

УДК 621.45.04

DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-3-35-44

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО СОДЕРЖАНИЮ МЕТАЛЛОВ В МАСЛАХ

К.И. ГРЯДУНОВ<sup>1</sup>, А.Н. КОЗЛОВ<sup>1</sup>, М.Л. НЕМЧИКОВ<sup>1</sup>, И.С. МЕЛЬНИКОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет гражданской авиации,  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации,  
г. Москва, Россия

Современные тенденции развития гражданской авиации указывают на значительный рост количества летательных аппаратов с авиационными поршневыми двигателями. Министерством транспорта РФ готовится проект приказа о внесении изменений в федеральные авиационные правила подготовки и выполнения полетов в гражданской авиации (ФАП-128), которые предусматривают упрощенные процедуры осуществления платных экскурсионных полетов на легких и сверхлегких самолетах и вертолетах. Очевидно, что это обстоятельство значительно повлияет на расширение парка указанных воздушных судов, в связи с чем становятся все более актуальными вопросы оценки состояния поршневых двигателей, работающих на авиационных бензинах. В статье рассматриваются текущие проблемы диагностирования авиационных двигателей по содержанию металлов в маслах. Показаны их недостатки, возможные пути решения этих проблем и недостатков, актуальные разработки в данном направлении. Показаны примеры применения методов раннего диагностирования с использованием автоматизированного диагностического комплекса «Призма». Особый интерес представляют результаты анализов проб масла, отобранных из поршневого двигателя АШ-62ИР самолета АН-2. Они показывают, что при должной подготовке персонала поступающая с пробой масла ценная информация может быть источником важных заключений не только в оценке состояния узлов и агрегатов авиационных двигателей, но и других систем, а также заключений о качестве применяемых горюче-смазочных материалов. Предложен метод оценки остаточного ресурса двигателя на различных этапах его наработки по содержанию металлов в маслах, а также процедура отбора масла, позволяющая получить достоверные результаты.

**Ключевые слова:** диагностирование, авиационные двигатели, поршневые двигатели, авиационное топливо, авиационное масло, АДК «Призма», продукты изнашивания.

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим условием эксплуатации авиационной техники (АТ) является обеспечение ее надежной и безаварийной работы на всех стадиях эксплуатации.

Наиболее распространенным методом по обслуживанию авиатехники является выполнение регламентных работ в установленные сроки, определенные в нормативных документах. Они определяются исходя из ресурсов работы узлов и агрегатов, которые устанавливаются разработчиками и производителями по результатам комплекса испытаний, проводимых при постановке их на производство и в эксплуатацию.

Однако на практике довольно часто приходится корректировать сроки обслуживания по результатам эксплуатации отдельных узлов и агрегатов, изменяя сроки проведения регламентных работ как в сторону его сокращения при выявлении неисправностей, так и в сторону его продления после оценки состояния различными методами. Данный факт уже несколько десятилетий порождает пристальный интерес эксплуатантов и производителей техники к созданию комплекса методов непрерывного мониторинга ее объективного технического состояния. Данные методы при должном подходе позволяют проводить обслуживание и ремонт АТ по состоянию.

Этой теме посвящено большое количество исследований, предлагающих косвенные методы, по которым можно с большей или меньшей точностью и достоверностью судить о состоянии конкретной системы и корректировать сроки ее обслуживания.

К ним относятся: оценка температурного режима работы ответственных узлов авиадвигателей, осмотр лопаток турбины и компрессора двигателя с помощью интересско-

пов, установка контрольных элементов в маслосистему (сигнализаторы стружки в масле) и многое другое.

Отдельное диагностическое направление занимают методы анализа работавшего масла, отобранного в процессе эксплуатации из маслосистем двигателей.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В России и за рубежом действуют отраслевые стандартные методы, позволяющие судить о реальном состоянии узлов двигателя и самого масла по результатам его анализов. Так, с 80-х годов прошлого века появился ряд стандартов ASTM<sup>1,2</sup>. С 1990-х годов действует ГОСТ, регламентирующий порядок контроля остаточного ресурса масла в дизелях тепловозов<sup>3</sup>. Примерно в то же время разработана и внедрена отраслевая норма ГА, определяющая максимальное допустимое содержание металлических частиц в работавших маслах различных авиадвигателей. Для этого используются разнообразные приборы количественного и качественного определения металлических частиц изнашивания в отобранных пробах масла.

