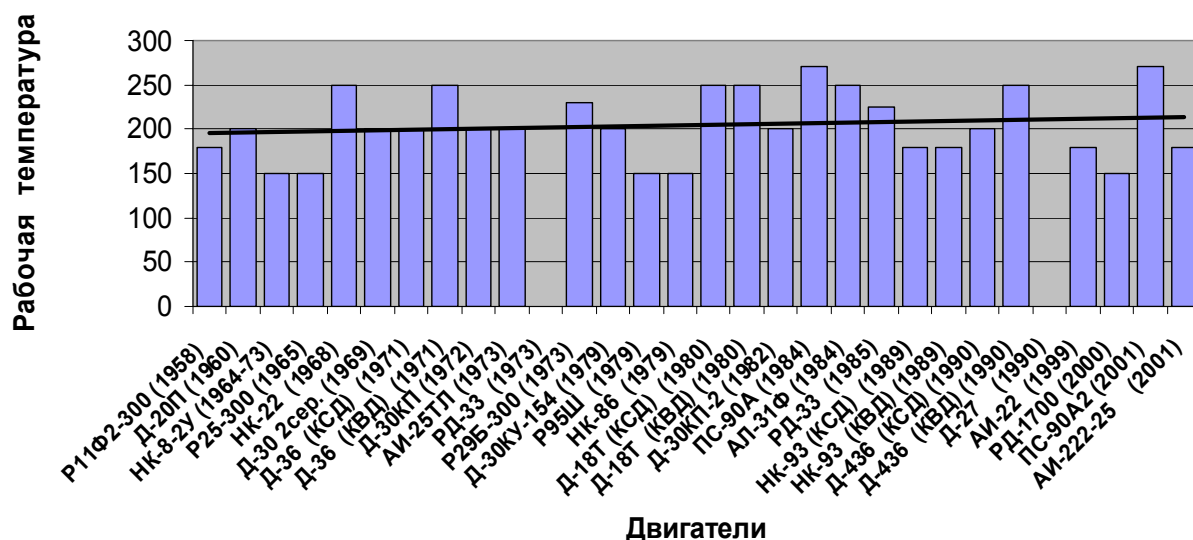


Рис. 2. Изменение рабочей температуры радиально-упорных подшипников роторов КВД по годам создания двигателей

