

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

Министерство образования и науки Пермского края

Под эгидой РАРАН

АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА, ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ – 2025

Материалы

*XXVI Всероссийской научно-технической конференции,
посвящённой 70-летию аэрокосмического факультета
и кафедры «Авиационные двигатели»
(г. Пермь, 19–21 ноября 2025 г.)*

Под общей редакцией
доктора технических наук В.Я. Модорского,
кандидата технических наук С.Л. Калиолина

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2025

A99 **Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2025 : материалы XXVI Всерос. науч.-техн. конф., посвящённой 70-летию аэрокосмического факультета и кафедры «Авиационные двигатели» (г. Пермь, 19–21 ноября 2025 г.) / под общ. ред. д-ра техн. наук В.Я. Модорского, канд. техн. наук С.Л. Калюлина ; ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2025. – 353 с.**

ISBN 978-5-398-03366-3

Представлены доклады участников XXVI Всероссийской научно-технической конференции «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2025», посвященной 70-летию аэрокосмического факультета и кафедры «Авиационные двигатели». Всероссийская конференция пройдет в Перми с 19 по 21 ноября 2025 г. Доклады участников посвящены обсуждению следующих тем: авиационные двигатели, композиционные и высоконефтические материалы для авиастроения, ракетные двигатели, инновационные разработки для топливно-энергетического комплекса, водородные энергетические установки, нанотехнологии и современные экспериментальные методы механики материалов и конструкций, аэроакустика и шумоглушение, беспилотные авиационные системы, суперкомпьютерное моделирование, цифровые двойники, технологии виртуальной реальности, оптимизированное проектирование, искусственный интеллект, производственные технологии полного жизненного цикла, аддитивные технологии, автономные робототехнические комплексы.

Программный комитет

Председатель: Петроченков А.Б., профессор, д-р техн. наук (ректор ПНИПУ).

Сопредседатели: Июземцев А.А., Герой Труда РФ, академик РАН, профессор, д-р техн. наук (Генеральный конструктор, заместитель Генерального директора АО «ОДК» по управлению НПК «Пермские моторы», управляющий директор - Генеральный конструктор АО «ОДК-Авиадвигатель»), Соколовский М.И., член-корреспондент РАН, академик РАПАН, профессор, д-р техн. наук (заведующий кафедрой РКТиЭС ПНИПУ), Ломакин Е.В., член-корреспондент РАН, профессор, д-р физ.-мат. наук (заведующий кафедрой теории пластичности МГУ им. М.В. Ломоносова)

Члены программного комитета: Липанов А.М., академик РАН, профессор, д-р техн. наук (главный научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдиша), Матвеенок В.П., академик РАН, профессор, д-р техн. наук (научный руководитель ИМСС УрО РАН), Брызгалов Ю.Б., профессор, д-р техн. наук (декан машиностроительного факультета ИжГТУ им. М.Т. Калашникова), Ваулин С.Д., профессор, д-р техн. наук (директор Центра инженерных разработок «Опытные технологии: материалы, конструкции, компилирующие» ЧелГУ), Ветров В.В., академик РАЕ, профессор, д-р техн. наук (заведующий кафедрой ракетостроения ТулГУ), Воеводин В.В., член-корреспондент РАН, д-р физ.-мат. наук (директор Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ им. М.В. Ломоносова), Добровольский Ю.А., профессор, д-р хим. наук (руководитель отдела функциональных материалов для химических источников энергии Института проблем химической физики РАН), Колыван В.Ф., профессор, д-р физ.-мат. наук (начальник Аэроакустического отделения ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского), Корепанов М.А., доцент, д-р техн. наук (заведующий кафедрой аппаратуростроения ИжГТУ им. М.Т. Калашникова), Кривошеев И.А., профессор, д-р техн. наук (профессор кафедры авиационных двигателей ИжГТУ им. М.Т. Калашникова), Крет Б.Э., профессор, д-р техн. наук (заведующий кафедрой средств поражения и боеприпасов БТУ им. В.Ф. Устинова), Маринчевский И.К., доцент, д-р физ.-мат. наук (профессор кафедры прикладной математики МГТУ им. Н.Э. Баумана), Мингазов Б.Г., профессор, д-р техн. наук (профессор кафедры реактивных двигателей и энергетических установок КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева), Митюшов Е.А., профессор, д-р физ.-мат. наук (профессор кафедры металлургических и горнорудных машин УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина), Модорский В.Я., профессор, д-р техн. наук (декан аэрокосмического факультета ПНИПУ), Павловец Г.Я., профессор, д-р техн. наук (Военная академия РВСН им. Петра Великого), Петров В.А., профессор, д-р техн. наук (заведующий кафедрой химии и технологии высоко-молекулярных соединений РХТУ им. Д.И. Менделеева), Равикович Ю.А., профессор, д-р техн. наук (и.о. директора по инновационной деятельности МАИ), Радченко В.П., профессор, д-р физ.-мат. наук (заведующий кафедрой прикладной математики и информатики СамГУ), Резин С.В., профессор, д-р техн. наук (заведующий кафедрой ракетно-космических композитных конструкций МГТУ им. Н.Э. Баумана), Сапожников С.Б., профессор, д-р техн. наук (профессор кафедры технической механики ЮУрГУ (ННУ), Ягодников Д.А., профессор, д-р техн. наук (заведующий кафедрой ракетных двигателей МГТУ им. Н.Э. Баумана), Яновский П.Л., член-корреспондент РАН, профессор, д-р техн. наук (начальник отдела авиационных двигателей и химмоторной ПИАМ им. П.С. Баранова).

