

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора -
директор исследовательского центра
«Динамика, прочность, надежность»

ГНЦ ФАУ «Центральный институт
авиационного моторостроения имени
П. И. Баранова», д.т.н., с.н.с.



Юрий Александрович Ножницкий

» 01 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – ГНЦ ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова» на диссертационную работу Дрокова Виктора Владиславовича «Метод диагностирования технического состояния узлов трения на всех этапах жизненного цикла авиационных ГТД по параметрам частиц изнашивания», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6 - «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники».

1. Актуальность темы диссертации

Создание авиадвигателей нового поколения, параметры и характеристики которых соответствуют мировому уровню, является одной из приоритетных задач российской авиационной промышленности. Среди большого числа проблем, решаемых моторостроительными КБ при разработке двигателей, актуальной является проблема достижения высокого уровня надежности силовой установки (снижение частоты аварийных выключений в полете, снижение частоты ремонтов, повышение ресурса до первого снятия с крыла).

Частота аварийных выключений двигателя в полете во многом зависит от уровня приборного и технологического обеспечения систем диагностирования двигателя, способных выявить повреждение на ранней стадии развития и контролировать его до предотказного состояния. В ряду решения диагностических задач актуальным является создание и совершенствование технологии оценки состояния узлов ГТД, омываемых смазочным маслом, так как до 30 % неисправностей в полете связано с повреждениями узлов маслосистемы двигателя [1].

В настоящее время оценка технического состояния систем авиадвигателя, омываемых смазочным маслом, производится методами бортовой и наземной диагностики, применяемыми, как правило, совместно.

Бортовая система диагностирования представлена различными типами фильтров-сигнализаторов (ФСС), магнитными пробками (МП), датчиками вибрации, температуры и т.д. По сообщениям российских и зарубежных эксплуатантов, методами бортового диагностирования повреждения могут быть обнаружены только непосредственно перед разрушением узла, во время его разрушения или вообще могут быть не обнаружены. Поэтому системы

бортового диагностирования, фактически, являются первичной формой защиты двигателя и не могут играть большой роли при планировании обслуживания двигателей [2, 3].

Наземные методы, призванные обеспечивать углубленную оценку технического состояния, не всегда обеспечивают высокую достоверность результатов. На протяжении длительного времени [4-7] разработчики систем диагностирования совершенствовали аппаратуру, улучшали метрологические характеристики используемых приборов, разрабатывали методики подготовки проб к анализу и измерения массовой доли металлических примесей в пробе масла. Названные мероприятия не привели к существенному повышению достоверности диагностирования.

Для решения вопроса повышения достоверности диагностирования разработчиками был проявлен интерес к исследованию проб смыва с маслофильтра [2, 8-15]. Однако при оценке технического состояния по результатам анализа пробы с маслофильтра проблемой остается выбор и выявление эффективных диагностических признаков, связывающих параметры частиц изнашивания с техническим состоянием авиационного ГТД.

В НИИ прикладной физики ИГУ, совместно с заводами-изготовителями авиационных двигателей, разработан СВЧ плазменный (сцинтилляционный) метод, позволяющий измерять параметры частиц изнашивания, как в пробах масла, так и в пробах смыва с маслофильтра (фильтроэлемента) [16-19]. Использование данного метода для оценки технического состояния узлов маслосистемы ГТД позволило эмпирически найти новые эффективные диагностические признаки в пробе смыва, позволяющие оценивать техническое состояние двигателя с точностью до узла с достоверностью до 90 % [20].

Для анализа пробы смыва с маслофильтра найдены новые диагностические признаки, такие как отношение общего количества «сложных» частиц, состоящих из двух и более элементов, к общему количеству «простых» частиц изнашивания, состоящих из одного элемента ($V_{\text{общ}}$), и доля количества «сложных» частиц изнашивания определённого состава в общем количестве частиц изнашивания ($R_{\text{сл}}$) [16].

Найденные в работе [16] диагностические признаки при анализе пробы с маслофильтра связаны с количеством частиц и их элементным составом. Резервы в повышении эффективности использования СВЧ плазменного метода кроются в аппаратурном совершенствовании СВЧ анализатора, понимании роли маслофильтра при различных типах изнашивания и правильности измерения параметров частиц изнашивания.