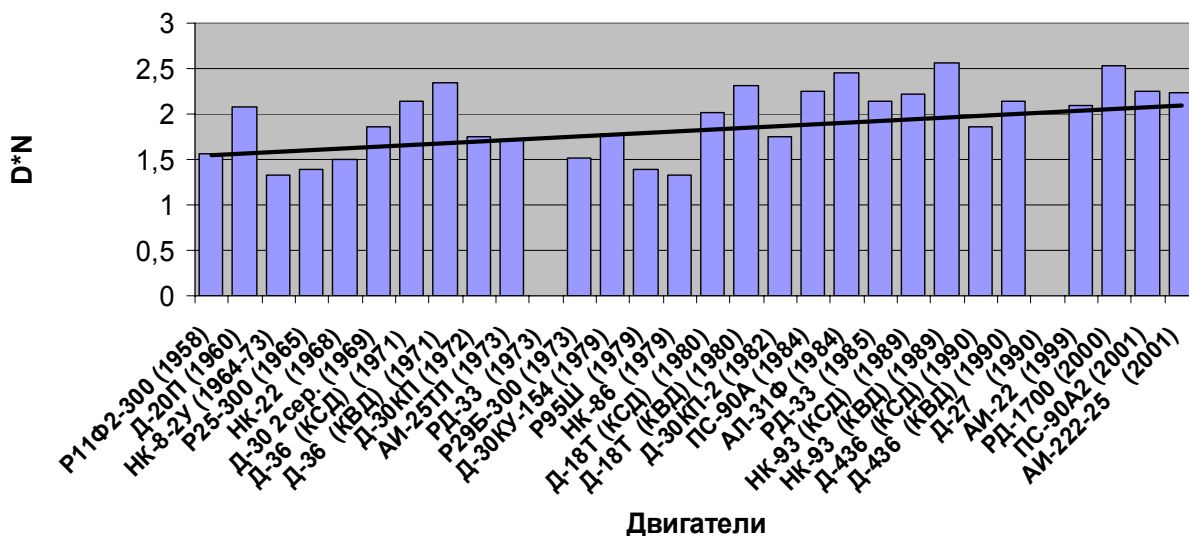


Рис. 3. Изменение параметра DN радиально-упорных подшипников роторов КВД по годам создания двигателей

Значение среднего диаметра радиально-упорных подшипников в опорах роторов КВД (рис. 4) для большинства анализируемых двигателей находится в диапазоне 120 – 160 мм (30%) и 160 – 184 мм (45%), причём для ряда подшипников с одинаковым посадочным диаметром наружный диаметр

имеет различную величину. Это показывает возможность унифицировать подшипники по этому показателю. Анализ полученного распределения позволяет унифицировать подшипники по величине среднего диаметра и снизить номенклатуру выпускаемых подшипников.

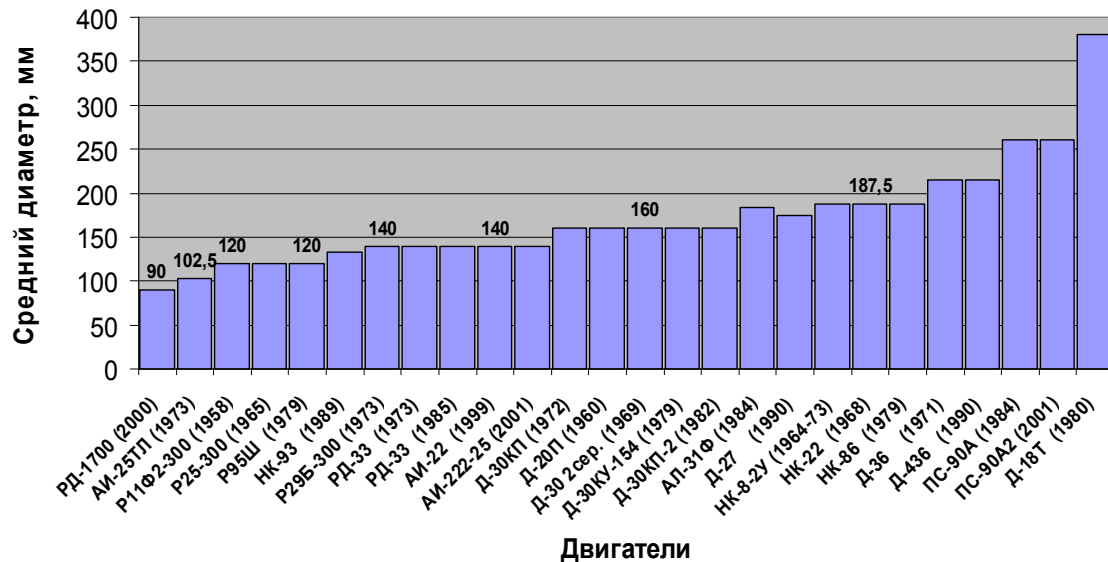


Рис. 4. Область значений средних диаметров радиально-упорных подшипников, применяемых в опорах роторов КВД ГТД и ЭУ

Унифицированный опорный модуль

В связи с изложенным актуальной представляется разработка унифицированного опорного модуля (УОМ), представляющего собой типоразмерный ряд. Этот

модуль турбомшины может быть легко заменён в эксплуатации.

Схема УОМ, показанная на рис. 5, содержит весь спектр конструктивных функциональных элементов опоры.

