

УДК 621.89+665.6

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ОТБОРА ПРОБ МАСЛА НА ДИАГНОСТИРОВАНИЕ УЗЛА ТРЕНИЯ

Е.А. КОНЯЕВ, К.И. ГРЯДУНОВ, Ш. АРДЕШИРИ, П. ДЖАФАРИ

Представлены результаты экспериментов, показывающие зависимости роста содержания металлов в масле МС-20 от действующей на металлические шарики нагрузки, а также влияние метода отбора проб на результаты диагностирования узла трения.

Ключевые слова: автоматизированный диагностический комплекс (АДК) «Призма», четырехшариковая машина трения ЧМТ-1, диагностирование, изнашивание, отбор проб, содержание металлов в пробах, вибрация узла трения, виброскорость, масло МС-20.

На данный момент времени актуальными являются исследования по разработке методов и средств раннего диагностирования двигателей и систем самолётов. Вновь создаются и совершенствуются приборы для анализа рабочих жидкостей, разрабатываются методики. Разработчики доказывают высокую эффективность своих методов.

Однако при всех достоинствах тех или иных методов реальная эксплуатация показывает, что данные приборы для раннего диагностирования не дают ожидаемых результатов [1]. И магнитные пробки зачастую являются более эффективным средством для обнаружения отказов на ранних стадиях разрушения, нежели современные очень дорогостоящие приборы. Т.е. применение последних для обнаружения ранних стадий разрушения узлов и агрегатов не представляется настолько однозначным, насколько это должно быть теоретически.

Для того чтобы указать на возможные причины данного явления, было решено провести эксперименты с применением ряда приборов лаборатории «Химмотология» МГТУ ГА.

1. Определение возможности распознавания состояния узла трения по анализу отбираемого работавшего масла

Содержание первого эксперимента:

- выполняли ряд десятисекундных испытаний на ЧМТ-1 в соответствии с ГОСТ 9490-75 и руководством по эксплуатации ЧМТ-1 [2];
- после каждого испытания сливали масло из зажима для шариков ЧМТ-1 и проводили анализ масла на содержание металлов на АДК «Призма»;
- проводили измерение потерь массы шариков после нагружения;
- при нагружениях измеряли вибрации узла трения.

В данном эксперименте поставлена задача исследовать наиболее полную информацию по частицам изнашивания узла трения, поэтому каждый раз с корпуса для зажима шариков ЧМТ-1 смывались керосином практически все металлические частицы, которые далее максимально переносились на фильтр для анализа на АДК «Призма». После каждого эксперимента зажим также промывался керосином, т.е. минимизировалась возможность увеличения содержания от добавления остатков металлов предыдущих испытаний, шарики для испытаний менялись после каждого нагружения.

Содержание металлов оценивалось на автоматизированном диагностическом комплексе «Призма» (установка поверена в 2010 г.). Изнашивание шариков проводили на четырехшариковой машине трения (ЧМТ-1). Шарики для испытаний изготовлены по ГОСТ 3722-81 (12,7-10) из подшипниковой стали ШХ-15 (ГОСТ 801-78) [3; 4].

Диаметр пятен износа оценивался с помощью микроскопа DMW-143-N2GG и программного обеспечения для ПК Motic Images 2000. Масса шариков измерялась на весах KERN ABJ220-4M ($e=1$ мг). В табл. 1 записано среднее значение из трех измеренных (на каждом шарике) при одном испытании.

Виброскорость измерялась прибором «Корсар». На протяжении 10-секундных нагружений виброскорость фиксировалась три раза – на 2, 5, 9 с, значительных различий при этом не зафиксировано. В таблицу записано среднее значение из трех измеренных. Все оборудование находится в лаборатории «Химмотология» кафедры авиатопливообеспечения и ремонта ЛА МГТУ ГА.

Результаты одного из повторений испытаний показаны в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний масла МС-20 на АДК «Призма» и ЧМТ-1

Металл, содержание (г/г)			Нагрузка, кгс	Радиус пятна износа, мм	Потеря масс шариков, г	Виброскорость, мм/с
Fe	Zn	Cr				
0,19	0,08	0	0	0	0	0
2,06	0	0,05	10	0,126	0,0004	1,65
0,37	0,1	0	20	0,126	0,0004	1,20
1,06	0,02	0,05	30	0,137	0,0004	1,25
2,40	0,03	0,07	36	0,164	0,0004	1,80
6,15	0,05	0,14	38	0,473	0,00047	60,5
7,77	0,1	0,2	40	0,643	0,00083	12,05
19,1	0,14	0,63	54	0,885	0,00143	8,20
31,29	0,17	0,78	60	0,929	0,0201	

Нагрузка, вызывающая повышенный износ, характеризуется резким увеличением радиуса пятна износа [2]. Из табл. 1 видно, что такой нагрузкой в эксперименте является 38 кгс (диаметр пятна износа – 0,946 мм). Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к ускоренному изнашиванию с последующим свариванием шариков.