К недостаткам данных методов можно отнести их низкую эффективность применения из-за неинформативного отбора проб масла, а также то, что для определения состояния того или иного двигателя нужно иметь достаточный объем накопленных статистических данных по исправным и отказавшим двигателям. К сожалению, правильно среагировать на первые представления информации разработанные наукой технические методы пока не способны – сначала необходимо много считать и только затем принимать решения. Все это в комплексе приводит к сложности получения корректных результатов на применяемом точном дорогостоящем оборудовании. Поэтому на данный момент совершаются попытки перейти к непрерывному онлайн-контролю мехпримесей в авиамаслах, что является перспективным и актуальным направлением в диагностике на текущем уровне технического развития.

Представляет интерес информация по системе диагностирования – совместной разработке фирм «Роллс-Ройс» и «Майкрософт», – позволяющей в режиме онлайн отслеживать состояние авиадвигателей, информировать экипажи и обслуживающий персонал о выявленных неисправностях и давать рекомендации по их устранению [1].

Компания «Роллс-Ройс» разрабатывает систему предупреждающего обслуживания двигателей на базе сервисов машинного обучения с искусственным интеллектом и вычислительной сети физических предметов (Internet of Things) облака Майкрософт Азур. Такая система позволит изменить принципиальные подходы к диагностированию узлов и агрегатов самолетов, предотвратить многие нарушения в работе оборудования и уменьшить расход топлива, что по предварительным расчетам позволит авиаперевозчикам сэкономить до 250000 ам. долларов в год на одном самолете [1].

На данный момент эта компания предоставляет в эксплуатацию более 13000 авиационных двигателей, а также предоставляет комплексные услуги по техническому обслуживанию и ремонту воздушных судов, что позволяет компании собрать достаточный для обработки массив данных о различном авиационном оборудовании [1].

Система, созданная на базе сервисов машинного обучения с искусственным интеллектом в облаке Майкрософт Азур, обрабатывает массивы данных, поступающих с датчиков, установленных в большом количестве на самолетах и двигателях. Анализ этих данных и сравнение их с

<sup>1</sup> ASTM D6224-16. Standard practice for in-service monitoring of lubricating oil for auxiliary power plant equipment [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.astm.org/Standards/D6224.htm> (дата обращения: 10.12.2017).

<sup>2</sup> ASTM D5452-12. Стандартный метод определения загрязнений авиационных топлив твердыми частицами с помощью лабораторной фильтрации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.astm.org/Standards/D5452-RUS.htm> (дата обращения: 10.12.2017).

<sup>3</sup> ГОСТ 20759-90. Дизели тепловозов. Техническое диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса методом спектрального анализа масла. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1991.

аналогичными данными с других самолетов позволяют программе делать рекомендательные заключения о неэффективности работы конкретных элементов и рекомендовать их замену, ремонт или обслуживание еще до достижения определенного ресурса. В то же время, если ресурс деталей и агрегатов подходит к концу, а их работа не вызывает нареканий, может быть принято решение о продлении срока их эксплуатации<sup>4</sup>.

Таким образом, с помощью данной системы, предложенной «Роллс-Ройс», авиакомпании могут разрабатывать соответствующие модели, формировать рекомендации по улучшению графиков полета или технического обслуживания и ремонта, определять эксплуатационные нарушения или незначительные ошибки полетных данных и разрабатывать соответствующие способы решения для предотвращения их повторения. Данный подход позволит повысить экономичность и безопасность полетов<sup>4</sup>.

Прибор Lubricheck, протестированный в испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ, реализует запатентованную технологию, позволяющую определять емкостные и резистивные свойства масел. «Вырабатывание ресурса масел вследствие контактных напряжений, высоких температур и давлений, его обводненности и попадания топлива, окисления и загрязненности различными механическими примесями приводит к изменению емкостных и резистивных свойств масел. Указывается, что сочетание указанных показателей позволяет с высокой точностью оценивать загрязненность масел»<sup>4</sup> [1].