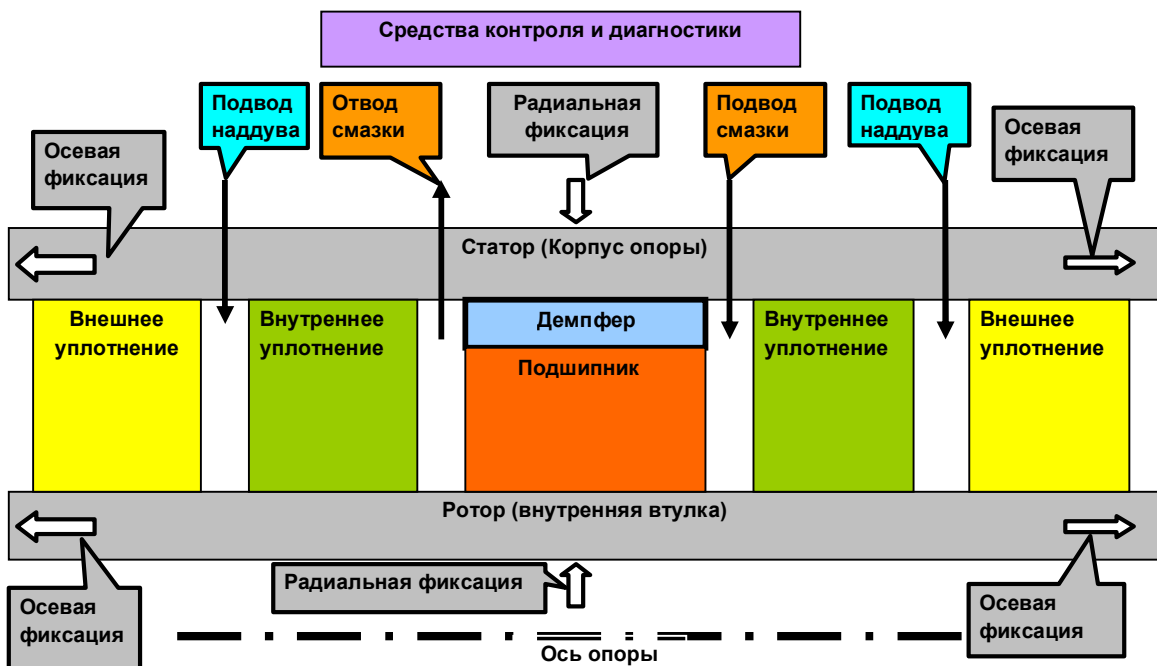


Рис. 5. Структурная схема УОМ

Представленная функциональная структура УОМ является основой для организации анализа существующих конструктивных решений опорных узлов турбомашин и синтеза новых конструкций.

Для проектирования типоразмерного ряда УОМ необходимо учитывать возможность унификации по основным геометрическим параметрам, частоте вращения, осевым и радиальным нагрузкам, а также температурному режиму работы подшипников в составе ГТД и ЭУ (рис. 1 – 4).

Интегрированные опоры

В настоящее время в мировой практике решение задач проектирования ГТД и ЭУ

достигается путём создания интегрированных элементов [1, 2].

В опоре ротора многие функциональные элементы могут выполняться конструктивно совмещёнными, например, наружное кольцо подшипника – демпфер – элемент крепления – устройство подвода смазки и т. д. (рис. 6).

По данным фирмы FAG Aerospace эволюция и развитие подшипников в составе опор роторов ГТД осуществляется в направлении усложнения конструкции подшипника за счёт придания ему дополнительных функций (рис. 7).