При анализах масла на АДК «Призма» были получены ожидаемые результаты увеличения содержания металлических частиц в пробах (табл. 1; рис. 1, 2).

При этом при явном наличии изнашивания по наличию содержания металлов в масле, соответствующего начальным нагрузкам (10 и 20 кгс), пятна износа на шариках в ряде случаев обнаружены не были. Это обуславливается их настолько малым размером, что пятна износа не заметны на фоне большого количества шероховатостей нового шарика при том, что они имеют характерный вид.

Устойчивый рост содержания металлов в масле наблюдается, начиная с нагрузки в 30 кгс. С этого момента и далее по содержанию металлов в пробах отслеживаются тренды, характеризующие изнашивание. При небольших нагрузках анализы проб на АДК «Призма» показывают случайные флуктуации содержания металлов, характеризующие нормальное изнашивание или приработку.

Таким образом на установке АДК «Призма» при её высоких приборной чувствительности и точности [5] по результатам анализов проб рабочих жидкостей качественно оценить состояние узлов возможно только при нагрузках, близких к критическим, т.е. при повышенном изнашивании деталей. Устойчивые тренды проявляются со значений в 75% от критической нагрузки. Данный момент требует внимательного подхода к разработке диагностических методик и их уточнения в процессе эксплуатации.

Зависимости на рис. 1-4 имеют сходный характер. На всех кривых можно выделить критическую нагрузку в 38 кг. Значит, для различных условий эксплуатации и наличия лабораторного оборудования можно проводить оценку состояния по различным параметрам.

В данных испытаниях можно качественно характеризовать нагружение по двум параметрам: по радиусу пятна износа и содержанию металлов в рабочем масле. Однако параметр «потеря массы шарика» не даёт возможности оценить нагрузку и степень разрушения из-за слишком большого разброса значений масс новых шариков (средняя масса новых шариков (50 шт) = 8,357 г, среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,0068$ г).