Организационный комитет

Сопредседатели: Модорский В.Я., профессор, д-р техн. наук (декан аэрокосмического факультета ПНИПУ), Бульбович Р.В., профессор, д-р техн. наук (профессор кафедры РКТиЭС ПНИПУ).

Ученые секретари: Калюлин С.Л., доцент, канд. техн. наук (зам. декана по науке и инновациям АКФ ПНИПУ), Староверов О.А., доцент, канд. техн. наук (доцент кафедры ЭМКМ ПНИПУ).

Члены организационного комитета: Егоров Д.М. (Генеральный директор АО «НИИПМ»), Козлов Л.С. (Генеральный директор ФКП «Пермский пороховой завод») Краснов И.В. (Генеральный директор АО «НПО Энергомаш»), Чунаев В.Ю. (исполнительный директор АО УНИИКМ), Ломаев В.И. (советник руководителя АО «ПЗ «Машиностроитель»), Юрласов С.П. (Генеральный директор АО «Редуктор-ПМ»), Дудак В.В. (Генеральный директор ПАО НПО «Искра»), Остапенко С.В. (главный конструктор АО «ОДК-Стар»), доцент Левишин А.А. (зав. каф. А8 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова), доцент Яковлев А.Б. (зав. каф. «Авиа- и ракетостроение» ОмГТУ), доцент Малков Г.В. (зав. отделом «Лаборатория полимерных резистов» ФЦП ПХФ и МХ РАН), доцент Монахова В.П. (директор института № 2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки» МАИ), профессор Вильдеман В.Э., чл.-корр. РАПАН Девяткин В.А., профессор Коротаев В.Н., профессор Нихамкин М.Ш., профессор Паньков А.А., профессор Песин М.В., профессор Столбова И.Д., профессор Трусов П.В., профессор Трушников Д.Н., профессор Хименко Л.Л., профессор Чекалкин А.А., профессор Швейкин А.И., доцент Алексеев А.О., доцент Максимов П.В., доцент Плотников А.И., доцент Писарев П.В., Серегина М.А., Роман К.В., Палкин Д.Д.

Генеральный спонсор конференции – АО «ОДК-Авиадвигатель».

Спонсоры конференции – ООО «НПП «МЕРА», ГАУ ПК «Дирекция межвузовского кампуса «Будущее Пармы».

УДК 629.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ИЗНОСА БАББИТОВЫХ СЛОЁВ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

А.Н. Духанин¹, М.Б. Хадиев²

¹НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа,

г. Казань, Российская Федерация, e-mail: Artem.Dukhanin@niitk.ru

²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Институт химического и нефтяного машиностроения, г. Казань, Российская Федерация

Приведены два вида методик для оценки усталостного износа баббита Б-83 в опорных подшипниках скольжения центробежных компрессоров, причины, по которым данный износ возникает, и описание испытательного стенда для проведения испытаний на усталость при динамическом нагружении.