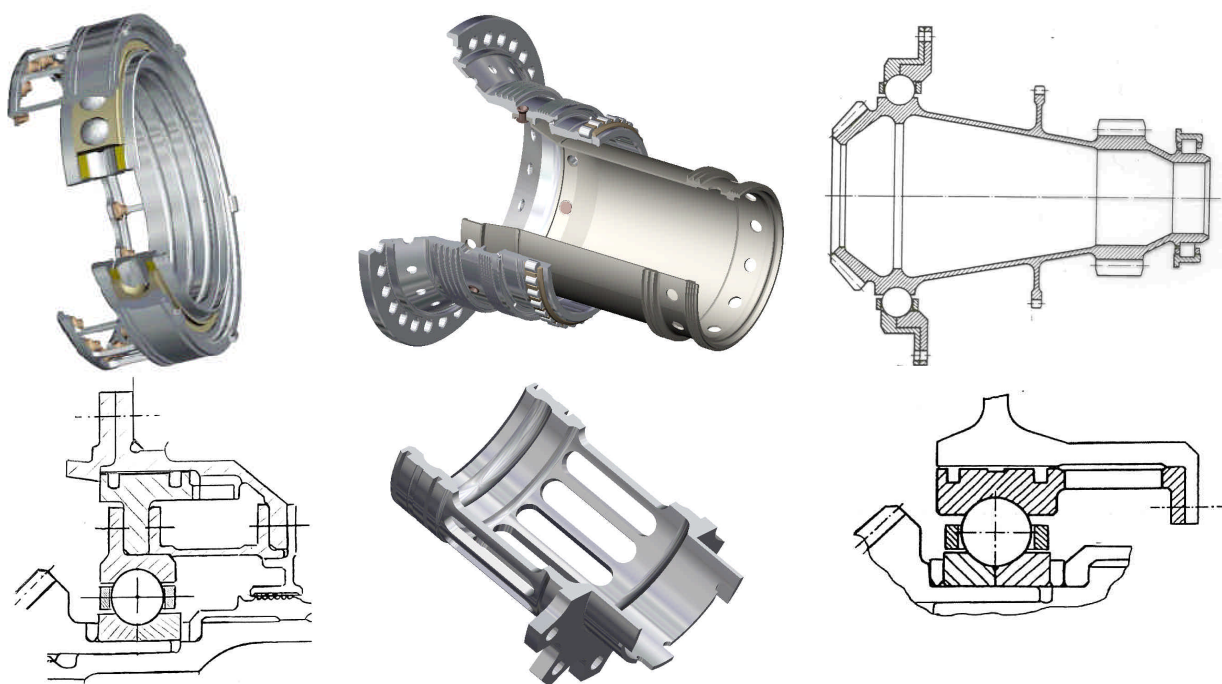


Рис. 6. Интегрированные подшипниковые узлы фирмы FAG Aerospace

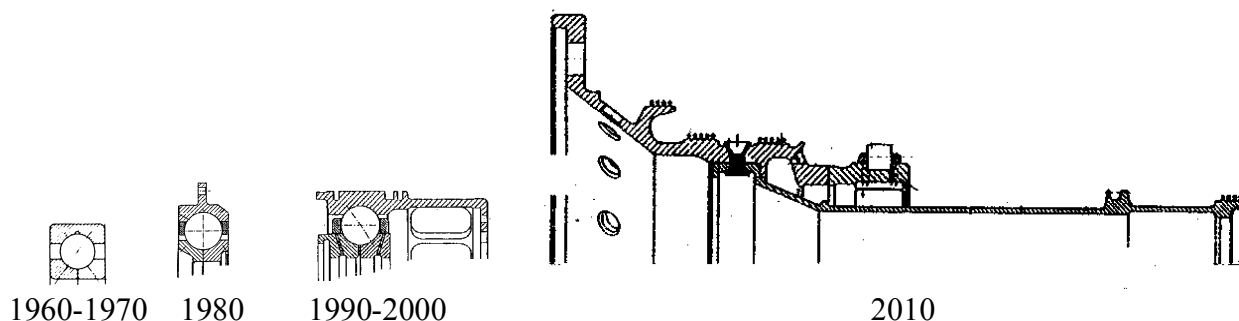


Рис. 7. Эволюция подшипниковых узлов фирмы FAG Aerospace

Такой ход развития конструкции опорных узлов наряду с преимуществами обладает рядом недостатков. Требуется большая

номенклатура подшипников (для каждого изделия – своя сложная конструкция), т.к. не представляется возможным обеспечить их

стандартизацию и унификацию. Следствием этого подшипниковый узел имеет высокую стоимость.

