

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «УФИМСКОЕ АГРЕГАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ»  
АКЦИОНЕРЗАР ЙӨМФИӨТЕ «ӨФӨ АГРЕГАТ ЕТЕШТЕРЕУ БЕРЕКМӨНЕ»



450076, Россия, Республика Башкортостан,  
г. Уфа, ул. Аксакова, 97  
Тел.: +7 (347) 229-20-15  
Факс: +7 (347) 272-08-43  
e-mail: uapo@tdhc.ru  
http: uapo.ru  
ОКПО 07510218; ОГРН 1110280035040  
ИНН 0275074279; КПП 027501001

450076, Рәсәй, Башкортостан Республикаһы,  
Өфө ҡалаһы, Аксаков урамы, 97  
Тел.: +7 (347) 229-20-15  
Факс: +7 (347) 272-08-43  
e-mail: uapo@tdhc.ru  
http: uapo.ru  
ОКПО 07510218; ОГРН 1110280035040  
ИНН 0275074279; КПП 027501001

Исх. № ОКБ/928 от 20.01.2016

Экз. № \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю

диссертационного совета 42.2.001.01  
на базе ФГБОУ ВО «МГТУ ГА»

**САМОЙЛЕНКО В.М.**

ФГБОУ ВО «МГТУ ГА»  
Кронштадтский бульвар, 20, г. Москва,  
125993

### ОТЗЫВ

официального оппонента Мусина Сергея Миргасовича 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

Диссертация ДРОКОВА Виктора Владиславовича посвящена решению актуальной для воздушного транспорта проблемы эксплуатации газотурбинных авиационных двигателей (ГТД) на основе изучения физико-химических процессов износа узлов трения, что позволило развить систему диагностирования их технического состояния в эксплуатации и поддерживать их работоспособное состояние на полном их жизненном цикле.

В работе представлены метод и методика оценивания технического состояния газотурбинных авиационных двигателей типа Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154 и ПС-90А, которые включают обзор инструментальных методов оценки состояния узлов и деталей авиационных ГТД по параметрам частиц изнашивания, изучение зависимости числа и размера зарегистрированных многоэлементных частиц от технического состояния двигателя и тонкости фильтрации маслофильтра при нормальном, повышенном и импульсном поступлении частиц износа (повреждения) в маслосистему двигателя; прогноз повреждения деталей при импульсном поступлении частиц в систему смазки двигателя; оценку погрешности (достоверности) определения элементного состава частиц изнашивания при сверхвысоких частотных (СВЧ) плазменных измерениях; методику диагностирования авиационных ГТД на основе результатов СВЧ плазменных измерений параметров

частиц изнашивания в пробе масла и смыва с маслофильтра (фильтроэлемента) двигателей Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154 и ПС-90А.

Теоретические и практические исследования проводились в условиях ФГБОУ ВО МГТУ ГА, ПАО «ОДК-Сатурн», АО «ОДК-Авиадвигатель», ФГБОУ ВО ИРНИТУ и ФГБОУ ВО ИГУ (подразделение НИИПФ ИГУ) в целях выполнения Федеральной целевой программы «Исследование и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России 2014-2020 годы» по теме «Разработка и создание программно-аппаратного СВЧ плазменного комплекса для мониторинга, контроля и безопасной эксплуатации маслосистемы двигателей наземного и воздушного назначений» номер государственной регистрации АААА-А18-118112990020-0. Общий уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57718X0289.

**Цель** диссертационной работы является разработка и совершенствование СВЧ плазменного метода для диагностирования технического состояния узлов трения авиационных ГТД Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154 и ПС-90А с высокой степенью достоверности на этапах их испытаний и эксплуатации.

По целям исследования и решаемым задачам исследование проведено по специальности 2.9.6. Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники п. 4 разработка и совершенствование методов контроля, проведения **летных и наземных испытаний, диагностирования и прогнозирования технического состояния авиационной техники** на всех этапах ее жизненного цикла.

**Научная новизна**, имеющая важное значение для науки и практики, заключается в следующем:

– сформирована база знаний с применением методологии Delphi (Pascal) в составе математической модели, описывающей влияние параметров маслофильтра на достоверность выявления повреждения при непрерывном и импульсном постулении частиц в маслосистему двигателя; систему статистических математических моделей исправного двигателя по параметрам частиц изнашивания, позволяющие оценивать его техническое состояние на этапах испытаний и эксплуатации, диагностических признаков для высокодостоверной оценки узлов маслосистемы ГТД

– рекомендации по реализации метода диагностирования технического состояния узлов трения в виде методики оценки технического состояния ГТД по параметрам частиц веществ в пробе масла и пробе смыва с маслофильтра.