Также отечественными специалистами проводятся испытания системы непрерывного (онлайн) контроля частиц изнашивания в маслосистеме авиационных двигателей. Трибодиагностическая система MetalSCAN установлена с тремя одноименными канадскими датчиками, осуществляющими непрерывный гранулометрический анализ частиц изнашивания в магистралях откачки масла двигателя ПД-14: от роликоподшипника турбины ВД, в магистралях откачки масла от опор компрессора и центрального привода и слива масла. Полученная от датчиков информация преобразуется в цифровой вид и поступает для отображения и регистрации в соответствующей программе на ПК. Также эта информация размещается на сервере и может быть доступна специалистам для просмотра со своих рабочих мест [2, 3].

Тем не менее следует отметить, что, пока новые методы обрабатываются и результат их применения неизвестен, старые проверенные методы должны совершенствоваться и быть действенным инструментом в обеспечении раннего диагностирования. Отдельно следует отметить требования к персоналу лабораторий, которые должны иметь развитое инженерное мышление и уметь качественно обрабатывать поступающую информацию.

Оценке остаточного ресурса авиадвигателя по состоянию посвящена диссертационная работа «Метод обеспечения достоверности диагностирования авиационных двигателей по содержанию металлов в маслах» [4], выполненная на кафедре АТО и РЛА МГТУ ГА в 2016 году, в которой подробно изложены вопросы возможного решения данной проблемы. В публикации [5, 8] сделан подробный анализ современных методических приемов, позволяющих получить достаточно большой объем информации о состоянии работавшего масла в различных типах двигателей, а также об основных правилах отбора проб масла для получения достоверных результатов при оценке остаточного ресурса двигателей. В том числе обосновываются различия в интерпретации полученных результатов анализа проб свежего и работавшего масла. Среди методов, упомянутых в данной публикации, отмечен метод рентгеновского анализа образцов механических примесей, полученных в процессе фильтрации образцов работавших масел.

На кафедре АТО и РЛА МГТУ ГА в последние годы проводятся активные поисковые работы в этом направлении с использованием отечественного рентгенофлуоресцентного анализатора ПРИЗМА,

---

<sup>4</sup> Rolls-Royce и Azure сэкономят авиакомпаниям миллионы долларов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.microsoft.com/ru-ru/rolls-royce-i-azure-se-konomyat-aviakompaniyam-milliony-dollarov/> (дата обращения: 15.07.2018).

в результате которых была показана возможность оценки состояния авиационного и наземного оборудования по результатам анализов топлив и масел на содержание в них металлов [4–6, 9, 10].

В данной статье представлены результаты испытаний двух серий проб масла, отобранных с турбовинтовых и поршневых двигателей самолетов АН-148 и АН-2.

В первой серии исследовались пробы масла Mobil Jet Oil II с двигателя Д-436-148, который входит в семейство авиационных газотурбинных двигателей, разработанных ЗМКБ «Прогресс» им. академика А.Г. Ивченко, предназначенного для пассажирских и транспортных самолетов малой и средней дальности полета (Ту-334, Ан-148, Бе-200 и пр.).

Масло Mobil Jet Oil II для авиационных газотурбинных двигателей представляет собой комбинацию высокостабильной синтетической жидкости, которая используется в качестве основы с уникальным по химическому составу пакетом присадок. Эта комбинация обеспечивает высокую термическую устойчивость и стабильность масла к окислению, что в свою очередь снижает старение масла, образование осадка как в жидкой, так и в паровой фазе, а также склонность к пенообразованию. Работоспособно в диапазоне температур от –40 до +204 °С, соответствует требованиям MIL-PRF-23699F-STD, NATO 0-156, DERD 2499 и DEF-STAN 91-101. Отечественный аналог – масло ВНИИ НП 50-1 4у.

Серия испытаний состояла из 12 проб, отобранных в ресурсном интервале двигателя между 2135 и 7241 часами эксплуатации. Объем каждой из испытанных проб составлял 25 мл. Анализ производился на АДК «ПРИЗМА» по стандартной методике. Результаты измерений концентраций химических элементов загрязнения масел приведены в табл. 1.

