

УДК 629.7.036.3

Б.Г. БЕДРИК*Испытательный Центр нефтепродуктов военной авиации, Люберцы, Россия***СМАЗОЧНОЕ МАСЛО КАК ЭЛЕМЕНТ КОНСТРУКЦИИ, НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИКИ ПРИ «CONDITION MONITORING»**

Показана необходимость и возможность неразрушающего контроля двигателей и систем военных летательных аппаратов по параметрам смазочных материалов при их применении по состоянию. Приведены теоретические предпосылки и результаты реализации применения масел и гидравлических жидкостей в двигателях и системах военной авиации России, при которых обеспечивается высокая технико-экономическая эффективность.

масло, гидрожидкость, испытания, диагностические параметры, эксплуатация по состоянию**Обоснование проблемы**

Одним из основных условий надежной и безопасной эксплуатации техники, в частности летательных устройств, является контроль и диагностика их систем непосредственно при эксплуатации. При этом контроль должен быть оперативным и достоверным без разборки её систем и вмешательства в конструкцию техники, обеспечивая надежную эксплуатацию в течение установленного ресурса при оптимальной замене применяемых масел (масел, смазок, специальных жидкостей и других продуктов многоразового использования).

Как показали результаты исследований и опыт эксплуатации при таком подходе соблюдается главный принцип неразрушающего контроля – оценка состояния систем производится по результатам испытания небольшого количества пробы масла, слитого из техники, не прерывая ее эксплуатации. Однако для этой цели масло должно быть принято в качестве элемента конструкции систем техники и включено в эти системы с соблюдением всех требований стандартов и условий, принятых для технических объектов на всех этапах: от создания их опытных образцов, испытаний, серийного производства и эксплуатации до полной выработки установленного ресурса техники и ее списания.

Изложенные аспекты подтверждаются тем, что

масло является наиболее эффективным, гибким, изменяемым и контролируемым элементом систем и накопителем информационных признаков состояния техники и её систем.

Опыт показывает, что при условии контроля параметров масла и систем в эксплуатации можно обеспечить надежную работу техники в целом в пределах установленного ресурса.

1. Теоретические аспекты проблемы

Некоторые теоретические аспекты проблемы излагались в работах [1, 2], в основу которых положена взаимосвязь в системе «масло-техника», табл. 1.

Указанные взаимосвязи по российскому опыту исследуются и устанавливаются как на основе вышеуказанных теоретических аспектов, так и по результатам квалификационных испытаний, при которых моделируются условия работы реальных объектов, а также подтверждаются результатами реальной эксплуатации техники.

Как было показано в [2] масло в системах эксплуатируемой техники по физико-химическим параметрам и эксплуатационным свойствам существенно отличается от первоначального состояния. Степень изменения свойств масел определяется уровнем воздействующих факторов, в основном тем-

пературой, давлением, конструкционными материалами, скоростью перекачки, вибрационными и другими факторами, действующими в системе, а также

степенью изношенности техники, количеством и частотой долива свежего масла при дозаправках техники.

Таблица 1

Взаимосвязь в системе «масло-техника»

Процессы в технике при эксплуатации	Свойства масел	Определяющие параметры системы «Масло-техника»
Подача (прокачиваемость)	Низко и высокотемпературные свойства	Вязкость, температура застывания (кристаллизации), содержание воды, содержание механических примесей, в том числе продуктов изнашивания техники
Образование отложений	Термоокислительная и термическая стабильности	Кислотное число, количество осадков и отложений
Изнашивание (накопление продуктов износа в масле)	Противоизносные свойства	Содержание продуктов износа в масле
Воздействие на резиновые и другие технические изделия	Физико-химическая стабильность	Степень изменения массы и структуры изделий (деталей)
Деструкция компонентов масел	Физическая стабильность	Вязкость, испаряемость

Между тем уровень свойств масла до заправки техники определяется в основном режимами технологии его производства и не связан непосредственно с режимами эксплуатации конкретных типов техники. Таким образом масло производится с некоторым усредненным уровнем свойств из расчета а усредненные режимы эксплуатации техники.

Судя по результатам исследования проб масел, отобранных из различных систем летательных аппаратов и авиационных двигателей после различной наработки, при отсутствии нарушений функционирования техники (повышенного изнашивания, вибраций, расхода масел и других факторов) при определенных условиях наступает период стабилизации (адаптации) элементов в системе «масло-техника», в течение которого уровень свойств масел стабилизируется. Период стабилизации для каждой из указанных систем различный и составляет: для масел на минеральной основе – 50 – 60; синтетических – 80 – 90; для минеральных 90; для минеральных гидравлических жидкостей – 40 – 50; для синтетических

жидкостей – 60 – 80 часов наработки указанных продуктов в технике.