В последние несколько лет интерес к СВЧ плазменному методу значительно повысился за счет увеличения налета и парка двигателей Д-30/КП/КП-2, соответственно увеличилось и число инцидентов, связанных с узлами маслосистемы. К этому следует добавить существенное приращение парка двигателей семейства ПС-90А.

Настоящая диссертационная работа посвящена актуальной проблеме совершенствования и разработки новых методов контроля и обоснованных

технологических решений для создания высокодостоверной методики диагностирования узлов трения авиационных ГТД по параметрам частиц изнашивания на основе использования СВЧ плазменного метода на всех этапах жизненного цикла авиационных ГТД.

2. Оценка содержания работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 167 страниц, включая 26 рисунков и 15 таблиц. Список литературы содержит 106 источников.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулирована цель и задачи работы, приведена научная новизна, практическая и научная значимость, представлены положения, выносимые на защиту, так же описана структура диссертации.

Первая глава посвящена обзору существующих методов контроля технического состояния узлов и агрегатов маслосистемы авиационных ГТД по параметрам металлической примеси. В главе рассмотрены различные точки отбора пробы масла на анализ и маслофильтр, как источник диагностической информации при диагностировании ГТД. Подробно рассмотрены различные диагностические параметры, получаемые различными методами анализа как из пробы масла, так и из пробы смыва с маслофильтра, и оценено их применение при диагностировании маслосистемы авиационного ГТД.

Во второй главе представлены данные по математическому моделированию процессов развития повреждений деталей ГТД, работающих в масле. Показана скорость накопления металлической примеси в маслосистеме (в масле и на маслофильтре) в зависимости от параметров самого маслофильтра, а также от скорости генерации металлической примеси при различных типах изнашивания.

Третья глава посвящена обоснованию и совершенствованию способов измерения параметров частиц изнашивания СВЧ плазменным методом анализа для оценки узлов маслосистемы ГТД. В главе кратко описаны характеристики и возможности СВЧ плазменного и микрорентгеноспектрального методов, приведены распределения частиц по размерам с реальных двигателей, как исправных, так и с различными повреждениями. На основе оценено влияние вида распределения на определение повреждений СВЧ плазменным методом. Для верификации, результаты СВЧ плазменных измерений элементного состава частиц изнашивания в главе сравниваются с результатами микрорентгеноспектральных измерений.

Четвертая глава посвящена разработке методики оценки технического состояния узлов, омываемых смазочным маслом, по результатам СВЧ плазменных измерений проб масел и смывов с маслофильтров, отобранных с двигателей Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154.

В составе методики приведены статистические модели исправных двигателей, составленные на основе массива результатов измерений проб масле и смывов, отобранных с заведомо исправных двигателей. Также в

отдельный пункт выделены типы развития повреждений, выявляемые методикой, прописан порядок оценки технического состояния двигателей в эксплуатации и рекомендуемый порядок локализации повреждений по диагностическим признакам, в частности повреждения маслоагрегатов, подшипников трансмиссии, зубчатых колес и лабиринтного уплотнения.

По каждой главе диссертационной работы сделаны соответствующие выводы. Список использованных источников полно отражает современное развитие темы исследования.

В заключении изложены основные выводы и результаты проведенного диссертационного исследования.

В приложении представлен акт об использовании и внедрении результатов диссертационного исследования в АО «ОДК-Авиадвигатель».

Автореферат соответствует тексту диссертации. В автореферате достаточно подробно отражены основные результаты диссертационного исследования, отсутствуют противоречия между данными автореферата и диссертации. Оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям ВАК. Содержание и структура диссертации подчинены единой логике, соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

3. Новые научные результаты, полученные в диссертации

1. Методом статистического моделирования с использованием реальных параметров частиц изнашивания и масляных фильтров рассчитано распределение металлической примеси между фильтром и масляной системой авиадвигателя. Установлено, что чем меньше размер ячеек фильтра, тем более серьезный износный процесс должен происходить в маслосистеме, чтобы величина массовой доли в пробе масла превысила граничное значение и в двигателе был обнаружен повышенный износ.