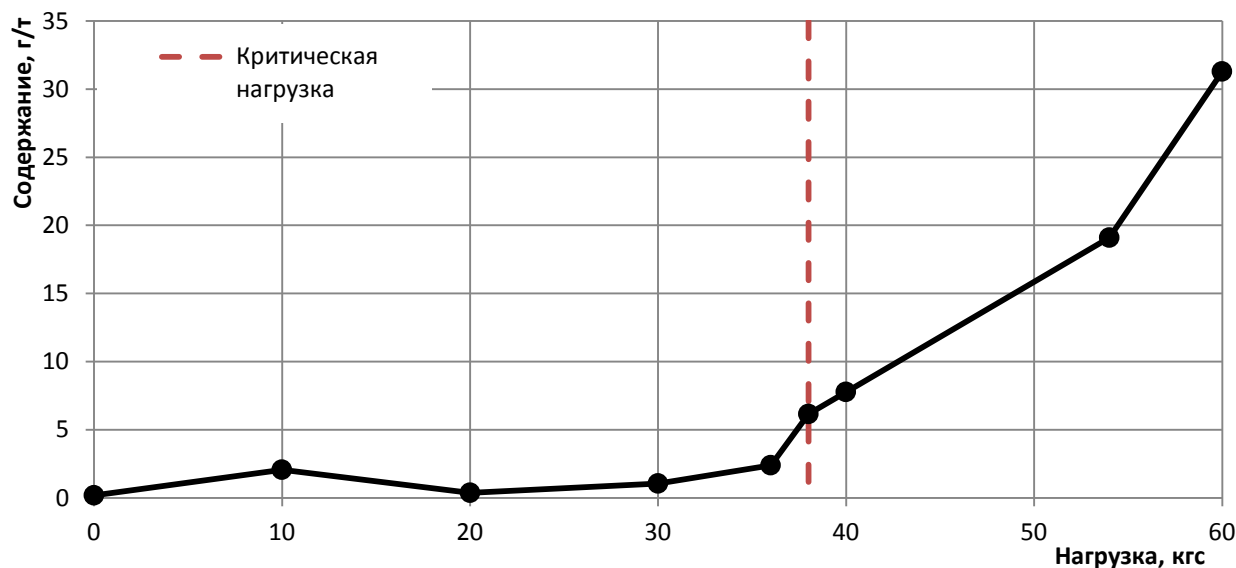


Рис. 1. Содержание железа в пробах в зависимости от прикладываемой нагрузки

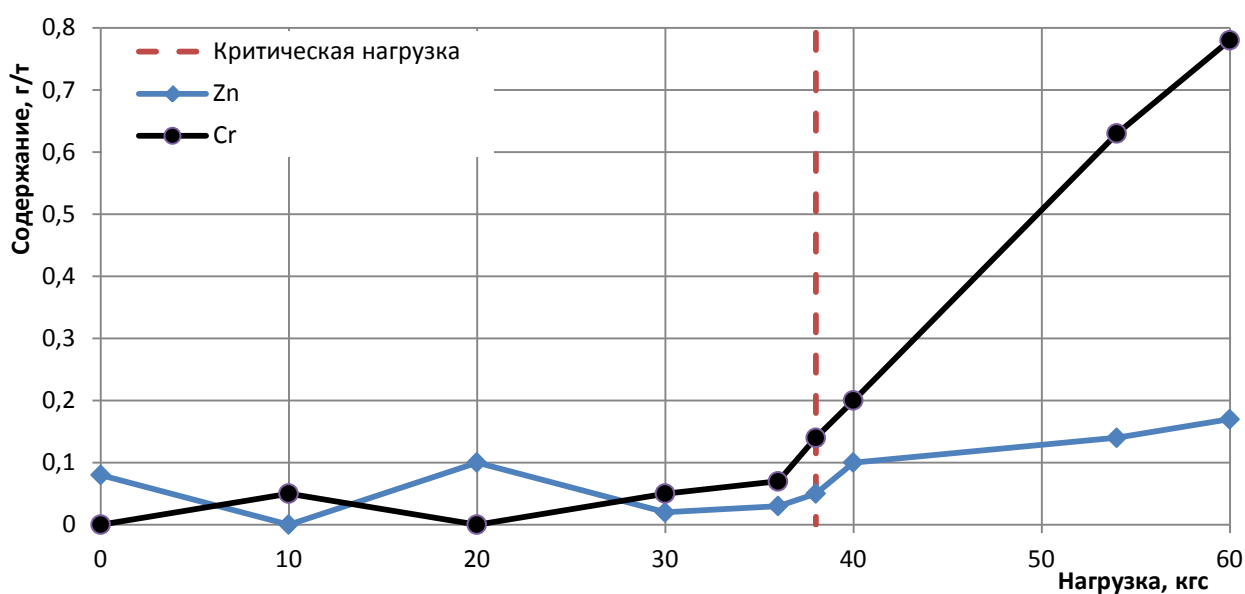


Рис. 2. Содержания металлов в пробах в зависимости от прикладываемой нагрузки

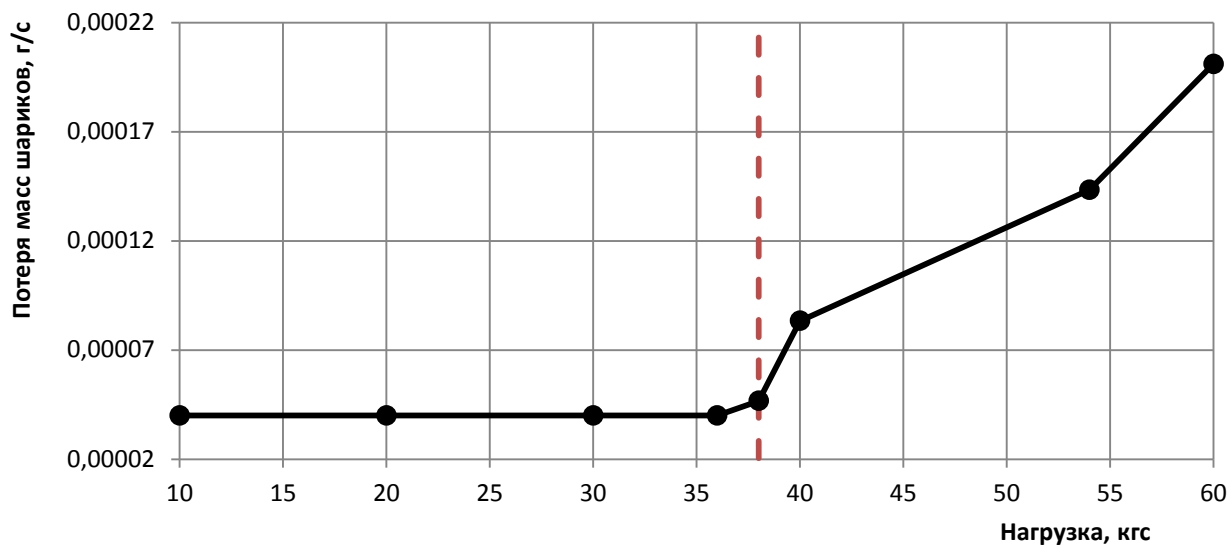


Рис. 3. Потеря массы шариков в зависимости от нагрузки

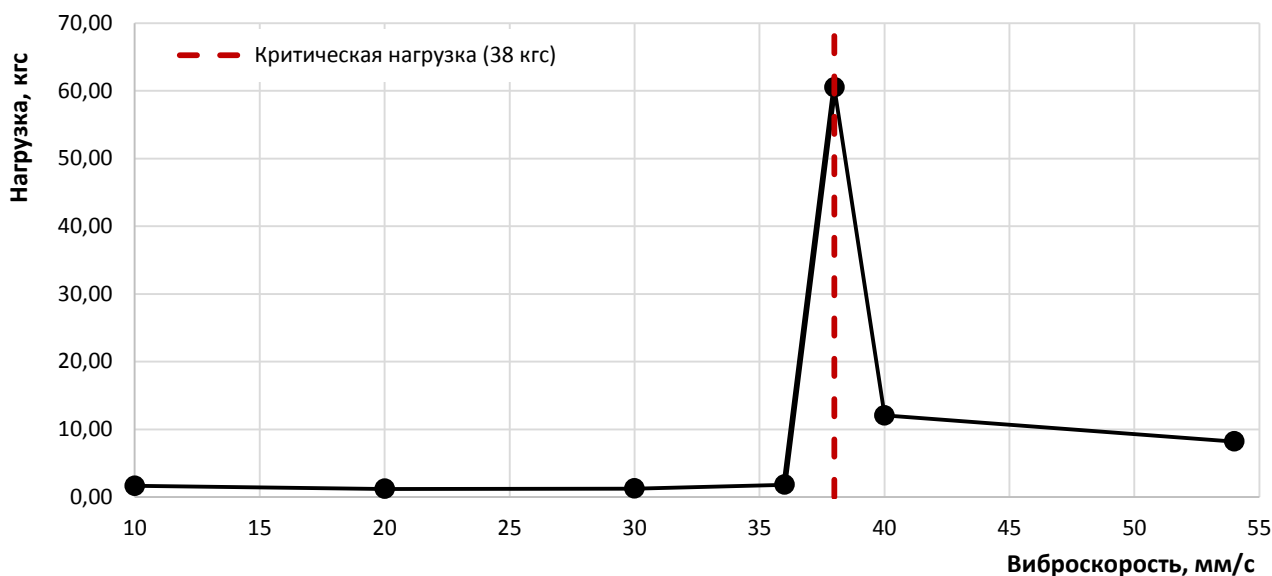


Рис. 4. Виброскорость узла трения в зависимости от нагрузки

Измерение виброскорости также не дает возможности раннего диагностирования данного узла трения. Изменение вибраций, позволяющих характеризовать состояние узла трения, происходит, начиная с критической нагрузки в 38 кг.

Хорошие результаты демонстрирует АДК «Призма». По результатам анализов масел на АДК «Призма» имеется возможность оценивать не только общее состояние объекта диагностирования, но и максимально конкретизировать разрушающиеся детали.

Полученные результаты отображают процессы изнашивания при испытаниях на ЧМТ-1, они доказывают прямую связь анализов проб масел на АДК «Призма» с реально происходящими процессами разрушения стальных шариков при лабораторных условиях отбора проб без потери ценной информации и присутствия ложной информации от наличия в масле следов долговременной эксплуатации.

Лабораторные исследования показывают готовность современных диагностических комплексов к применению в раннем диагностировании при соответствующих конструктивных решениях в системах самолётов и двигателей, а также наземном оборудовании.

Однако в реальных условиях эксплуатации различные приборы раннего диагностирования по содержанию металлов в маслах не проявляют себя настолько однозначно. Это связано прежде всего с большими потерями диагностической информации при отборе проб. В проведенном эксперименте каждый раз с кюветы ЧМТ-1 смывалась практически вся металлическая стружка, которая далее максимально переносилась на фильтр для анализа на АДК «Призма». После каждого эксперимента кювета промывалась керосином, т.е. минимизировалась возможность увеличения содержания от добавления остатков металлов от предыдущих испытаний.