При этом уровень значений определяющих параметров систем может изменяться в 1,5 – 2,0 раза, а некоторых в 10 и 100 раз по сравнению с первоначальным уровнем без снижения уровня надежности работы техники. В этих случаях можно однозначно утверждать, что такое резкое изменение параметров масла не означает отрицательного влияния на технику, а в большинстве случаев это оказывает положительный эффект на её работоспособность.

К вышеизложенному следует добавить, что масла, циркулирующие в технических системах в отличие от других нефтепродуктов, например топлив, многократно используются в технике, аккумулируя диагностические признаки состояния систем «масло-техника» при их эксплуатации. Исследования показали, что состояние масла, уровень его параметров изменяются значительно быстрее чем наступает отказ техники. Это обосновывает

ся тем, что в условиях развития предотказного состояния в масле резко повышается содержание продуктов износа и, как следствие, увеличивается температура, что катализирует окислительные процессы в масле, вызывающие повышение кислотного числа и вязкости масла (при условии отсутствия в масле высоковязкостных компонентов).

Масла, например для турбовинтовых двигателей, а также гидравлические жидкости, как правило, содержат высоковязкостные присадки типа винипола, полиметакрилата и др. имеют склонность к снижению кинематической вязкости и повышению кислотного числа. Поэтому качественное состояние продуктов такого типа при применении в технических системах может контролироваться за счет указанных параметров при обоснованном установлении их предельно допустимого уровня при эксплуатации техники.

При этом в качестве подтверждающих факторов необходимо контролировать содержание продуктов износа в масле и состояние фильтроэлементов техники и утечек продуктов из систем.

С учетом специфики конструкции и режимов эксплуатации техники, свойств применяемых масел и других факторов для каждой системы «техника-масло» должны быть установлены определяющие параметры системы и их предельно допустимые значения, порядок, методы и средства их контроля в эксплуатации, а также порядок контроля предотказного состояния техники и, в случае необходимости, следует приостановить ее дальнейшую эксплуатацию и принять соответствующее решение.

2. Реализация программ применения масел в военной авиации России по состоянию

Как показано выше переход к применению масел по состоянию в военной авиации России был произведен по специальным программам и методикам, которые целенаправленно разрабатывались и реали-

зовывались для конкретных систем «масло-техника».

Так, были разработаны программы для минерального масла МС-8п, применяемого в двигателях Д-30КП самолетов военно-транспортной авиации типа Ил-76, полусинтетического масла ИПМ-10 двигателей самолетов МиГ-29 и Су-27, загущенных масел МН-7,5у двигателей НК-12 самолетов дальней и военно-транспортной авиации и масла АМГ-10, применяемого в гидросистемах большинства самолетов военной авиации России, масла Б-3В – основного масла, используемого в вертолетных двигателях военной и гражданской авиации.

Кроме того впервые в военной авиации России были исследованы по специальным программам масла и жидкости французской фирмы «Нусо» турбоникойл 210А в теплонапряженных двигателях самолетов МиГ-29 и масло турбоникойл 321 в двигателях Д-30КП самолетов Ил-76, а также синтетической гидрожидкости 7-50с-3, применяемой в теплонапряженных гидросистемах самолетов типа МиГ-25, включая гидрожидкость nysolube 934 фирмы Нусо.

Программами предусматривался комплекс исследований масел после испытаний в лабораторно-стендовых установках, моделирующих реальные условия (лабораторно-квалификационные испытания) и проб масел, непосредственно отобранных из масло-гидросистем самолетов, вертолетов и их двигателей при эксплуатации после различной наработки: минимальной (10 – 20), средней (50 – 100) и максимальной (250 – 300 часов).

Исследованием проб масел, проведенных с учетом изложенных в п.2 предпосылок, установлено, что масла и жидкости по основным параметрам в системах техники во время ее эксплуатации существенно изменяются и в нормальном, бездефектном режиме эксплуатации адаптируются в соответствии с условиями в системах, их конструктивными особенностями.

Суть обоснования определяющих параметров «масло-техника» и установления их предельно-допустимых уровней для контроля и диагностики систем в эксплуатации сводится к следующему:

в начале формируется для конкретных систем нормативная база. Пример такой нормативной базы для гидравлических жидкостей оказан в табл. 2.;

на втором этапе обосновываются определяющие параметры;

затем устанавливаются предельно допустимые значения определяющих параметров;

в заключение определяются методы, методики и средства контроля определяющих параметров в эксплуатации, а также описываются мероприятия, которые необходимо реализовать при обнаружении превышений допустимых уровней определяющих параметров в эксплуатации.

