

УДК 519.246:539.3/4

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ РЕНТГЕНО-СПЕКТРАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ «СПЕКТРОСКАН», «ПРИЗМА», «Х-Арт М» и «БРА-18»

© 2011 Чирков Ю.А., Дасковский М.И.

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва

Поступила в редакцию 10.11.2011

Проведение межведомственных испытаний спектрометров «СПЕКТРОСКАН МАКС-G», «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», АДК «ПРИЗМА», «Х-Арт М» и «БРА-18».

Ключевые слова: спектральный анализ, рентгеноспектральный анализ, рентгенофлуоресцентные спектрометры

¹Межведомственным испытаниям подвергаются рентгенофлуоресцентные спектрометры «СПЕКТРОСКАН МАКС-G», «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», АДК «ПРИЗМА», «Х-Арт М», и «БРА-18» отечественной разработки.

Целями и задачами проведения межведомственных испытаний отечественных перспективных спектрометров являются:

- определение соответствия технических характеристик спектрометров параметрам, заявленным в нормативно-технической документации (НТД) на каждый конкретный спектрометр;

- определение метрологических характеристик спектрометров как средства измерения;

- оценка возможности использования спектрометров для ранней трибодиагностики узлов и деталей двигателей, омываемых маслом, и применения ГСМ в АТ по состоянию;

- оценка возможности и разработка методических рекомендаций по адаптации существующих норм предельного содержания металлов применительно к рентгеноспектральным анализаторам «СПЕКТРОСКАН МАКС-G», «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», «БРА-18», АДК «ПРИЗМА», «Х-Арт М» и атомно-эмиссионного спектрометра «SPECTROIL»;

- отработка рекомендаций по проведению необходимых доработок и дополнительных испытаний новых анализаторов, а также адаптации их программно-методического обеспечения и приборного оборудования к задачам диагностики авиационной техники и применения в ней смазочных материалов по состоянию.

Работа проводилась в соответствии с межведомственным «Решением о проведении сравнительных межведомственных испытаний рентгеноспектральных анализаторов (декабрь 2009 г.).

Спектральный и рентгеноспектральный методы и приборы

Спектральный и рентгеноспектральный методы анализа ГСМ широко используются для диагности-

ки состояния техники по продуктам изнашивания в ГСМ, а также для определения состава и природы ГСМ и загрязнений в них.

На основании данных, полученных с использованием этих методов, по наличию и концентрации различных химических элементов в ГСМ, специальных жидкостях, присадках, осадках и отложениях на деталях авиационной техники принимается решение о дальнейшей эксплуатации техники, а также проводится определение их принадлежности к конкретной марке нефтепродукта или другого вещества и идентификация загрязнений, входящих в состав ГСМ. Указанные методы и устройства для их реализации приведены в работах [1,4].

Рентгеноспектральные анализаторы

В проведении межведомственных испытаний принимали участие рентгеноспектральные анализаторы «СПЕКТРОСКАН МАКС-G», «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», «БРА-18», АДК «ПРИЗМА» и «Х-Арт М».

Известно, что впервые для диагностики АТ по продуктам изнашивания в маслах и для анализов ГСМ, осадков и отложений в них в начале 80-х годов прошлого века был использован рентгеноспектральный анализатор «БАРС-3» [1, - 4].



Рис.1. Перспективные отечественные рентгеноспектральные анализаторы.

Чирков Юрий Александрович, ведущий инженер.
Дасковский Михаил Исаевич, и.о. начальника сектора трибодиагностики, E-mail: daskovskiy@mail.ru

Проведение испытаний

Подготовка к испытаниям и испытания спектрометров «СПЕКТРОСКАН», «ПРИЗМА», «Х-Арт М», «БРА-18» проводились на лабораторной базе ФГУ «13 ГНИИ МО РФ» и ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», с участием специалистов ведущих институтов МО и ГА РФ, Кб разработчиков авиадвигателей и предприятий разработчиков анализаторов, в период с сентября по ноябрь 2010 г.