**Практическая ценность и реализация** результатов исследований определяется тем, что решение научной задачи реализованы в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии (анализатор САМ-ДТ-01-2 внесен в реестр под № 63023, как средство измерения) в Росавиации и ФГУП «ГосНИИ ГА» (методика диагностирования двигателей Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154 и ПС-90А при измерении параметров частиц изнашивания в пробах масел и смывов с маслофильтров СВЧ плазменным анализатором), АО «ОДК-Авиадвигатель» (методика диагностирования ПС-90А и ПД-14, учебная программа применения анализатор САМ-ДТ-01 -2 при диагностировании технического состояния двигателей ПС-90А и ПД-14

**Оценка достоверности результатов:**

- **практические** результаты получены в ходе применения СВЧ плазменного анализатора на ПАО «ОДК-Сатурн» для диагностирования авиационных двигателей типа Д-30/КП/КП-2/КУ/КУ-154 и применения плазменного анализатора САМ-ДТ-01-2 на АО «ОДК-Авиадвигатель» для диагностирования двигателей типа ПС-90А.

- **теория построена** на известных положениях прикладных методов аналитической химии (СВЧ плазменный, атомно-абсорбционный, микрорентгеноспектральный методы анализа). При выполнении вычислительных экспериментов использовались основные положения теории вероятностей, методы математической статистики, методы факторного эксперимента и методы

математической физики и согласуется с опубликованными материалами по теме диссертации;

- **идея базируется** на теории трибологии, предметом которой являются процессы трения, изнашивания и смазки;

- **использованы** данные, полученные другими авторами по рассматриваемой тематике, для сравнения авторских данных. Сравнение показало непротиворечивость результатов расчета;

- **установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами функционирования прототипов плазменного анализатора в ходе исследований ГНЦ ФАУ «ЦИАМ имени П.И. Баранова»;

- **использованы** современные методики организации математического и имитационного эксперимента, сбора и обработки исходной информации, представительные выборочные совокупности.

**Личный вклад соискателя состоит:**

- в создании базы знаний в составе математических моделей и методик поузлового диагностирования двигателей Д-30/КП/КП-2/КУ/КУ-154;

- в усовершенствовании статистических математических моделей исправного состояния авиадвигателя по параметрам частиц изнашивания;

- личном участии в проведении вычислительного и натурального экспериментов;

- физической и целевой интерпретации экспериментальных данных, полученных лично автором;

- личном участии в апробации результатов исследования;

- подготовке основных публикаций соискателя по выполненной работе, защите новых научных результатов в виде патентов.

**Апробация** основные положения диссертации доложены и обсуждены: на следующих конференциях: XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (ООО «ВМК-Оптоэлектроника»; Институт автоматизации и электрометрии СО РАН; Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, 2016), XVI Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (ООО «ВМК-Оптоэлектроника»; Институт автоматизации и электрометрии СО РАН; Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, 2018), 6-я Международная научно-техническая конференция «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов», 2017; X научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов её эксплуатации" (Иркутский филиал ФГБОУ ВПО «МГТУ ГА», г. Иркутск, 5-7.12.2017).

**В первой главе** представлен анализ и обобщения известных причин недостаточной достоверности результатов определения технического состояния газотурбинного авиационного двигателя на основе изучения узлов маслосистемы ГТД. Выявлены факторы, влияющие на достоверность оценки технического состояния по результатам анализа пробы масла.

Установлено, что перспективным методом для получения высокодостоверной информации о параметрах частиц изнашивания в пробе масла и смыва с маслофильтра для диагностирования ГТД является атомно-эмиссионный СВЧ плазменный метод. Сформулированы определяющие задачи по достижению поставленной цели: оценить влияние параметров фильтрации маслофильтра на параметры частиц изнашивания при стационарном и импульсном поступлении частиц в маслосистему, оценить распределения частиц по размерам в двигателях с разным техническим состоянием, оценить правильность определения элементного состава частиц изнашивания, изучить причину регистрации одноэлементных частиц. На базе полученных данных создать методику поузловой оценки технического состояния двигателей Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154, используя результаты СВЧ

плазменных измерений параметров частиц изнашивания в пробе масла и смыва с маслофильтра.

**Во второй главе** разработаны модели процессов развития повреждений деталей и сборочных единиц узлов трения авиационных ГТД, работающих в масле, осуществлено моделирование процессов фильтрации металлической примеси при нормальном изнашивании, ускоренном изнашивании и изнашивании с повреждением, с применением статистического метода имитационного моделирования Монте-Карло.