Таблица 2

Нормативная база для авиационных гидравлических жидкостей

Параметры:	Эксплуатационные свойства:	Определяющие параметры:
вязкость кинематическая, температура застывания, температура вспышки, кислотное число, содержание воды, содержание твердых примесей, содержание водорастворимых кислот и щелочей, удельная теплопроводность	устойчивость к деструкции, стабильность при отрицательных температурах, пожароопасность, термоокислительная стабильность, однородность среды, воздействие на конструкционные материалы, коррозионность	вязкость кинематическая, температура застывания, содержание воды, содержание механических примесей, в том числе продук- тов износа, кислотное число, температура вспышки

Перечень определяющих параметров масел и в целом систем устанавливается с учетом их значимости, изменяемости в работающей системе и ее состояния в целом (фильтрующих элементов, степени износа трущихся элементов, показаний приборов контроля функционирования техники и др.), как показано в работах [2, 3].

С учетом изложенного наиболее приемлемыми параметрами являются: кинематическая вязкость (особенно при применении масел, содержащих высоковязкостные присадки), кислотное число, содержание твердых механических примесей, в том числе продуктов изнашивания техники, температуры вспышки и застывания (кристаллизации) и, возможно, другие параметры.

По результатам испытаний установлен и реализован перечень параметров масел и их допустимый уровень для контроля состояния некоторых систем в целом. Так, для минерального масла МС-8п и turbo-nikoil 321 в двигателях Д-30КП самолетов Ил-76: кислотное число должно быть не более 1,0 мг/ КОН/ 1г (по стандарту – свежее масло должно иметь кислотное число не более 0,03мг КОН/ 1г масла), т.е. допустимое значение кислотного числа масла более чем в 30 раз превышает стандартную величину; а кинематическая вязкость – не более 10 сСт (по стандарту, не менее 8 сСт); для полусинтетического масла ИПМ-10 и turbonikoil 210А в двигателях самолетов МиГ-29 допускается иметь кислотное число, не более 4,0 (по стандарту, не более 0,05 мг

КОН/ 1г), т.е. почти в 100 раз, а кинематическая вязкость – не более 5,0 (по стандарту – не более 3,5 сСт).

Для минерального (загущенного) масла Мн-7,5у в турбовинтовых двигателях типа НК-12 при эксплуатации допускается снижение кинематической вязкости с 7,5 (по стандарту) до 6,5 сСт. (для узлов трения с высокими контактными нагрузками), а для двигателей с высокими температурами в системе кинематическая вязкость ограничивается, не более 11 сСт.

Для большинства типов авиационных двигателей содержание продуктов износа в масле (по железу) составляет 2 – 3 г/т, что принято считать эксплуатационным фоном.

Гидрожидкость АМГ-10 на минеральной основе, содержащая полимерный компонент, должна иметь кинематическую вязкость в гидросистемах самолетов типа МиГ-29 при их эксплуатации не менее 7,0 сСт. (по стандарту – не менее 10 сСт.), а гидрожидкость на синтетической основе 7-50с-3, например в самолетах типа МиГ-25, должна иметь кинематическую вязкость в пределах 19 – 26 сСт. (по стандарту – не менее 22 сСт.).

Такие ограничения можно принять для гидрожидкостей фирмы «Нусо», однако результаты для указанных продуктов носят предварительный характер и требуют дальнейшей корректировки и уточнения.

Заключение

1. В результате исследований и испытаний установлено, что масла и другие продукты многократного использования в технике изменяют первоначальный уровень свойств и параметров в соответст-

вии с уровнем воздействующих факторов в системе «масло-техника».

2. Такие параметры как кислотное число, кинематическая вязкость, содержание продуктов износа в масле и другие могут быть приняты в качестве определяющих для оценки состояния систем в целом при их эксплуатации. Указанные параметры уже в настоящее время доступны для контроля систем в случаях необходимости и при установлении их предельно допустимых уровней.

3. Многолетняя практика реализации применения масел по их состоянию в военной авиации России подтвердила высокую эффективность такого подхода.

Литература

1. Bedrik B. Theoriy, practice and diagnosing of using of oil products (OP) in tecnique on condition. Intern. Conference on Condition Monitoring. 25th- 27th June 2001, Oxford, UK, Published by the Coxmoor Publishing Company. – P. 443 – 450.
2. Бедрик Б.Г. Контроль и оптимизация замены смазочных материалов в технике при эксплуатации. – М: Контроль. Диагностика, 1998. – № 5. – С. 18 – 21.
3. Кузьменко М.Л., Элькес А.А., Бедрик Б.Г., Кузьмин Ю.А. Диагностика масел и двигателей Д-30КП 3-ей серии ОАО «НПО Сатурн» по состоянию при их эксплуатации. – М: Контроль. Диагностика, 2003. – №. 12. – С. 16 – 18.

Поступила в редакцию 9.06.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.Ф. Симбирский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков