

СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ МОТОРНОГО МАСЛА И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГТД

© 2015 Д.В. Воскобойников, Б.А. Кесель

Казанский государственный энергетический университет

Поступила в редакцию 06.04.2015

В данной статье рассмотрен метод увеличения срока службы моторного масла конвертированных авиационных ГТД в эксплуатации. В работе приведены результаты экспериментальных работ по увеличению срока службы моторного масла при его комплексной гидродинамической обработке в устройстве роторно-пульсационного типа. Проведено сравнение физико-химических показателей моторных масел после длительного гидродинамического воздействия на него и после 271 часовой наработки масла в коробке моторных агрегатов двигателя НК-86 с общей наработкой 8760 часов.
Ключевые слова: трибологическая система, газотурбинный двигатель, роторно-пульсационный аппарат, ресурс, увеличение срока службы масел.

Характеристики моторных масел, применяемых в системах смазки ГТД, оказывают существенное влияние на показатели надёжности работы подшипников роторов двигателей, а также подшипников и шестерён коробок приводов. Увеличение срока службы моторного масла и повышение надёжности элементов трибологической системы являются и по сей день актуальными задачами.

В последнее время сложилась тенденция увеличения единичной мощности современных ГТД наземного применения более 25 МВт, требования к КПД при этом не менее 35% в стационарных условиях. При обеспечении большой мощности и высокого КПД повышаются теплоснапряжённость и динамические нагрузки в узлах трения, что отрицательно сказывается на работе трибологической системы (ТС) двигателя. С учетом применения современных термобарьерных покрытий [12,13] на лопатках температура газа перед турбиной ГТД достигла 1700 ... 1800 К. [9]. Схема изменения температуры газов перед турбиной показана на рисунке 1. Температура масла на выходе из таких теплоснапряженных двигателей достигает порядка 475 К [7].

Эксплуатационная эффективность смазочных масел определяется совокупностью их физико-химических показателей и свойствами смазываемых поверхностей узлов трения. Жесткие требования, предъявляемые к смазочным маслам современных ГТД, обуславливается необходимостью обеспечения надёжной эксплуатации в широком диапазоне температур на всех режимах работы ГТУ.

В газотурбинных двигателях смазочные масла, кроме смазывания трущихся деталей, выпол-

няют целый ряд дополнительных функций:

- уменьшение потерь на трение и износ элементов ТС;
- защита элементов ТС ГТД при работе и длительной стоянке;
- отвод тепла от смазываемых деталей;
- обеспечение хорошей совместимости с материалами уплотнений;
- нейтрализация кислот, образующихся при окислении масла;
- предотвращение нагаров на рабочих поверхностях элементов ТС ГТД;
- предотвращение выпадания осадков в картере, маслопроводах и маслобаке;
- обеспечение работы масляных фильтров в течение гарантийного срока их эксплуатации до замены масла;
- предотвращение роста вязкости масла вследствие загрязнения его сажей;
- предотвращение зальных образований в масле.

Для выполнения вышеперечисленных функций моторные масла должны обладать хорошими вязкостно-температурными свойствами, низкой температурой застывания, высокими температурами вспышки, минимальной испаряемостью и вспениваемостью, быть инертными к различным конструктивным материалам, высокой термической и термоокислительной стабильностью.

Относительные перемещения контактирующих поверхностей трибологической системы двигателя, их механические взаимодействия приводят не только к изменению физико-химических свойств масла, но и к их разрушению. То есть происходит изнашивание – отделение от поверхности трения частиц материала. Если не рассматривать сухое трение, то при жидкостном трении контакт трущихся поверхностей заменяется трением слоёв смазки. Коэффициент трения можно выразить соотношением [5]:

Воскобойников Дмитрий Владимирович, старший преподаватель. E-mail: gtu.am@yandex.ru

Кесель Борис Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры "Промышленная теплоэнергетика". E-mail: bak1951@yandex.ru