Заключение

Предлагаемое инновационное конструкторско-технологическое решение опор ротора ГТД и ЭУ в виде УОМ позволит сократить прямые эксплуатационные расходы, улучшить ремонтпригодность турбомшины, повысить надёжность опоры, уменьшить количество её деталей, повысить точность их изготовления и сборки.

На основе проводимого анализа формируется и наполняется информационная база по конструктивным элементам, входящим в опоры ГТД [3].

Перспективной является разработка типоразмерного ряда УОМ.

Проведённые исследования являются основой для разработки типоразмерного ряда УОМ. Для этого необходимо провести анализ конструктивных решений, обеспечивающих заданный температурный режим ра-

боты подшипника в выявленном диапазоне частот вращения, а также средств, обеспечивающих герметичность масляных и воздушных полостей опоры.

Сокращение номенклатуры применяемых подшипников, агрегатов и деталей в значительной степени может облегчить и упростить их производство, повысить оперативность и качество их изготовления и поставки моторостроительным, агрегатным, ремонтным заводам и эксплуатирующим организациям.

Библиографический список

1. Каталог. Дивизион специальных подшипников. - ЕПК. 2010. – 52 с.
2. Проспект фирмы NTN-SNR.
3. Формирование структуры данных о подшипниках в информационном поле ГТД [Текст] / В.Б. Жарский, В.А. Зрелов, В.В. Макачук [и др.] // Вестн. СГАУ. – Самара, 2006. - № 2.- С. 255-259.

WORKING CONDITIONS ANALYSIS OF ROTOR SUPPORTS BEARINGS IN AVIATION GAS TURBINE ENGINES AND ENERGETIC UNITS STRUCTURE

© 2012 V. A. Zrelov¹, V. V. Makarchuk², M. E. Prodanov¹, A. A. Sudarev²

¹Samara State Aerospace University named after Academician Sergey P. Korolyov
(National Research University)

²Aviation Bearing Plant, Samara

An analytical review of the bearings working conditions in turbocharger rotor supports of most domestic GTE and EU. The conditions of the bearing arrangements of current and future aircraft engines have been analyzed.

Gas turbine engines, rotor support, unified reference module, bearing.

Информация об авторах

Зрелов Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: zrelov07@mail.ru. Область научных интересов: история авиационной науки и техники, конструирование двигателей, управление жизненным циклом изделий.

Макачук Владимир Владимирович, кандидат технических наук, исполнительный директор дивизиона специальных подшипников, Открытое акционерное общество «Завод

авиационных подшипников», г. Самара. E-mail: office@samza.ru. Область научных интересов: авиационные подшипники.

Проданов Михаил Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: prodanov@mail.ru. Область научных интересов: автоматизация проектирования, менеджмент качества, управление жизненным циклом изделий.

Сударев Андрей Алексеевич, заместитель директора дивизиона специальных подшипников, Открытое акционерное общество «Завод авиационных подшипников», г. Самара. E-mail: sbit15@samzap.ru. Область научных интересов: авиационные подшипники.

Zrelov Vladimir Andreevich, Doctor of Technical Sciences, Professor at the sub-department of Engines Design Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: zrelov07@mail.ru. Area of research: The History of Aviation Science and Technology, Engines Research and Development, Product Lifecycle Management.

Makarchuk Vladimir Vladimirovich, candidate of technical science, chief executive of Special Bearings Division, Aviation Bearing Plant. E-mail: office@samzap.ru. Area of research: aircraft, bearings.

Prodanov Mikhail Yevgenievich, Candidate of Technical Sciences, associate Professor at the sub-department of Engines Design Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: prodanov@mail.ru. Area of research: Computer Aided Design and Workflow Automation, Quality Management, Product Lifecycle Management.

Sudarev Andrei Alekseevich, deputy chief executive of Special Bearings Division, Aviation Bearing Plant. Samara. E-mail: sbit15@samzap.ru. Area of research: aircraft, bearings.