**Таблица 1**  
**Table 1**

Масло Jet Oil II Самолет АН-148-100В Двигатель Д-436-148  
Jet Oil II Aircraft AN-148-100В Engine D-436-148

№	Дата отбора	Наработка СНЭ (ч)	Содержание металлов, г/г					
			Fe	Cu	Ni	Cr	Ti	Zn
1	21.09.2011	2135	0,03	–	–	–	–	–
2	04.12.2011	2826	0,07	0,050	–	0,04	–	–
3	28.02.2012	3867	0,70	–	–	0,07	–	–
4	21.03.2012	4026	0,50	0,110	0,03	0,04	–	–
5	19.04.2012	4250	0,18	0,110	0,03	0,04	0,10	–
6	12.05.2012	4479	0,84	0,120	0,05	–	0,12	0,06
7	30.05.2012	4600	0,12	0,060	0,03	–	0,12	–
8	18.06.2012	4881	0,17	0,071	0,02	–	0,10	–
9	04.07.2012	5040	0,23	0,160	0,05	–	0,14	–
10	24.08.2012	5661	0,15	0,230	0,05	–	0,03	–
11	30.11.2012	6609	0,16	0,120	0,05	–	0,12	0,06
12	09.02.2013	7241	0,08	0,060	0,02	0,04	0,06	–

Из приведенных данных видно, что в пробах присутствуют примеси Fe, Cu, Ni, Cr, Ti и Zn в концентрациях от сотых долей до величины около 1 г/г, что говорит об удовлетворительном состоянии двигателя и относительно небольшом значении величин износа его узлов. На рис. 1 и 2 приведены диаграммы распределения относительных частот Fe и Cu в пробах, которые, конечно, критикуются с точки зрения количества статистического материала, но тем не менее даже здесь просматривается скорее логнормальный, а не нормальный закон распределения частиц. В целом можно заключить, что ни одна из величин концентраций металлов, зарегистрированных в пробах масла, не превышает допустимых пределов.

Вторая серия испытаний проведена на девяти пробах масла AeroSell Oil W 15W-50, отобранных с двигателей АШ-62ИР четырех самолетов АН-2. Авиационное масло AeroShell Oil

W 15W-50 – полусинтетическое масло. Предназначено для применения в четырехтактных поршневых двигателях возвратно-поступательного хода. Обладает хорошими низкотемпературными свойствами. Обеспечивает чистоту и надежную защиту мотора от изнашивания и коррозии, снижает расход топлива. Совокупность пакета антикоррозионных присадок масла предназначена для предотвращения образования коррозии на всех типах авиационных поршневых двигателей. Авиационный двигатель внутреннего сгорания АШ-62ИР – звездообразный однорядный девятицилиндровый бензиновый карбюраторный четырехтактный воздушного охлаждения с принудительным воспламенением топливоздушнoй смеси от электрической искры.