Эксплуатация не даёт возможности такому скрупулёзному подходу. И более того, конструктивно системы самолёта и двигателя не приспособлены для диагностирования по состоянию рабочих жидкостей.

Поэтому актуально провести одинаковые эксперименты, моделирующие различные методы отбора проб.

Наиболее распространенные методы отбора проб: слив небольшого количества масла снизу (из нижней точки) и отбор пробы масла сверху.

2. Проведение эксперимента с верхним отбором проб

Содержание эксперимента соответствует предыдущему, но после 10-секундных нагружений принято решение не разбирать зажим для шариков ЧМТ-1, а сливать масло путём его переворачивания. При этом в ходе эксперимента для большего разрушения шариков они ни разу не меняются. После каждого испытания масло полностью сливается, заливается свежее, шарики и зажим не промываются, т.е. происходит постоянное накапливание частиц изнашивания. Масло анализируется на АДК «Призма».

Слив масла осуществлялся в течение 5-7 с после останова двигателя ЧМТ. При сливе зажим находится в перевернутом состоянии 4-5 с. Шарики и масло идентичны предыдущему эксперименту.

После последнего испытания полностью разбирался и промывался зажим, и производилась оценка реального содержания металлов.

Результаты показаны в табл. 2 и на рис. 5-6.

Результаты эксперимента в табл. 2 показывают, что если не вымывать частицы износа из зажима полностью, то анализ слива масла на АДК «Призма» не несет в себе полной и однозначной информации о состоянии узла трения. В табл. 2 и на рис. 5-6 невозможно выделить границы, полученные в предыдущем эксперименте. На рис. 5-6 показаны значения критической нагрузки (получены в предыдущем эксперименте).

Эти результаты объясняются тем, что большинство частиц оседает на дно зажима практически мгновенно и не попадает в пробу при сливе масла самотёком. Находящиеся в масле мелкие частицы и частицы, которые не успели осесть или задержались на шариках в самом верху, не несут полной и достоверной информации о состоянии узла трения.

Таблица 2

Результаты эксперимента при верхнем отборе проб

Металл, содержание (г/т)			Нагрузка, кгс	Примечание
Fe	Zn	Cr		
1,28	0,04		10	Масло без смыва частиц с зажима
2,42	0,03		20	
0,86	0,03	0,05	30	
1,29			40	
0,42	0,03		50	
5,39	0,03	0,19	60	
26,47		0,72	70	
75,98	0,4	2,12	Смыты все частицы	

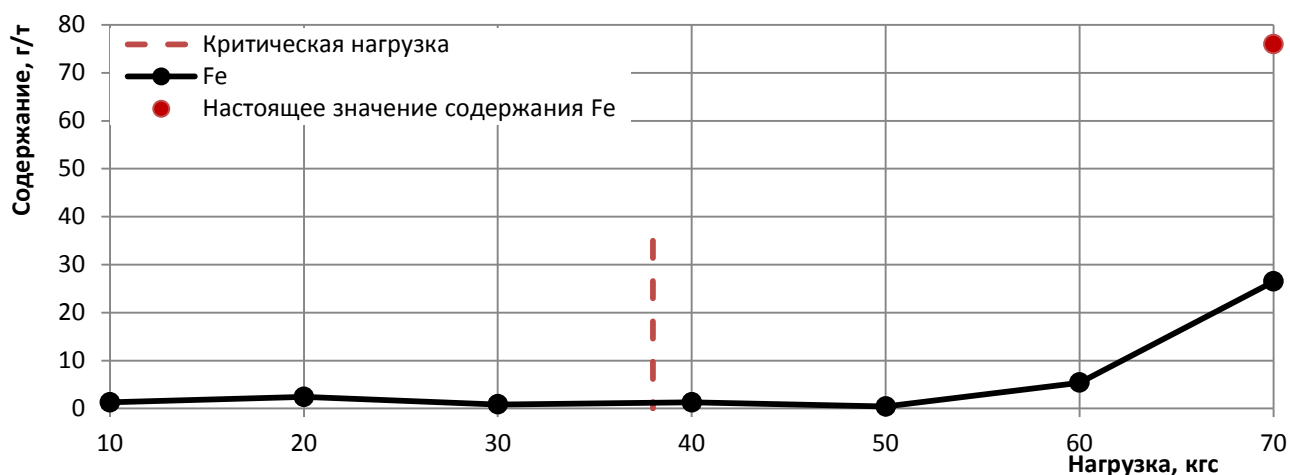


Рис. 5. Зависимость содержания железа в пробах от действующей нагрузки при отборе масла путем переворачивания зажима

Рост содержания металлов в табл. 2 происходит с нагрузок, близких к свариванию. В реальных условиях это уже разрушенный узел трения. Пользоваться по данной методике прибором с целью раннего диагностирования представляется невозможным.