В соответствии с Решением, программой и методикой проведения испытаний спектрометров работа проводилась в 3-и основных этапа:

1. Определение соответствия технических характеристик спектрометров параметрам, заявленным в нормативно-технической документации (НТД) на каждый конкретный спектрометр. Определение метрологических характеристик (только на СОП) спектрометров как средства измерения.

2. Проведение на участвующих в испытаниях спектрометрах (откалиброванных на СОП) анализов работавших авиационных масел ИПМ-10, Б-3В и МС-8П, отобранных из стендов предприятий промышленности и из авиационной техники, находящейся в эксплуатации.

3. Отработка рекомендаций по проведению необходимых доработок и дополнительных испытаний новых анализаторов, а также адаптации их программно-методического обеспечения и приборного оборудования к задачам трибодиагностики АТ и применения в ней ГСМ по состоянию. Разработка методических рекомендаций по адаптации существующих норм предельного содержания металлов применительно к рентгеноспектральным анализаторам «СПЕКТРОСКАН», «БРА-18», «ПРИЗМА» и «Х-Арт М».

Для проведения испытаний была выделена специальная комната, в которой компактно разместились все участники испытаний спектрометров (рис. 2). На начальном этапе работы проводилась калибровка спектрометров «СПЕКТРОСКАН МАКС-G», «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», «ПРИЗМА», «Х-Арт М» и «БРА-18» на указанных ранее СОП. Затем участниками испытаний, в каждом СОП (однокомпонентном и четырехкомпонентном, изготовленном на основе масла ИПМ-10), из используемых для получения калибровочных зависимостей,

определялось содержание (концентрация) химических элементов. В процессе испытаний определялись метрологические характеристики спектрометров: предел обнаружения химических элементов, диапазон измерений, правильность (точность) и повторяемость (сходимость) результатов измерений (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725 – 2002).



Рис. 2. Размещение оборудования при испытаниях спектрометров.

Для спектральных установок «МФС-8» и «SPECTROIL» использовались жидкие СОП на основе оксидов металлов и жидкие стандартные образцы растворов металлов Conostan.

В процессе испытаний его участниками проводилось не менее чем по 11 измерений каждого СОП.

При проведении испытаний использовались стандартные образцы ранга «стандартный образец предприятия» (СОП), чтобы одновременно оценить возможность адаптации нормируемых значений предельного содержания металлов в масле к испытуемым анализаторам.

При изготовлении СОП использованы фильтро-элементы марки МФАС; диаметр отпечатка (12 ± 1) мм. При этом, объём прокачиваемого масла составил ($15 \pm 0,1$) мл на каждый экземпляр СОП. Подвергнутые испытаниям спектрометры имеют технические особенности, которые приведены в табл. 1. Пределы обнаружения химических элементов представлены в табл. 2.

Однако, пределы обнаружения, это не одно и то же что и достоверные пределы определения, которые значительно выше значений пределов обнаружения указанных в табл. 2.

Таблица 1. Сводная таблица технических особенностей спектрометров

Наименование спектрометра	Возможности анализа					Наличие в эксплуатирующихся организациях
	Время экспозиции, с	Легких элементов			Жидких проб (без дополнительной пробоподготовки)	
		Ag	Al, Mg	Si		
«БРА-18»	200	+	+	+	+	+
«Спектроскан МАКС-GV»	40	-	+	+	-	+
«Спектроскан МАКС-G»	40	-	-	-	-	+
АДК «ПРИЗМА»	90	-	-	-	-	+
«Х-Арт-М»	200	+	+	+	+	-

Таблица 2. Пределы обнаружения химических элементов

Спектрометры	Пределы обнаружения химических элементов $C_{пр}$, г/т					
	Fe	Cu	Si	Mg	Al	Ti
1. СОП на фильтрах «Владипор»						
«СПЕКТРОСКАН МАКС-GV»	0,002	0,004	0,001	0,007	0,003	-
«СПЕКТРОСКАН МАКС-G»	0,002	0,004	-	-	-	-
АДК «ПРИЗМА»	0,013	0,012	-	-	-	-
«Х-Арт М»	0,012	0,025	0,032	-	0,037	0,01
«БРА-18»	0,007	0,006	0,02	0,07	0,020	-
2. Жидкие образцы СОП						
«БРА-18»	0,32	0,15	1,09	-	0,60	-

Полученные по результатам испытаний значения метрологических характеристик спектрометров «СПЕКТРОСКАН МАКС-G», «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», АДК «ПРИЗМА» и «БРА-18» при анализе масел на фильтрах обеспечивают достаточную достоверность результатов измерений.