Разработана программа (Filtr, защищена патентом) для математического моделирования износных процессов, протекающих в маслосистеме авиационного ГТД в условиях, приближенных к реальным процессам. Программа позволяет гибко изучать параметры маслосистемы и исходные параметры металлической примеси, в зависимости от размеров ячеек маслофильтра, и, следовательно, изучить износные процессы для определения возможности выявления повреждений узлов двигателя на этапах сертификационных испытаний и эксплуатации.

**В третьей главе** проведено изучение метода измерения параметров частиц изнашивания СВЧ плазменной аппаратурой для оценки технического состояния узлов маслосистемы ГТД в пробе масла и смыва с маслофильтра. В главе даны характеристики степени износа и/или повреждений по параметрам частиц износа и инвариантность по результатам микрорентгеноспектральных измерений, оценена достоверность получаемых результатов СВЧ плазменным способ.

**В четвертой главе** представлены методика оценки технического состояния авиационного ГТД на основе СВЧ плазменного метода изучения частиц изнашивания в пробе масла и смыва с маслофильтра относительно маслосистемы двигателей Д-30КП/КП-2/КУ/КУ-154. В методике даны характеристики степени износа и/или повреждений по параметрам частиц износа и инвариантность по результатам микрорентгеноспектральных измерений.

**В целом** все разделы диссертации отражают глубину проработки рассматриваемых в них вопросов и подтверждают заявленную автором новизну полученных результатов исследований.

Текст диссертации написан грамотно, на хорошем научном и техническом языке. Работа оформлена аккуратно, легко читается, хотя содержит ряд неточностей (например, на рисунке 4 автореферата представлена «диаграмма», а в тексте при анализе диаграммы применяется термин «распределение» и др.) и стилистически неправильно построенных фраз.

**Публикация** материалов диссертационной работы характеризуется 13 публикациями из них 7 в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, и 3 в базе Scopus, получено четыре патента РФ № 2018120973, № 2018147450, №2019124700, №2020131290.

#### **Основные замечания по диссертации**

1. Ни в диссертации, ни в автореферате не представлено соответствие выполненных исследований паспорту специальности 2.9.6. Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники.

2. СВЧ плазменный метод ограничен этапами испытаний и эксплуатации, и не применим на всех этапах жизненного цикла, поскольку использование метода начинается с опытных образцов, которые создаются на этапе рабочей конструкторской документации. На этапе утилизации метод также не применяется.

3. Передаточная функция маслофильтра представляет собой последовательное соединение трех колебательных звеньев второго порядка, тогда как автор под передаточной функцией понимает размер ячеек маслофильтра. Термин «передаточная функция» применен не корректно.

4. Применение конкурирующих допусков типа  $\bar{x}+2\sigma$  или  $\bar{x}+3\sigma$  обусловлено метрологической точностью измерений. В диссертации метрологическая оценка не представлена.

5. Не представлено обоснование применения логнормального распределения случайных чисел при реализации вычислительных экспериментов методом Монте-Карло с целью формирования эталонных статистических моделей процессов изнашивания узлов трения газотурбинных авиадвигателей. Вид моделей и их адекватность существенно коррелируются с допусками типа  $x+2\sigma$  и  $x+3\sigma$ , и далее с достоверностью и правилами принятия решения о техническом состоянии авиадвигателя.

Указанные недостатки не являются принципиальными для общей оценки выполненной диссертационной работы.

Результаты работы могут быть использованы научными, образовательными, производственными и эксплуатирующими предприятиями и учреждениями авиационной отрасли.

### ВЫВОД

Диссертационная работа Дрокова Виктора Владиславовича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной в соответствии с пп. 9-11, 13, 14 действующего Положения о порядке присуждения ученых степеней. В диссертации изложено решение актуальной научной задачи по разработке метода и методики диагностирования авиационных газотурбинных двигателей в эксплуатации СВЧ плазменным методом и представлены технологические решения оценки технического состояния авиационных газотурбинных двигателей в эксплуатации на основе изучения частиц изнашивания в пробе масла и смыва с маслофильтра.

Качество и объем проведенных актуальных исследований, полученные теоретические результаты и практическая значимость удовлетворяют требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, работа соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней», а автор, Дроков Виктор Владиславович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ  
доктор технических наук, профессор

Мусин Сергей Миргасович

«20» января 2026 года

г. Москва, проезд Энтузиастов д. 15.  
ОКБ АО «УАПО» (Обособленное конструкторское бюро Акционерного общества «Уфимское агрегатное производственное объединение»)

Тел. +7-495-627-10-99 доб. 3436

E.mail: smusin@tdhc.ru

Подпись официального оппонента доктора технических наук, профессора Мусина С.М. удостоверяю.

Специалист по кадрам АО «УАПО»

Харитонова Елена Васильевна

«20» января 2026 года