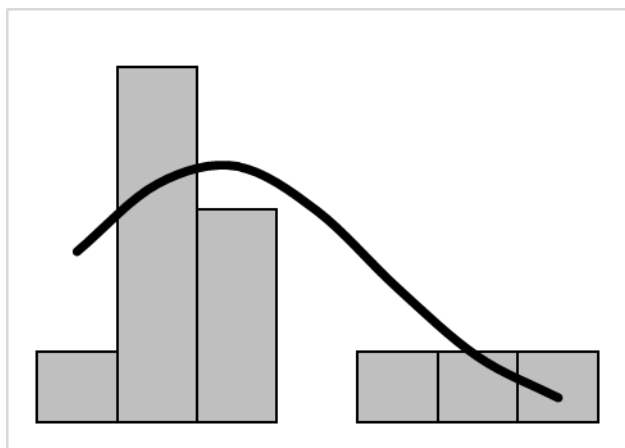


Рис. 1. Закон распределения частиц Fe в пробах масла

Fig. 1. Fe particles distribution law in oil samples

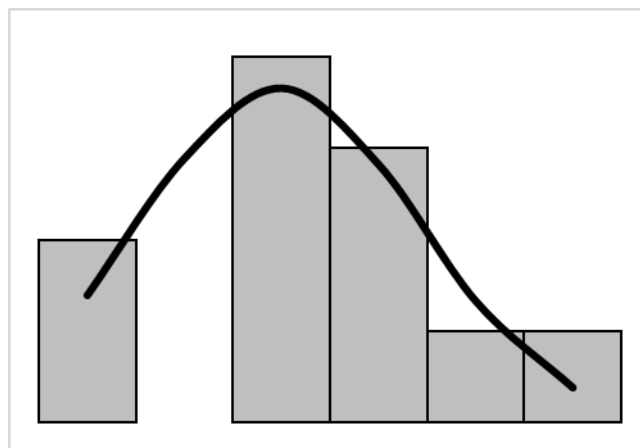


Рис. 2. Закон распределения частиц Cu в пробах масла

Fig. 2. Cu particles distribution law in oil samples

Результаты испытаний этих образцов приведены в табл. 2.

В данном случае анализировались как пробы свежего масла (пробы 1 и 6), так и с различных точек моторесурса (в основном после замены масла).

Таблица 2  
Table 2

Результаты испытаний образцов масла AeroSell Oil W 15W-50 отобранных двигателей АШ-62ИР 4 самолетов АН-2

Test results of oil AeroSell Oil W 15W-50 samples, selected from engines ASH-62-ER AN-2 aircraft

№ пробы	Дата отбора	Наработка СНЭ (ч)	Наработка двигателя на масле AeroSell Oil W 15W-50	№ самолета	Fe г/т	Cu г/т	Pb г/т	Zn г/т
1	30.01.2009	1649	0	1	–	–	–	–
2	04.03.2009	2648	50		0,03	–	1,3	–
3	25.03.2009	2748	100		–	–	0,27	0,04
4	12.04.2009	398	52	2	0,04	0,09	1,9	–
5	07.05.2009	476	130		0,08	0,05	1,3	–
6	17.03.2009	0	0	3	–	–	–	–
7	17.06.2009	143	143		0,03	0,04	0,9	0,04
8	13.04.2009	170	54	4	0,05	0,03	0,76	–
9	04.05.2009	479	116		0,04	0,04	0,75	–

Следует признать, что наличие содержания металлов в пробах масла при действующих процедурах отбора проб – не что иное, как шум. Среди этого шума крайне сложно заметить несущий важную диагностическую информацию какой-то единичный фактор. И это будет продолжаться до тех пор, пока не появятся научно обоснованные и практически подтвержденные информативные способы получения диагностической информации из систем самолета и двигателя с рабочими жидкостями.

Однако при применении существующих методов раннего диагностирования по содержанию металлов в маслах могут возникать достаточно интересные факты, на основании которых можно делать ценные для эксплуатации выводы. Особый интерес во втором эксперименте, что и является основой данной статьи, представляет наличие свинца в пробах. Значения его концентраций в пробах составляют 1–2 г/т уже через 50 часов работы двигателя на свежем масле. Кроме того, органолептически отмечено существенное изменение цвета и вязкости масла в присутствии этого элемента: оно чернеет и образует сгустки.

Полученные результаты скорее всего указывают на низкое качество используемого этилированного авиационного бензина, который попадает в масло из-за особенностей работы поршневых двигателей. Детали ЦПГ этого двигателя работают в условиях высоких неравномерных температурных напряжений и ударных нагрузок, при этом нижняя часть поршня работает в условиях жидкостного трения, а верхняя – граничного. Сам поршень при работе деформируется и в определенные моменты принимает форму овала, вытянутого вдоль оси поршневого пальца. Это обуславливает наличие гарантированного (и часто увеличенного) зазора между поршнем и цилиндром [7]. Таким образом, в условиях износа поршневых колец и поршней значительное количество используемого бензина может попадать в масло.