Испытания анализаторов на реальных рабочих пробах масел

Целями данного этапа работы являются:

- сравнительная оценка результатов исследования на различных спектрометрах концентрации химических элементов в одних и тех же пробах масел, отобранных из стендов предприятий промышленности и из маслосистем авиационной техники. При этом оцениваются диагностические возможности спектрометров по номенклатуре анализируемых химических элементов в работавших маслах, экспрессности анализа, простоты и удобства проведения анализов и т.п.

- оценка возможности установления для испытываемых спектрометров коэффициентов пересчета норм допустимого содержания (ПК – повышенная концентрация) и (ПДК – предельно – допустимая концентрация) металлов в масле для каждого анализируемого химического элемента, или определение возможности использования действующих в эксплуатации норм, установленных для анализаторов «БАРС-3» и «МФС», в части их применения для анализаторов «СПЕКТРОСКАН», «БРА-18», «ПРИЗМА», «Х-Арт М» и спектрометра «SPECTROIL».

Существующие нормы ПК и ПДК устанавливались для различных изделий АТ в процессе их стендовых, летных и эксплуатационных испытаний, по отработанным методикам (по испытаниям до 3-х изделий АТ каждого типа, по отношению к уровню нормального изнашивания изделий АТ, с учетом 2-3 σ - для ПК и 3-4 σ - для ПДК, с оценкой устанавливаемых норм ПК и ПДК на наличие ошибок 1-го рода и 2-го рода, т.е. на ошибки «ложной тревоги» и «пропуска цели»). Практика показала, что для различных типов спектрометров нормы должны быть разные из-за их конструктивных особенностей, методик подготовки проб и др.

Действующие в настоящее время нормы ПК и ПДК были установлены только для спектрометров «БАРС-3» и «МФС». В данном случае рабочие пробы масла и стандартные образцы (СОП) изготавливались на мембранных фильтрах «Владипор» и в жидком виде по действующей методике их изготовления разработанной в конце 70-х годов - автор С.И. Калашников. Поэтому в данной работе использовались только СОП (а не стандартные образцы ГСО), чтобы более точно и достоверно получить возможные коэффициенты пересчета норм ПК и ПДК для испытываемых приборов.

На этом этапе работы, кроме испытываемых спектрометров, рабочие пробы масла также анализировались на анализаторах «БАРС-3», «МФС» и «SPECTROIL».

В качестве объектов исследования на испытания были представлены следующие рабочие пробы авиационных масел марок Б-3В, ИПМ-10 и МС-8П.

В процессе анализа проводилось не менее чем по 3 измерения каждой пробы указанных масел.

Результаты анализов указанных рабочих проб масел выполненных на анализаторах «СПЕКТРОСКАН МАКС-G», «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», «БРА-18», АДК «ПРИЗМА», «Х-Арт М», «МФС-7», «SPECTROIL» показывают, что содержание основных химических элементов в рабочих пробах масел МС-8П, ИПМ-10 и Б-3В низкое, что и свидетельствует о протекании процессов нормального изнашивания в диагностируемых узлах трения изделий АТ.

Результаты исследования рабочих проб масел ИПМ-10, МС-8П и Б-3В отобранных в процессе испытаний изделий АТ и их эксплуатации показывают, что:

- прямое распространение установление действующих норм ПК и ПДК для анализатора «БАРС-3» на перспективные анализаторы «СПЕКТРОСКАН», «ПРИЗМА», «БРА-18» и «Х-Арт М» и спектрометра «МФС» - на спектрометр «SPECTROIL» может привести к увеличению ошибок 1-го и 2-го рода при оценке технического состояния узлов трения АТ в эксплуатации при анализе рабочих проб масел;