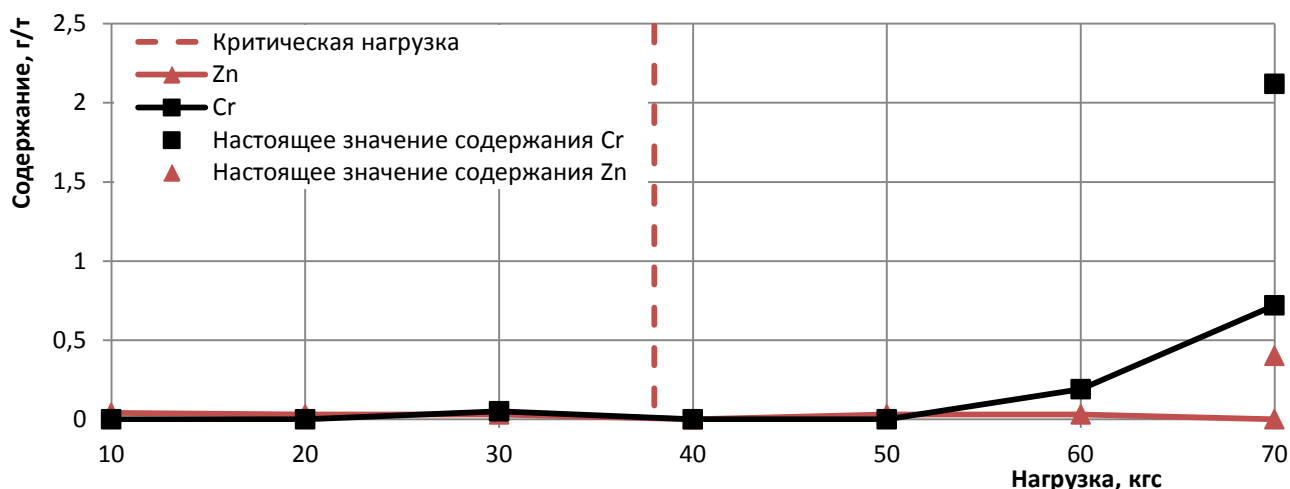


Рис. 6. Зависимость содержания металлов в пробах от действующей нагрузки при отборе масла путем переворачивания зажима

Рост содержания металлов при больших нагрузках (табл. 2, рис. 5, 6) обуславливается тем, что происходит настолько большой выброс частиц металлов, что многие из них остаются на шариках в верхней зоне и попадают в пробу после переворачивания зажима.

Показательны последние две строки табл. 2. Видно существенное отличие в анализах масла при нагрузке в 70 кгс и анализе масла после того, как частицы изнашивания были максимально смыты и помещены в пробу. На рис. 5, 6 точками показаны истинные значения содержания металлов в конце эксперимента, когда все частицы тщательно смывались с кюветы. Видно, что они отличаются от полученных путем недостоверного отбора проб значений в 3-15 раз.

Стоит отметить, что данные результаты получены даже тогда, когда происходит полный слив масла из узла. В эксплуатации отбор проб осуществляется в количестве $\approx 05-1\%$ от общего количества масла в маслосистеме. Результаты значительно изменятся, если отбирать масло в количестве, пропорциональном количеству отбираемого масла в реальной эксплуатации.

3. Проведение эксперимента с нижним отбором проб

Содержание эксперимента аналогично первому.

Для отбора проб снизу в дне зажима сделана сливная пробка. Центр отверстия для слива находится в плоскости вращения верхнего шарика ЧМТ-1, площадь отверстия составляет 10% от площади основания зажима. Такое расположение и большой диаметр позволяют практически всем осевшим частицам изнашивания при трении шариков попадать в отбираемую пробу. Шайба под нижними шариками в зажиме имеет коническую форму, что также сказывается положительно на попадание частиц изнашивания в пробу. Масло из узла трения полностью сливается самотёком в кювету прокачивающего устройства АДК «Призма» через 30-60 с после останова двигателя ЧМТ-1.

Шарики не меняются. Шарики и зажим не промываются, т.е. происходит постоянное накопление частиц изнашивания. Проба масла анализируется на АДК «Призма».

Результаты показаны в табл. 3 и на рис. 7, 8.