2. Установлено, что обнаружение повреждения деталей по величине массовой доли в пробе масла при развитии процесса выкрашивания возможно в случаях, когда размер ячеек маслофильтра превышает средний размер частиц выкрашивания. В соответствии с полученными результатами превышение граничного значения $C_{Fe} = \bar{x} + 3\sigma$ в пробе масла при использовании 75 мкм фильтра возможно при выбросе частиц со средним размером, не превышающим 18 мкм, а при использовании 40 мкм фильтра со средним размером частиц не более 5 мкм. В иных случаях оценка состояния двигателя по величине массовой доли при данном типе изнашивания не эффективна.

3. Установлено, что в двигателях с повреждением поверхностей пар трения распределение частиц по размерам может быть неотличимо от распределения частиц, характерного для исправного двигателя, когда основное количество частиц сосредоточено в классах от единиц до 80 мкм. При повреждении узла(ов) в этом классе увеличивается только их общее количество. Этот факт меняет требования к измерительной аппаратуре – аппаратура должна выдавать информацию о параметрах частиц во всем возможном диапазоне их изменения их размеров, что позволит диагностам

принимать более обоснованные решения по техническому состоянию двигателя.

4. Найдено, что в исправном двигателе и в двигателях с повреждениями различных узлов отсутствуют частицы, элементные содержания в которых соответствуют паспортному составу сплавов, используемых в конструкции двигателей. Разброс по содержаниям элементов, входящих в состав сплавов, может отличаться от паспортных значений в десятки раз. Несоответствие элементного состава частиц изнашивания паспортному составу сплавов может являться одной из причин досрочного повреждения узла(ов) двигателя;

5. Показана необходимость одновременного учета при диагностировании параметров частиц в пробе масла и пробе смыва с маслофильтра. В этом случае влияние параметров маслофильтра и примеси на оценку состояния двигателя будет снижено и достоверность результатов диагностирования может быть значительно улучшена. Параметры частиц изнашивания в пробе смыва с маслофильтра свидетельствуют о состоянии двигателя в целом, параметры частиц в пробе масла характеризуют, как правило, повреждения узлов коробки(ок) приводов, центрального привода.

4. Научная и практическая ценность диссертации

Научная и практическая ценность результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

1. разработана научно-техническая документация для внесения анализатора САМ-ДТ-01-2 в реестр Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Приказом от 13 июля 2016 г. № 1015 анализатор САМ-ДТ-01-2 внесен в реестр под № 63023, как средство измерения.

2. разработана научно-обоснованная методика диагностирования двигателей Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154 при измерении параметров частиц изнашивания в пробах масел и смывов с маслофильтров СВЧ плазменным анализатором. Методика диагностирования Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154 прошла метрологическую экспертизу в ГосНИИ ГА.

3. разработанная методика для Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154 адаптирована для оценки состояния двигателей ПС-90А и ПД-14.

4. для сотрудников АО «ОДК-Авиадвигатель» разработана специальная учебная программа. Проведено обучение сотрудников АО «ОДК-Авиадвигатель» по работе на СВЧ плазменном анализаторе и диагностированию двигателей ПС-90А и ПД-14 СВЧ плазменным методом.

5. разработанные подходы по диагностированию смазываемых узлов трения двигателей позволили расширить области применения СВЧ плазменного анализатора. В частности, получены положительные результаты по оценке состояния газоздушного тракта и топливной аппаратуры ГТД.

5. Степень достоверности результатов исследования

Защищаемые научные положения и выводы базируются на результатах экспериментов и проведенных расчетах. Данные по параметрам частиц

верифицировались с помощью независимых контрольных сертифицированных методов анализа. Обоснованность статистических моделей обеспечена значительным объемом выборок. Методики измерения параметров частиц и диагностирования прошли поверку и экспертизу в профильных ведомственных учреждениях. Результаты диагностирования подтверждены заводской разборкой двигателей.

6. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития отрасли технических наук состоит в усовершенствовании элементов оборудования и разработке новых подходов диагностирования, позволяющих осуществлять контроль технического состояния узлов и агрегатов маслосистемы авиационных двигателей на всех этапах жизненного цикла.

7. Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Заводам-изготовителям авиационных газотурбинных двигателей – новые подходы и оборудование для оценки технического состояния маслосистемы новых двигателей; двигателей, находящихся в эксплуатации; двигателей, проходящих стендовые и приемо-сдаточные испытания (ПСИ).