Ключевые слова: баббит, Б-83, центробежный компрессор, радиальный подшипник, опорных подшипник, метод конечных элементов, подшипник скольжения, испытательный стенд.

Повышение надежности и ресурса машин является ключевой задачей современного машиностроения. В центробежных компрессорах опорные подшипники скольжения (ПС) являются критически важным и ресурсоопределяющим узлом. Их отказ, вызванный усталостным разрушением баббитового слоя, часто приводит к серьезным последствиям с остановкой компрессора из-за роста вибраций и катастрофических поломок. Следовательно, необходимость разработки точных методов прогнозирования ресурса ПС, при проектировании центробежных компрессоров (ЦК) является актуальной.

Физические основы работы гидродинамических подшипников хорошо изучены. Однако проблема прогнозирования их долговечности и момента наступления предельного износа остается не до конца решенной. Значительный вклад в теорию трения и износа внесли как работы отечественных учёных [1–3], так и зарубежные исследователи [4–7]. Однако эти работы относятся в основном к ПС, работающим в поршневых компрессорах (ПК) и двигателях внутреннего сгорания (ДВС), где динамическая нагрузка является превалирующей, а частота её в большинстве случаев не превышает 100 Гц. Частота действующей нагрузки в ЦК составляет порядка (50–500) Гц, и статическая нагрузка остаётся невысокой при этом динамическая составляющая соразмерна со статической. Поэтому методы оценки усталостного износа, применяемые к ПК и ДВС, отличаются от ЦК, и не имеется возможности их перенести на ПС ЦК.

Оценить износ можно с помощью двух подходов:

1. Теоретическая оценка, построенная на методике МКЭ [8], базируется на основах материаловедения и теории развития трещин. Данная теория

позволяет отследить возникновение и последующий рост трещин в материале. В области этих дефектов локальные напряжения могут в разы превышать номинальное рабочее напряжение в подшипнике, что в последующем приводит к ускоренному износу.

2. Экспериментальный метод подразумевает под собой построение стенда для анализа разрушения поверхности баббитового слоя.

Цель работы заключается в разработке комплексной методики оценки ресурса баббитового слоя опорных ПС ЦК с проведением ресурсных испытаний и последующим определением ресурса ПС. Результаты работы позволят создать научно обоснованную методику, которая повысит надежность новых ПС в ЦК и провести оценку остаточного ресурса действующих ПС в ЦК.

Список литературы

1. Крагельский, И.В. Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
2. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник. – М.: Машиностроение, 2008. – 383 с.
3. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Испытание на изнашивание чистых металлов и антифрикционных сплавов при трении об абразивную поверхность // Трение и износ в машинах. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. – С. 89–98.
4. Archard J.F. Theory of mechanical wear // Research. – 1952. – Vol. 5, no. 8. – P. 395–396.
5. Suh N.P. The delamination theory of wear // Wear. – 1973. – Vol. 25, no. 1. – P. 111–124.
6. Rowe C.N. Some aspects of the heat of adsorption in the friction of a boundary lubricant // ASLE Transactions. – 1966. – Vol. 9. no. 1. – P. 100–111.
7. Simulating transient wear characteristics of journal bearings subjected to mixed friction / D. Bartel, L. Bobach, T. Illner, L. Deters // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. – 2012. – No. 226 (12). – P. 1095–1108. DOI: 10.1177/1350650112454510
8. Реализация многостадийной модели усталостных повреждений баббита и антифрикционных слоев из него / М.В. Зернин, Н.Н. Рыбкин, И.А. Емельянов, А.В. Матюхин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 3. – С. 4–15.
9. Зернин М.В. Трещиностойкость баббита Б83 [Электронный ресурс] // Транспортное машиностроение. – 2017. – № 1 (54). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/treschinostoykost-babbita-b83> (дата обращения: 12.10.2025).