- определена возможность адаптации существующих норм ПК и ПДК по основным хи-

мическим элементам, установленных для анализатора «БАРС-3», на спектрометры «СПЕКТРОСКАН», «ПРИЗМА», «БРА-18» и «Х-Арт М» и существующих норм ПК и ПДК, установленных для спектрометра «МФС», - на спектрометр «SPECTROIL», путем расчета коэффициентов их пересчета для каждого определяемого химического элемента. Пересмотр существующих норм ПК и ПДК, установленных бюллетенями на изделия АТ (для анализатора «БАРС-3» и спектрометра «МФС»), необязателен, если во встроенное программное обеспечение каждого перспективного прибора будут введены соответствующие поправочные коэффициенты и реализована возможность автоматического пересчета значений определяемых концентраций;

- установлено, что при увеличении содержания продуктов износа в рабочих пробах масла разница в показаниях приборов, т.е. разница между значениями определяемых ими концентраций металлов, также увеличивается. Данное обстоятельство подтверждает необходимость дифференцированного подхода при установке норм ПК и ПДК для перспективных спектрометров, кроме того, сами нормируемые значения норм ПК и ПДК представляют собой довольно большие значения концентраций по отношению к уровню концентраций продуктов износа в масле при нормальном изнашивании узлов трения.

Анализ содержания металлов в рабочих пробах масла ИПМ-10, МС-8П и Б-3В на спектрометре «ПРИЗМА» при его градуировке на стандартных образцах СОП и ГСО показал хорошую сходимость в показаниях прибора и возможность (если в этом есть необходимость) установки коэффициентов пересчета норм ПК и ПДК по отдельным химическим элементам при использовании того или иного комплекта образцов.

Содержание основных химических элементов в рабочих пробах масел МС-8П, ИПМ-10 и Б-3В и изменение их концентраций в процессе наработки изделий представлены в графическом виде на рисунках 3, 4, приведенных ниже, на примере масла марки ИПМ-10.

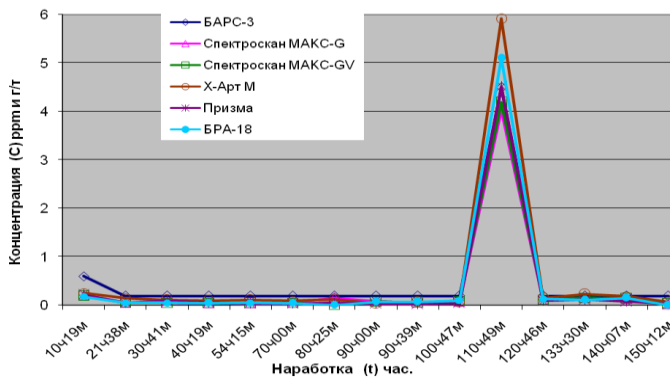


Рис.3. Изменение концентрации железа(Fe) в рабочих пробах масла ИПМ-10 по наработке изделия на спектрометрах БАРС-3, Спектроскан, Призма, Бра-18, и Х-Арт М (на мембранах

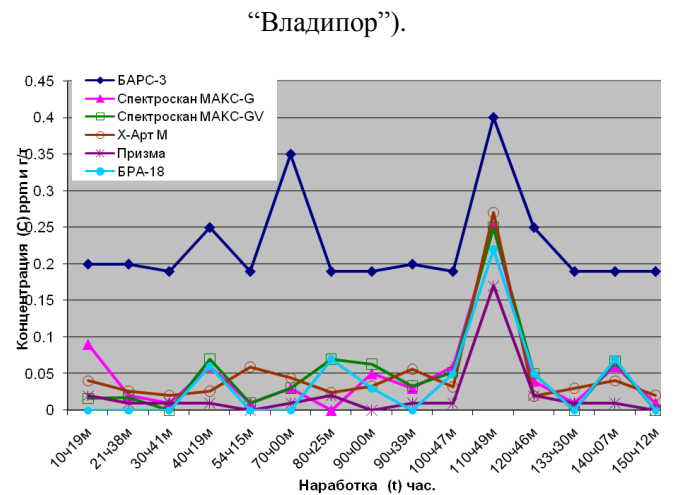


Рис.4. Изменение концентрации железа(Cu) в рабочих пробах масла ИПМ-10 по наработке изделия на спектрометрах БАРС-3, Спектроскан, Призма, Бра-18, и Х-Арт М (на мембранах "Владипор").