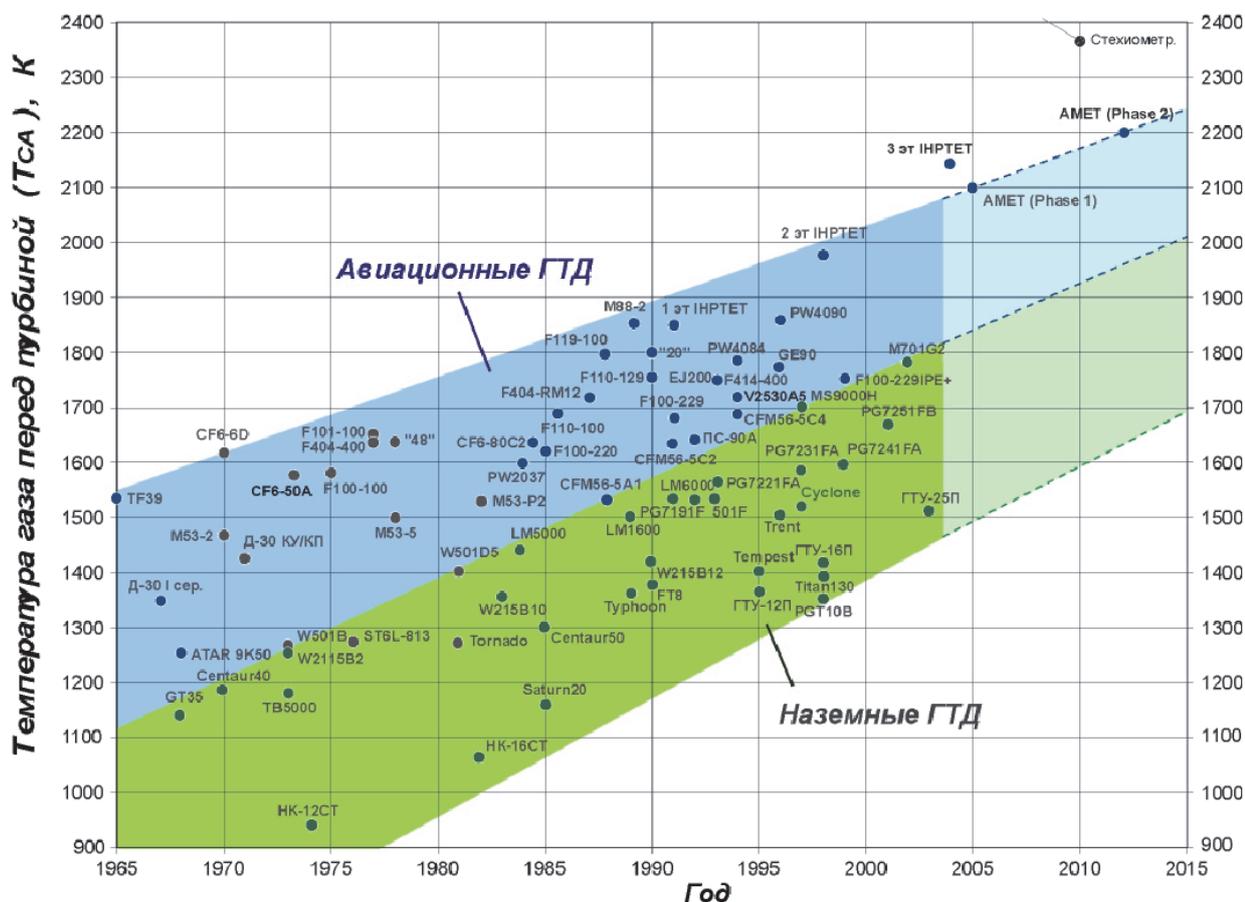


Рис. 1. Эволюция температуры газа перед турбиной [9]

$$f = \frac{A \cdot \mu \cdot V}{N}$$

где A – коэффициент пропорциональности; μ – коэффициент динамической вязкости масла, кг/м³; V – скорость относительного перемещения, м/с; N – нормальная сила, Н

Загрязнения, попадая между трущимися поверхностями, нарушают коэффициент трения и условия смазки.

Тяжелые условия работы смазываемых поверхностей ГТД, попадание в масло абразивных частиц многократно увеличивает износ этих поверхностей. Твердые частицы неорганических загрязнений, воздействующие на трущиеся поверхности узлов двигателя, нарушают смазывающую пленку масла между этими поверхностями, что в свою очередь приводит к возникновению сухого трения, существенно повышает износ сопряженных деталей и, в конечном счете, приводит к сокращению наработки и надежности как самих деталей, так и двигателя в целом. От 20 до 50 % отказов авиационных гидравлических систем происходит вследствие загрязнения рабочих жидкостей.