Полученные результаты следует рассматривать, исходя из сортов бензина, которые использовались при заправке ВС. Авиационные бензины должны соответствовать нормативным документам (в том числе Б-92 ТУ 38.401-58-47-92), предусматривающим применение этилированного бензина. Требуемый уровень детонационных свойств авиационных бензинов обеспечивается добавлением антидетонационной присадки – тетраэтилсвинца (от 1,0 до 3,1 г на 1 кг бензина) в виде этиловой жидкости. Жесткие условия эксплуатации авиационных бензинов обуславливают повышенные требования к их эксплуатации. В период с 1988 по 1992 год были проведены обширные научные исследования и испытания, позволившие разработать унифицированный бензин Б-92 без нормирования показателя «сортность на богатой смеси», вырабатываемый в соответствии с требованиями ТУ 38.401-58-47-92. Испытания подтвердили возможность применения бензина Б-92 на двигателях всех типов взамен бензина Б-91/115.

Однако, как известно, выпуск авиационных бензинов отечественного производства в последние годы свернут из-за прекращения производства этиловой жидкости на территории РФ, а возможно, и по другим (совершенно нетехническим) причинам. Это обстоятельство вынуждает эксплуатантов самолетов с поршневыми двигателями (ПД) либо закупать зарубежный авиационный бензин (LL-100) по грабительским ценам, либо использовать высокооктановые автомобильные бензины, что является грубым нарушением правил эксплуатации воздушного судна с ПД. Следует также отметить, что качество закупаемых за рубежом партий авиабензинов практически не контролируется, что также негативно сказывается на безопасности полетов.

В последнее время на заседаниях и конференциях различных профессиональных сообществ и государственных регулирующих органов все чаще ставится вопрос о необходимости восстановления производства отечественного авиационного бензина в срочном порядке, но сказать о том, что эта проблема решена на данный момент не представляется возможным.

Следовательно, результаты эксперимента указывают на применение некачественного авиационного бензина, что может снизить и реальный ресурс двигателей. К сожалению, далее не было возможности отследить поведение двигателей в процессе их работы из-за отсутствия

необходимого лабораторного материала. Но и эти достаточно фрагментарные сведения обосновывают актуальность применения методов оценки остаточного ресурса двигателей по содержанию металлов в маслах и необходимость продолжения системной работы в данном направлении.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Приведенные в данной работе материалы демонстрируют перспективность продолжения совершенствования рентгенфлуоресцентного анализа проб моторных авиамасел с использованием АДК «ПРИЗМА» на разных этапах наработки авиационных двигателей, в том числе поршневых, применяемых в малой авиации, с целью обеспечения их безопасной эксплуатации.

2. Особое внимание при проведении анализа масел для оценки и прогнозирования технического состояния авиационных двигателей следует обратить на процедуру отбора представительных (информативных) проб масла, позволяющих получать достоверные результаты измерений. При диагностировании поршневых двигателей обеспечить данное требование гораздо проще, чем в авиационных ГТД.

3. На основании проведенных исследований предложен метод оценки остаточного ресурса двигателя по результатам анализа отобранных проб масла независимо от наработки двигателя.

4. Анализ полученных результатов показывает целесообразность внедрения дополнительных процедур контроля состояния авиатехники в АТБ с целью обеспечения мер безопасности воздушных сообщений на ближнемагистральных перевозках пассажиров и грузов. Внедрение ее возможно после проведения достаточного объема научных исследований по данному направлению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабас Е. Замена масла: тест карманного маслоанализатора Lubricheck [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kolesa.ru/article/kak-uznat-chto-pora-menyat-maslo-test-karmanного-masloanalizatora> (дата обращения: 15.07.2018).

2. Хазиев А.А. Сравнение результатов лабораторного и экспресс-анализа работавшего моторного масла / Н.Н. Сугатов, А.В. Лаушкин, М.Ю. Петухов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2014. № 4. С. 90–99.

3. Халиуллин В.Ф., Мухутдинов Ф.И. MetalScan в действии // Пермские авиационные двигатели. 2014. № 29. С. 48–49.

4. Грядунов К.И. Метод обеспечения достоверности диагностирования авиационных двигателей по содержанию металлов в маслах: дис. ... канд. технич. наук: 05.22.14: защищена 27.04.2016: утв. М., 2016.

5. Немчиков М.Л. Исследование возможности оценки эффективности работы топливных фильтроэлементов при применении рентгенофлуоресцентного метода / А.Н. Козлов, К.И. Грядунов, А.М. Мелешников // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 1. С. 107–115.