Различие в показаниях рентгеноспектральных анализаторов при повышенных концентрациях содержания химических элементов в рабочих пробах масла

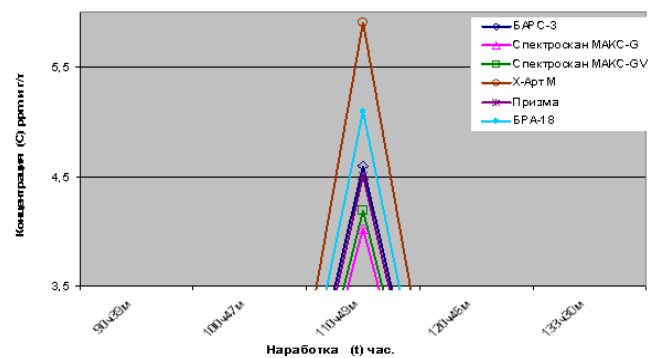


Рис. 5. Фрагмент графика по железу (Fe) – верхняя часть графика рис.3.

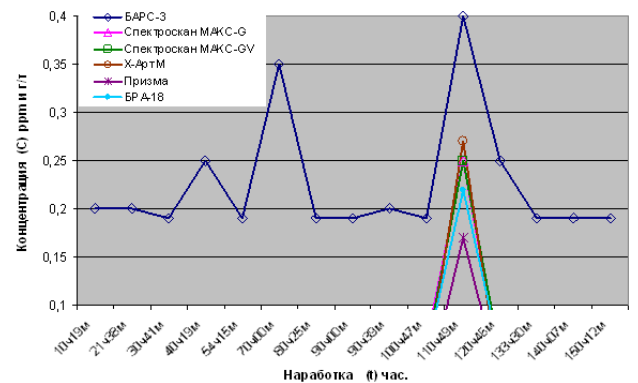


Рис.6. Фрагмент графика по железу (Cu) – верхняя часть графика рис.4.

Результаты испытаний перспективных спектрометров показывают, что они имеют более высокую чувствительность и более низкие пороги обнаружения определения содержания основных химических

элементов в исследуемых пробах масла по сравнению с анализатором «БАРС-3» и спектрометром «МФС-8» и могут использоваться при ранней трибодиагностике узлов трения изделий АТ в подразделениях МО, ГА и в промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации «Применение анализатора БАРС-3 для технической диагностики авиационной техники», Военно-воздушные силы, выпуск № 5345, 1985.
2. Крутилин А.Г. В эксплуатации авиатехники необходима трибодиагностика. Журнал «Авиапанорама» № 2, 2007.
3. Степанов В.А. Диагностика технического состояния узлов трансмиссий газотурбинных двигателей по параметрам продуктов износа в масле. – Рыбинск. «НПО САТУРН» - 2002г., 232 с.
4. Голубушкин В.Н., Атрашков В.К., Батурлов В.Б., Чирков Ю.А. и др. Технический отчет о проведении предварительных (оценочных) испытаний перспективных рентгено-флуоресцентных анализаторов. – М.: ЦИАМ, войсковая часть 75360, 1998.

RESULTS OF INTER-DEPARTMENTAL TESTS OF X-RAY ANALYZERS «SPECTROSCAN», «PRISMA», «X-ART M» AND «BRA-18».

© 2011 Y.A. Chirkov, M.I. Daskovsky

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» FSUD “CIAM”, Moscow

Conduct of inter-departmental tests of x-ray analyzers «SPECTROSCAN», «PRISMA», «X-Art M» and «BRA-18».
Key words: Spectral analysis, x-ray analysis

Chirkov Yury Aleksandrovich, the leading engineer.

Daskovsky Michael Isaevich fulfilling duties of the chief of sector tribodiagnostic. E-mail: daskovskiy@mail.ru