Образующиеся во время эксплуатации авиационных масел загрязнения забивают отверстия в масляных каналах, накапливаются в маслоочистительных устройствах и изнашивают уплотнительные устройства. Забитые масляные каналы

являются причиной ограничения поступления необходимого количества масла к смазываемым узлам, что, в конечном итоге, приводит к нарушению температурного режима работы этих узлов двигателя. В определенных диапазонах температур возникает возможность образования коксовых отложений в трубопроводах системы смазки, для поддержания требуемых расходов масла затрачивается дополнительная энергия, что, в конечном результате, приводит к повышенному расходу топлива и уменьшению надежности ГТД. На рис. 2 представлена зависимость температуры подшипника от расхода масла.

Согласно гидростатической теории смазки износ поверхностей при жидкостном трении наблюдается в результате физико-химических и электростатических процессов, возникающих между трущимися поверхностями и контакта их со смазочным материалом. Известны такие виды износа как: механический, молекулярно-механический, коррозионно-механический, эрозионный, кавитационный которые зависят не только от материалов деталей и качества их поверхностей, но и от свойств масла, так как в некоторых случаях смазочный материал становится причиной активации износа, или даже выхода из строя узлов и агрегатов.

Износ является причиной выхода из строя более 80% деталей различных агрегатов. Различают

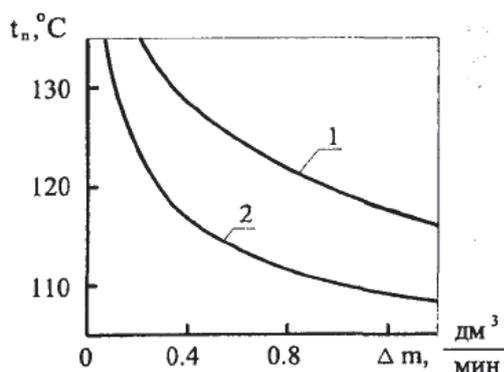


Рис. 2. Зависимость температуры подшипника

t_n от расхода масла Δm :

1 – минеральное масло ($v_{-50^\circ\text{C}} = 40 \text{ мм}^2/\text{с}$);

2 – загущенное масло ($v_{-50^\circ\text{C}} = 50 \text{ мм}^2/\text{с}$)

три вида изнашивания:

- механическое
- коррозионно-механическое
- молекулярно-механическое

Каждый из этих видов изнашивания зависит в той или иной степени от физико-химических свойств масла.

В связи с тем, что сегодня в эксплуатации находится значительное количество ГТД с большой наработкой повышение надежности трибологической системы становится актуальной задачей.

По данным ОАО «Газпром» газотранспортная система, включая ГПА, работает близко к пределу своих возможностей. Это означает, что будут создавать новые ГПА. Время необходимое на создание новой ГПА это 5-7 лет, поэтому необходимость в реконструкции для поддержания и восстановления ГПА становится всё более острой и актуальной из-за их естественного старения [11].

Одной из составляющих стоимости затрат ГТД за жизненный цикл является стоимость замены моторного масла. Согласно регламенту ОАО «Газпром» замену масла производят при наработке 3000 часов, в среднем ГПА в год наработывают 4500 часов. Объём масляных баков, в зависимости от ГТД, составляет от 1000 до 1500 литров. В связи с этим, вопрос о продлении срока службы масел в эксплуатации является весьма актуальным.

Увеличение срока службы масел осуществляется их разработчиками за счет внедрения различного рода присадок и преобразователей продуктов износа попадающих в масла в процессе эксплуатации.

Существуют и другие методы увеличения срока службы масел. Одним из перспективных методов решения задачи, является комплексное гидродинамическое воздействие на масло в процессе работы за счет включения в кинематическую схему конвертированного авиационного ГТД специальных устройств.

Указанное воздействие на смазочный материал позволяет значительно уменьшить размер частиц, являющихся продуктами износа, соответственно уменьшить и сам износ смазываемых деталей, что в конечном счете сказывается на увеличении срока службы смазочного материала и повышении надежности работы элементов ТС ГТД, то есть уменьшить затраты на ремонтно-техническое обслуживание и затраты на масло. Особенно актуально это для конвертируемых авиационных ГТД применяемых в газовой промышленности и энергетике, где требуется большой ресурс безотказной работы ТС ГТД.

На ОАО КПП «Авиамотор» в период 2010-2012 годов проводились поисковые работы в области усовершенствования переработки нефтепродуктов, а также определение изменений физико-химических показателей моторного масла при длительной работе в составе комбинированной опоры установки «ЛИРА-М», которая специально разработана и изготовлена для подтверждения экспериментальным путем новой методики увеличения срока службы моторных масел.