6. Немчиков М.Л., Козлов А.Н., Грядунов К.И. Исследование возможности применения метода рентгенофлуоресцентного анализа для оценки состояния авиационных ГСМ в условиях эксплуатации ВС ГА // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: сб. тезисов докладов участников Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию Университета. Москва, 18–20 мая 2016 г. 2016. С. 51.

7. Углов Б.А. Авиационный двигатель Ан-62ИР: учебное пособие. Самара: СГАУ им. акад. С.П. Королева, 1992. 112 с.

8. Дасковский М.И. Обобщение опыта трибодиагностики авиационных газотурбинных двигателей и разработка мер по повышению ее эффективности: дис. ... канд. технич. наук: 05.22.14: защищена 28.05.12. М., 2012. 152 с.

9. Дроков В.Г., Матвеев Г.П., Русинов С.В. Диагностирование газотурбинных двигателей по содержанию металлических частиц износа в пробах масла // Газотурбинные технологии. 2005. № 5(40). С. 6–9.

10. Грядунув К.И., Тимошенко А.Н. Обоснование времени отбора проб масла при рентгенофлуоресцентном анализе // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 183. С. 41–44.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Грядунув Константин Игоревич**, кандидат технических наук, доцент кафедры АТО и РЛА МГТУ ГА, k.gryadunov@mstuca.aero.

**Козлов Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры АТО и РЛА МГТУ ГА, an.kozlov@mstuca.aero.

**Немчиков Михаил Львович**, доцент кафедры АТО и РЛА МГТУ ГА, m.nemchikov@mstuca.aero.

**Мельникова Ирина Сергеевна**, младший научный сотрудник Центра сертификации авиационных горюче-смазочных материалов ФГУП ГосНИИ ГА, melnikova\_is@bk.ru.

## AVIATION ENGINES DIAGNOSTICS BY ESTIMATING THE METAL CONTAMINATION IN OILS

Konstantin I. Gryadunov<sup>1</sup>, Alexander N. Kozlov<sup>1</sup>, Mikhail L. Nemchikov<sup>1</sup>,  
Irina S. Mel'nikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

<sup>2</sup>The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

### ABSTRACT

Current trends of civil aviation development show a significant increase in the number of aircraft with aircraft piston engines. The Ministry of Transport of the Russian Federation is preparing a draft order on amendments to the Federal aviation rules for the preparation and performance of flights in civil aviation (FAP-128), which stipulate for simplified procedures of paid excursion flights implementation for light and ultralight aircraft and helicopters. It is obvious that this circumstance will significantly affect the expansion of the fleet of these aircraft. Accordingly, the state of piston engines operating on aviation gasoline value questions are becoming increasingly relevant. The current problems of aviation engines diagnostics by metal contents in oils are observed in the article. Their bugs, possible ways of solving this problems and bugs, actual developments in this direction are shown. The application examples of early diagnostic methods using the automated diagnostic complex "Prisma" are shown. The oil samples taken from An-2 aircraft АШ-62ИР piston engine analyses results attract the most interest. They show that with proper training of personnel the valuable information coming from the oil samples can be a source of important conclusions not only in aircraft engines accessories and assemblies state value, but also others systems, and also conclusions about the quality of fuel and lubricants used. Estimating the residual life method of the engine at various stages of its operating time on the metal content in the oils and the procedure for oil selecting, allowing to obtain reliable results, are suggested.

**Key words:** diagnostics, aviation engines, piston engines, aviation fuel, aviation oil, ADC "Prisma", wear products.

### REFERENCES

1. Balabas, E. (2018). *Zamena masla: test karmannogo masloanalizatora Lubricheck* [Oil change: oil analyzer Lubricheck test] [Electronic resource]. URL: <https://news.microsoft.com/ru->



ru/rolls-royce-i-azure-se-konomyat-aviakompaniyam-milliony-dollarov/ (accessed: 15.07.2018). (in Russian)

2. **Haziev, A.A.** (2014). *Sravneniye rezultatov laboratornogo i ekspress analiza rabotavshogo motornogo masla* [Comparison of results of laboratory and rapid analysis of operated motor oil]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport constructions. Ecology], no. 4, pp. 90–99. (in Russian)