Из табл. 3 и рис. 7, 8 видно, что данное расположение точки слива масла является более удачным по сравнению с верхним отбором проб. Однако если тренд Fe, содержание частиц которого в пробе велико, имеет вид, близкий к достоверному, то тренды Zn и Cr не отражают реально происходящих процессов в узле трения при нагружениях.

Расхождение значений после последнего нагружения при нижнем сливе масла и при полном вымывании частиц значительно для всех металлов (табл. 3).

Таблица 3

Результаты эксперимента при нижнем отборе проб

Металл, содержание (г/т)			Нагрузка, кгс	Примечание
Fe	Zn	Cr		
1,03	0,33	0	10	Масло без смыва частиц с кюветы
0,9	0,28	0	20	
0,57	0,28	0	30	
9,77	1,61	2,5	40	
12,02	1,32	2,08	50	
29,77	0,38	1,35	60	
51,97	0,31	1,95	70	
65,31	2,05	2,11	Смыты все частицы	

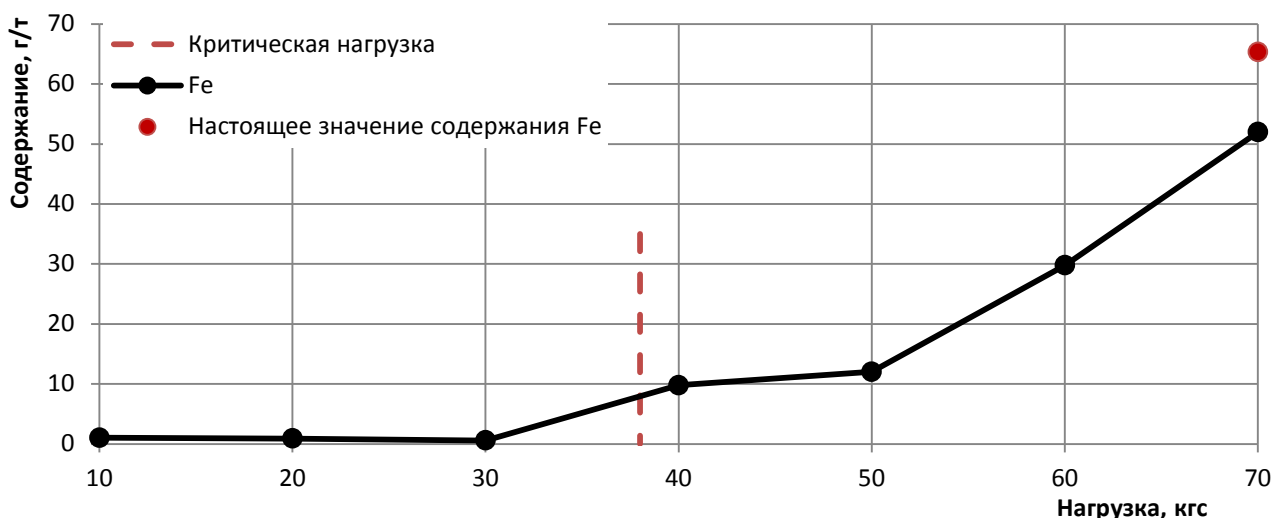


Рис. 7. Зависимость содержания железа в пробах от действующей нагрузки при нижнем отборе масла

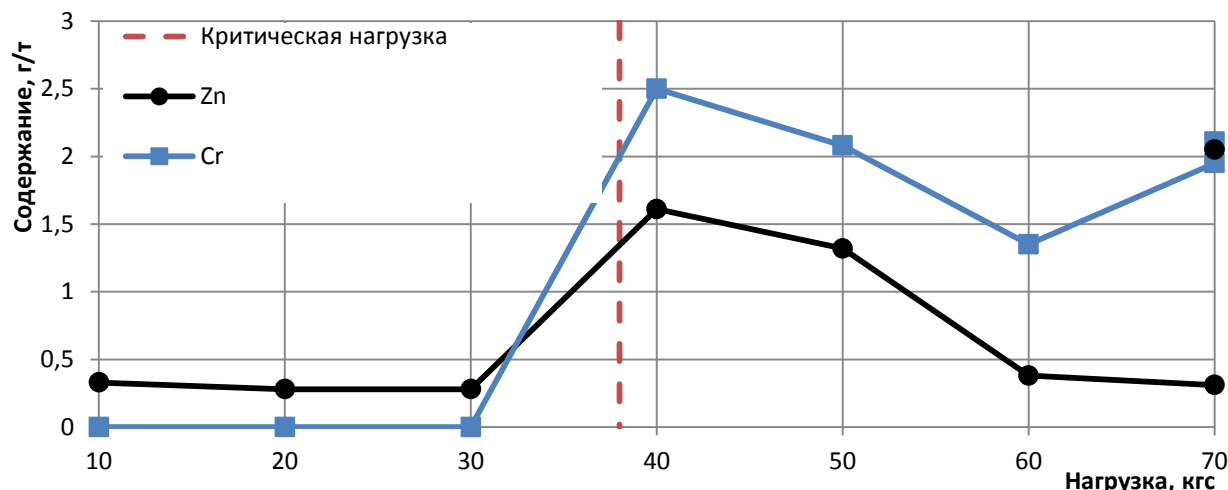


Рис. 8. Зависимость содержания металлов в пробах от действующей нагрузки при нижнем отборе масла