8. Публикации, апробация и внедрение результатов диссертационной работы

Основные результаты по теме диссертации изложены в 10 печатных изданиях, изданных в журналах, рекомендованных ВАК. Кроме того, в процессе выполнения работы получено 4 патента на изобретения.

Основные результаты работы доложены на 4 международных и всероссийских конференциях с международным участием: XVI международном симпозиуме «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (14-16 августа 2018, Новосибирск); XI Всероссийской научной конференции и школы «Аналитика Сибири и Дальнего востока» (16-20 августа 2021, Новосибирск); XVI Международной научно-практической конференции «International Conference on Aviation Engineering» (3-7 июля 2023, Иркутск); V всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Инновационные проекты и технологии машиностроительных производств» (14 декабря 2023, Омск).

Основные результаты работы доложены на 4 конференциях:

1. XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (ООО «ВМК-Оптоэлектроника»; Институт автоматики и электрометрии СО РАН; Новосибирский государственный технический университет – Новосибирск, 2016г).

2. XVI Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (ООО «ВМК-Оптоэлектроника»; Институт автоматики и электрометрии СО РАН; Новосибирский государственный технический университет – Новосибирск, 2018г).

3. 6-я Международная научно-техническая конференция «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов», 2017г;

4. X научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов её эксплуатации" (Иркутский филиал ФГБОУ ВПО МГТУ ГА. – Иркутск, 5-7 декабря 2017 г.);

Так же основные результаты и выводы диссертационной работы обсуждались на совещаниях в АО «ОДК» и на совещаниях рабочих групп с двигателестроительными организациями.

Опубликованные по результатам исследований материалы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, имеются ссылки на авторов и источники заимствования материалов.

9. Основные замечания по диссертации

1. Какой максимальный размер частиц, который может с достаточной точностью анализироваться данным методом?

2. Достаточно ли 8 элементов, определяемых СВЧ плазменным методом, для достоверного выявления поврежденного узла маслосистемы ГТД?

3. Является ли объём диагностируемой пробы в 1 мл достаточным для определения общего технического состояния ГТД?

10. Заключение

Представленная диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, отличается достаточно хорошим уровнем, а выдвигаемые для публичной защиты положения имеют важное научное и практическое значение. Полученные результаты достоверны и на должном уровне прошли апробацию. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Содержание автореферата отражает содержание диссертационной работы. Структура и оформление диссертации и автореферата выполнены согласно ГОСТ Р 7.0.11 – 2011. Диссертация соответствует научной специальности 2.9.6. «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники».

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация Дрокова Виктора Владиславовича «Метод диагностирования технического состояния узлов трения на всех этапах жизненного цикла авиационных ГТД по параметрам частиц изнашивания» является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, позволяющие повысить достоверность контроля технического состояния маслосистемы авиационных ГТД при их эксплуатации, имеющие существенное значение для развития авиационной отрасли страны.

По степени научной новизны, объёму выполненных исследований и их практической ценности работа соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание учёной степени кандидата наук,

установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а её автор, Дроков Виктор Владиславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6. «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники».

Отзыв рассмотрен на заседании отдела «Надёжность, лётная годность, диагностика, технико-экономический анализ».

Протокол № 004-20/83 от 15 . 01 .2026 г.

Присутствовало 18 человек, проголосовало ЗА – 18 человек, проголосовало ПРОТИВ – ___ человек, воздержались – ___ человек.

Начальник отдела «Надёжность, лётная годность, диагностика, технико-экономический анализ», кандидат технических наук

«15» 01 2026 г.



/Долгополов Илья Николаевич

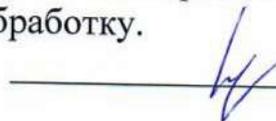
Контактные данные: Государственный научный центр, федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

Почтовый адрес: 111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2

Тел.: +7 (499) 763-61-67

E-mail: info@ciam.ru

Я, Ножницкий Юрий Александрович, утвердивший отзыв ведущей организации, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Дрокова Виктора Владиславовича, и их дальнейшую обработку.



/Ножницкий Ю. А.