3. **Haliullin, V.F. and Muhkutdinov, F.I.** (2014). *MetalScan v deystvii* [MetalScan is in use]. *Permskiye aviatsionnye dvigateli* [Perm aircraft engines], no. 29, pp. 48–49. (in Russian)

4. **Grjadunov, K.I.** (2016). *Metod obespecheniya dostovernosti diagnostirovaniya aviatsionnykh dvigateley po sodержaniyu metallov v maslakh* [Method to ensure the reliability of diagnostics of aviation engines according to the content of metals in oils]: *dis....kand. tekhn. nauk: 05.22.14: zashchishchena 27.04.16* [Candidate of science thesis defended: 05.22.14: 27.04.16]. (in Russian)

5. **Nemchikov, M.L., Kozlov, A.N., Grjadunov, K.I. and Meleshnikov, A.M.** (2017). *Issledovaniye vozmozhnosti otsenki effektivnosti raboty toplivnykh filtroelementov pri primeneniі rentgenofluorestsentnogo metoda* [Study of the assessment of the efficiency of fuels of the filter elements using x-ray fluorescence method]. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 20, no. 1, pp. 107–115. (in Russian)

6. **Nemchikov, M.L., Kozlov, A.N. and Grjadunov, K.I.** (2016). *Issledovanie vozmozhnosti primeneniya metoda rentgenofluorestsentnogo analiza dlya otsenki sostoyaniya aviatsionnykh GSM v usloviyakh ekspluatatsii VS GA* [Investigation of the possibility of using the method of x-ray fluorescence analysis to assess the state of aviation fuels and lubricants in the operating conditions of civil aviation aircraft]. *Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: sbornik tezisev dokladov uchastnikov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 45-letiyu Universiteta, Moskva, 18–20 Maya, 2016 g.* [Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society: coll. of abstracts of the International Scientific and Technical Conference devoted to the 45<sup>th</sup> anniversary of Moscow State Technical University of Civil Aviation], p. 51. (in Russian)

7. **Uglov, B.A.** (1992). *Aviatsionnyy dvigatel ASH-62IR* [ASH-62IR Aviation engine]. *Uchebnoye posobiye* [Training manual]. Samara: SGAU im. akad. S.P. Koroleva, 112 p. (in Russian)

8. **Daskovskij, M.I.** (2012). *Obobshcheniye opyta tribodiagnostiki aviatsionnykh gazoturbinykh dvigateley i razrabotka mer po povysheniyu ee effektivnosti* [Generalization of experience of tribodiagnosics of aviation gas turbine engines and development of measures to improve its efficiency]: *dis ... kand. tekhn. nauk: 05.22.14: zashchishchena 28.05.12* [the Dissertation of a Candidate of Technical Sciences] : 05.22.14: defended 28.05.12], 152 p. (in Russian)

9. **Drokov, V.G., Matveenko, G.P., Rusinov, C.B.** (2005). *Diagnostirovaniye gazoturbinykh dvigateley po sodержaniyu metallicheskiх chastits iznosa v probakh masla* [Diagnostics of gas turbine engines according to the content of metal wear particles in oil samples]. *Gas Turbo Technology*, no. 5(40), pp. 6–9. (in Russian)

10. **Grjadunov, K.I. and Timoshenko, A.N.** (2012). *Obosnovaniye vremeni otbora prob masla pri rentgenofluorestsentnom analize* [Justification for the selection of oil samples at rentgenofluorescent-dimensional analysis]. *The Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, no. 183, pp. 41–44. (in Russian)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Konstantin I. Gryadunov**, Associate Professor of Aviation Fuel Supply and Aircraft Maintenance Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, k.gryadunov@mstuca.aero.

**Alexander N. Kozlov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Aviation Fuel Supply and Aircraft Maintenance Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, an.kozlov@mstuca.aero.

**Mikhail L. Nemchikov**, Associate Professor of Aviation Fuel Supply and Aircraft Maintenance Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, m.nemchikov@mstuca.aero.

**Irina S. Mel'nikova**, Junior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, melnikova\_is@bk.ru.

Поступила в редакцию 03.10.2018  
Принята в печать 21.05.2019

Received 03.10.2018  
Accepted for publication 21.05.2019