Установка «ЛИРА-М» относится к роторно-пульсационным аппаратам [4].

Основным элементом установки «Лири-М» является вращающийся ротор. Моторное масло, попадая в зазоры между ротором и статором, проходит процесс диспергирования. При этом масло воспринимает комбинированное воздействие, включающее в себя:

- механическое воздействие, которое возникает в зазорах между ротором и статором и приводит к разрушению твёрдых частиц, находящихся в рабочей жидкости [8];
- гидродинамическое воздействие возникает при механическом перемешивании жидкости специальными кольцевыми цилиндрическими элементами, выполненными на поверхности ротора [8];
- кавитационное воздействие происходит в результате многократно повторяющихся гидравлических ударов, в результате резкого изменения давления в жидкости, вызванного мгновенным изменением скорости её течения в трубопроводе под действием растягивающих напряжений, приводящих к образованию пузырьков, наполненных воздухом и паром в потоке жидкости. Это воздействие приводит к разрушению твердых частиц [3];
- акустическое воздействие возникает в результате резкого мощного действия акустического поля на рабочую жидкость [12].

Повышение эффективности работы маслосистемы ГТД за счет интенсификации различных физико-химических явлений - основное направление совершенствования кинематической схемы авиационного конвертированного ГТД. Комплексное усиление механического, гидроди-

намического, кавитационного и акустического воздействия на различные загрязнения в масле актуальная задача совершенствования маслосистем. В разработанной конструкции установки «ЛИРА-М» сделана попытка решения данной задачи. В комбинированной опоре были установлены подшипники, используемые в коробке самолетных агрегатов 75-206 Б1 ЕТУ-100/3.

Использование диспергаторов для повышения сроков службы моторных масел малоизученно поэтому были проведены испытания модельной установки с подшипниками от газотурбинного двигателя с замкнутой системой смазки, оснащенной диспергирующим устройством. Указанные испытания проведены за наработку 280 часов.

Разработана экспериментальная программа длительной обработки масла в совмещенной опоре установки «ЛИРА-М». целью данного эксперимента было определение изменений физико-химических показателей моторного масла в течении всего испытания.

Испытания проводились на масле МС-8П. Данное масло применяется в системе смазки как двигателя НК-16СТ для наземных газотурбинных установок, так и в систему смазки НК-8-2У [6].

Объектом данных испытаний являлась комбинированная совмещенная опора установки «Ли́ра-М». В качестве устройства, нагружающего подшипники комбинированной опоры импульсными нагрузками, служил ротор установки

«Ли́ра-М». Крутящий момент на вал ротора передавался от электродвигателя переменного тока мощностью 55 кВт и рабочими оборотами 3000 об/мин. Диспергирование масла в совмещенной комбинированной опоре шло непрерывно по замкнутому циклу. После заправки масла в опору, под действием центробежных сил, возникающих при передаче крутящего момента от электродвигателя к подвижным элементам установки, возникает циркуляция масла. При циркуляции масло проходя через опору проходит процесс диспергирования в специальном элементе совмещенной опоры. Загрузочным устройством установки «Ли́ра-М» было РПА включенное в цикл прогонки воды.

Испытания установки «Ли́ра-М» проводились на специализированном экспериментальном стенде, схема экспериментальной установки показана на рис. 3.

Исследование образцов масла методом ИК-спектроскопии провел доктор химических наук, академик РАЕН Офицеров Е.Н.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных испытаний комбинированной опоры с диспергированием смазывающей среды (масло МС-8П) в циркуляционном режиме установлено [10]:

- в процессе наработки 200 ч. с диспергированием масла, его кислотное число за 120 ч. возрос-

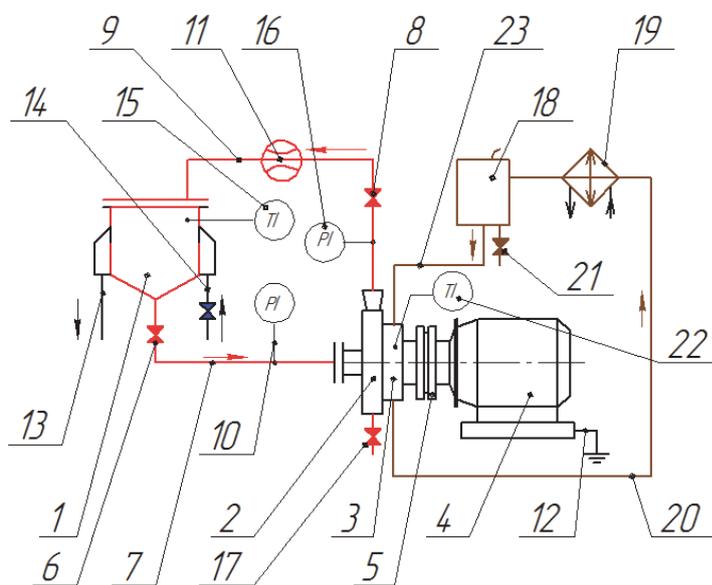


Рис. 3. Схема экспериментальной установки:

