

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 nucolube 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

<b>Параметры:</b>	<b>Эксплуатационные свойства:</b>	<b>Определяющие параметры:</b>
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 продуктов 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 turbonikoil 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 tecniqe on condition. Intern. Conference on Condition Monitoring. 25<sup>th</sup>- 27<sup>th</sup> 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