Таким образом, большое количество частиц, находящихся в зажиме не над точкой слива, не попадают в пробу при сливе масла самотеком через нижнюю сливную пробку. Стоит обратить внимание, что площадь сливной пробки составляет 10% от площади дна зажима.

При данном методе отбора проб информации для раннего диагностирования узла трения также не достаточно.

Таким образом, при текущих процедурах отбора проб раннее диагностирование состояния узлов и агрегатов систем с рабочими жидкостями не будет достоверным, что и доказывается практическим применением современных высокоточных приборов.

Основные выводы и рекомендации для повышения эффективности раннего диагностирования по содержанию металлов в рабочих жидкостях:

- важная информация содержится на контрольном элементе (КЭ) маслосистемы, топливной системы, гидросистемы. Ею необходимо дополнять отобранные для диагностирования пробы;
- конструирование систем с рабочими жидкостями требует обоснования выбора точек слива и мест сбора частиц изнашивания при необходимости раннего диагностирования узлов и агрегатов систем по анализам рабочих жидкостей на содержание металлов. Желательно увеличение количества КЭ. Наибольшее количество крупных частиц в рабочих жидкостях падает на дно агрегатов за считанные минуты [6]. Поэтому точки слива желательно делать с уклонами для скапливания частиц. Изнутри при производстве покрывать стенки антифрикционными составами и т.д.;
- необходимо пересмотреть количество отбираемой для анализа пробы;
- подтверждено, что появление и накопление в значительных количествах частиц изнашивания в отбираемых пробах масла происходит после разрушения разделительной пленки масла, т.е. после непосредственного контакта металлических поверхностей, что обуславливает необходимость использования комплексных методов не только по анализу содержащихся примесей в масле, но и физико-химических показателей самого масла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дасковский М.И. Обобщение опыта трибодиагностики авиационных ГТД и разработка мер по повышению её эффективности: дис.... канд. техн. наук. - М., 2012.
2. [Электронный ресурс] URL: <http://www.docload.ru/Basesdoc/35/35834/index.htm> (дата обращения 29.10.2012).
3. [Электронный ресурс] URL: http://www.comsy.ru/production/popular_gosts/3722-81 (дата обращения 29.10.2012).
4. [Электронный ресурс] URL: <http://www.complexdoc.ru/scan/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%20801-78>. (дата обращения 29.10.2012).

5. Грядунов К.И. Оценка достоверности результатов анализа проб на АДК «ПРИЗМА» // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2012. - № 183.

6. Грядунов К.И., Тимошенко А.Н. Обоснование времени отбора проб масла при рентгенофлуоресцентном анализе // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2012. - № 183.

EFFECT OF SAMPLING METHOD ON FRICTION UNIT DIAGNOSTICS

Konyaev E.A., Gryadunov K.I., Ardeshiri S., Djafari P.

The results of experiment showing an increase of metal content in oil MS-20 depending on current load on metal balls, and effect of sampling method on friction unit diagnostics are presented.

Key words: automatic diagnostic complex “Prizma”, sampling, diagnostics, oil MS-20, wear, wear debris in oil probes, friction unit vibration, vibration velocity, four-ball machine “ЧМТ-1”.

Сведения об авторах

Коняев Евгений Алексеевич, 1937 г.р., окончил РИИГА (1959), доктор технических наук, профессор кафедры авиатопливообеспечения и ремонта ЛА МГТУ ГА, автор более 200 научных работ, область научных интересов – диагностика авиационных ГТД, авиационная химмотология топлив и масел.

Грядунов Константин Игоревич, 1986 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 13 научных работ, область научных интересов – эксплуатация летательных аппаратов, диагностирование пар трения ГТД.

Ардешири Шади, окончила МГТУ ГА (2011), аспирантка МГТУ ГА, область научных интересов – эксплуатация летательных аппаратов.

Джафари Педрам, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, вибрационная диагностика механизмов и машин.