1 – ёмкость для воды с рубашкой охлаждения, 2 – РПА, 3 – совмещенная комбинированная опора (СКО), 4 – электродвигатель, 5 – муфта, 6 – вентиль для рабочей жидкости в РПА, 7 – магистраль подачи рабочей жидкости, 8 – вентиль для регулирования расхода рабочей жидкости, 9 – магистраль отвода рабочей жидкости из РПА, 10 – манометр для измерения давления на входе в РПА, 11 – счётчик турбинный холодной воды, 12 – заземление установки «Ли́ра-М», 13 – магистраль слива охлаждающей жидкости из рубашки ёмкости для воды, 14 – магистраль подачи охлаждающей жидкости в рубашку ёмкости для воды, 15 – термометр для измерения температуры воды в баке, 16 – манометр для измерения давления на выходе из РПА, 17 – кран слива из РПА, 18 – бак масляный, 19 – водо-масляный теплообменник, 20 – магистраль слива масла из СКО, 21 – кран для слива проб масла, 22 – датчик температуры, 23 – магистраль подачи масла в СКО.

ло с 0,01 до 0,03 и далее в течение последующих 80 часов не изменялось. (Кислотное число по нормам ОСТ 38.01163-78 не должно превышать 0,03мг КОН на 1 гр. масла);

- кинематическая вязкость (при 500С) возросла с исходной величины 8,09 сСт до значений 8,47 сСт (по ОСТ кинематическая вязкость должна составлять величину не менее 8,00 сСт);

- за указанную наработку возросло содержание золы с 0,008% до 0,014%;

- размер твердых частиц после диспергирования не превышает 1мкм, что свидетельствует о практически полном отсутствии в масле механических примесей (опора работала без маслофильтра) и воды (штатные фильтры маслосистем ГТУ имеют ячейки размером 10 мкм);

- спектральным анализом установлено отсутствие деструктивных изменений по химическому составу масла (исходного и после длительной наработки) таблица 1;

- техническое состояние подшипников, прошедших испытания в составе комбинированной опоры удовлетворительное.

Данные по физико-химическому анализу масла МС-8П на реальном двигателе за наработку 271 час, представленные в таблице 2 и свидетельствуют о том, что параметры масла без диспергирования, но с фильтрацией сопоставимы с параметрами масла с диспергированием без фильтрации.

При исследовании образцов масла методом ИК-спектроскопии было исследовано 5 образцов масла:

- исходное;
- 40 часов эксплуатации;
- 100 часов эксплуатации;
- 200 часов эксплуатации;

- 280 часов эксплуатации.

Как следует из сравнения спектров образцов исходного и после длительной эксплуатации новых полос или существенного перераспределения интенсивности имеющихся полос не происходит.

В случае окислительной деструкции должны появляться карбонильные группы, имеющие в ИК спектре полосы поглощения в области 1700-1760 см⁻¹. Следовая полоса при 1740 см⁻¹ присутствует, однако ее интенсивность не увеличивается.

Не увеличивается и интенсивность полосы свободных валентных колебаний группы –ОН (вода, спирты) при 3660 см⁻¹.

Приведенные данные свидетельствуют, что при эксплуатации масла существенных изменений в его структуре не происходит – нет явных признаков термоокислительной деструкции и гидроперекисного окисления углеводородной цепи.

ВЫВОДЫ

Проведенные испытания СКО с гидродинамической обработкой авиационного масла МС-8П на экспериментальной установке в непрерывном циркуляционном режиме показали, что основные физико-химические показатели масла, выявленные стандартными методами, находятся в пределах нормы, при этом отсутствуют механические примеси в масле и вода.

При введении диспергатора установки «ЛИРА-М» в контур маслосистемы ГТД уменьшается износ смазываемых деталей, что в конечном счете должно увеличить срок службы смазочного материала и повысить надежность работы смазываемых деталей и узлов, увеличивает межремонтный ресурс маслоагрегатов двигателя и увеличивает срок замены масла.

Таблица 1. Результаты физико-химического анализа экспериментальные [10]

Номер отбора	Время работы на режиме, час	Кинем. вязкость 50°С, сСт	Кислотное число, мг/г	Содержание золы, %	Содержание механических примесей	Наличие воды
1	0	8,09	0,01	0,008	отсутствует	отсутствует
2	40	8,29	0,02	0,011	отсутствует	отсутствует
3	80	8,34	0,02	0,012	отсутствует	отсутствует
4	120	8,38	0,03	0,012	отсутствует	отсутствует
5	160	8,43	0,03	0,012	отсутствует	отсутствует
6	200	8,47	0,03	0,014	отсутствует	отсутствует
7	240	8,48	0,03	0,014	отсутствует	отсутствует

Таблица 2. Результаты физико-химического анализа из эксплуатации [6]

Номер отбора	Время работы, час	Кинем. вязкость 50°С, сСт	Кислотное число, мг/г	Содержание золы, %	Содержание механических примесей	Наличие воды
*	271	8,14	0,008	0,0085	отсутствует	отсутствует

* Масло МС-8П из эксплуатации отобр. 01.01.05 с дв. НК-86 с наработкой 271 час

Применение таких устройств в составе масло-систем конвертированных авиационных двигателей в наземных условиях является перспективным направлением, способствующим увеличению надежности трибологической системы двигателя, увеличению ресурса и повышением экологичности с учетом уменьшением объёмов утилизированного масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абусдель А.М., Ильинкова Т.А., Лунев А.Н.* Применение термобарьерных покрытий в современных газовых турбинах. 1.Термобарьерный слой // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2005. № 1. С. 60-64.
2. *Абусдель А.М., Ильинкова Т.А., Лунев А.Н.* Применение термобарьерных покрытий в современных газовых турбинах. 2.Связующий слой // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2005. № 3. С. 74-50.
3. *Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П.* Гидродинамическое диспергирование. М.: Наука, 1998. 331 с
4. *Воскобойников Д.В., Кесель Б.А., Понькин В.Н., Паерелий Д.А.* Пульсационный аппарат роторного типа. Патент РФ № 2257948, 10.08.2005
5. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) М.: Изд-во МСХА, 2001. 616 с.
6. Повышение эффективности трибологических систем авиационных двигателей / *Л.В. Горюнов, Б.А. Кесель, В.Н. Понькин, В.В. Такмовцев.* Препринт 05П1. Казань: изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева, 2005. 80 с.
7. Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань: Изд-во Казанск. Унив. 2005. 714 с.
8. *Новицкий Б.Г.* Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. М.: Химия, 1983. 192 с.
9. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: учеб. / *А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.П. Сандрацкий.* М.: Машиностроение, 2008. Т. 1. 208 с.
10. Отчет по результатам длительных испытаний установки для диспергирования масла в составе аппарата «Лири-М». Казань, ОАО КПП «Авиамотор», 2005. С.15
11. Комплекс технических решений по повышению эффективности ГПА / *В.Н. Понькин, Е.И. Жильцов, Б.А. Кесель, А.А. Корноухов* // Газотурбинные технологии. Февраль-Март 2009. №2 (73). С. 12-17.
12. Физические эффекты в машиностроении: Справочник [под ред. В.А.Лукуянца]. М.: Машиностроение, 1993. 224с.

A METHOD OF INCREASING ENGINE OIL LIFE AND RELIABILITY TRIBOLOGICAL SYSTEM GTD

© 2015 D.V. Voskoboynikov, B.A. Kesel

Kazan State Power Engineering University

This paper presents a method of increasing the lifetime of the engine oil converted gas turbine engines in operation. The results of experimental studies to increase the service life of the engine oil when it is integrated hydrodynamic processing in the rotary-type pulsation. A comparison of physical and chemical parameters of engine oils after prolonged exposure to hydrodynamic and after 271 hours of operation of motor oil in the box units of the engine NK-86 with a total operating time of 8760 hours.

Keywords: tribological system, gas turbine engine, the rotary-pulsation apparatus, resource, extended life lubricants.

Dmitry Voskoboynikov, Senior Lecturer.

E-mail: gtu.am@yandex.ru

Boris Kesel, Candidate of Technics, Professor at the Industrial Thermal Engineering Department. E-mail: bak1951@yandex.ru