

УДК 629.7.06

**УПРЕЖДАЮЩЕЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ**

© 2009 М. А. Ковалев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматривается проблема повышения надежности гидросистем за счет применения упреждающих технологий. В качестве интегрального диагностического признака упреждающего обслуживания гидросистем использован дисперсный состав частиц загрязнения рабочей жидкости. Указано на необходимость изменения метода контроля и методики оценивания этого параметра.

Надежность гидравлических систем, упреждающее обслуживание, факторы упреждающего обслуживания гидравлических систем, дисперсный состав частиц загрязнения рабочей жидкости, контроль уровня загрязнения рабочей жидкости гидравлических систем

Одним из основных направлений повышения надежности различных образцов техники является совершенствование системы их технической эксплуатации, важной составной частью которой являются стратегии технического обслуживания (ТО). В настоящее время на практике применяются стратегии ТО по наработке и по состоянию. Повысить эффективность ТО можно за счет разработки и внедрения на практике нового вида стратегии, ориентированного на упреждающее отказы агрегатов обслуживание. Это одно из наиболее перспективных, но в то же время малоисследованных направлений в области ТО, которому в последнее время все большее внимание уделяют специалисты в самых разных отраслях народного хозяйства.

Наиболее совершенной из используемых на практике является стратегия ТО по состоянию, которая основана на «реагирующем подходе». Этот подход предполагает определение факта наличия деградации параметров системы и устранение этой деградации посредством ремонта. Идея применения упреждающего обслуживания заключается не в реагировании на деградацию рабочих параметров системы, а в ее предупреждении. Для этого необходимо выявить симптомы условий, в которых может произойти эта деградация.

Следовательно, упреждающее обслуживание направлено на обнаружение и коррекцию глубинных причин деградации параметров системы, которые приводят к отказу. Если такие причины вовремя не устранены, то можно считать, что обратный отсчет

срока службы агрегатов системы уже начал. Соответственно за счет поддержания параметров глубинных причин отказа в приемлемых границах может быть значительно увеличен срок службы компонентов системы.

Отличие упреждающего подхода к ТО от реагирующего может быть проиллюстрировано при помощи графиков, приведенных на рис. 1. График 1 (пунктирная линия) характеризует зависимость степени развития отказа Z от времени эксплуатации $T_{экс}$ для упреждающего обслуживания, а график 2 (сплошная линия) - для реагирующего. Как следует из анализа графиков, для упреждающего обслуживания свойственен не зависящий от времени эксплуатации уровень развития отказа (фактически получаем вечную эксплуатацию), что, безусловно, является некоторой идеализацией. Кривая 2 состоит из двух чередующихся характерных участков: горизонтального и наклонного. Горизонтальный участок отражает время ремонта, а наклонный – время, в течение которого деградация параметров развивается до достижения ими предельных значений. При этом время развития последующих отказов до ремонта в среднем уменьшается, а после проведения ремонта начальный уровень развития отказа уже не достигается, т.к. отказы одних агрегатов системы оказывают отрицательное влияние на работоспособность остальных. Данный рисунок наглядно отражает преимущества упреждающего подхода к ТО перед реагирующим, основным из которых является отсутствие периодов вынужденного простоя объектов ТО, обусловленного ремонтом.

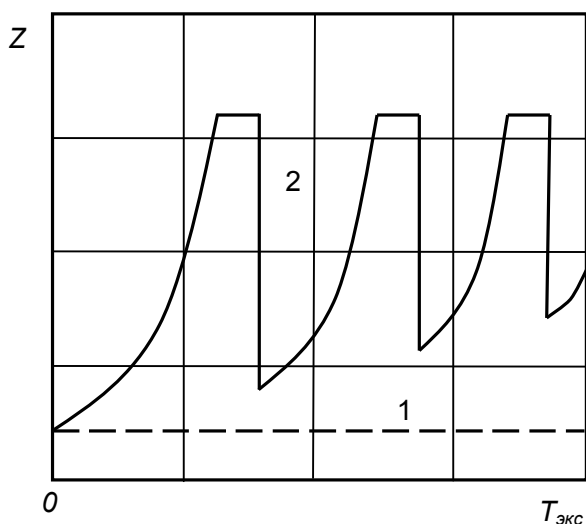


Рис.1. Графики зависимости уровня развития отказа Z от времени эксплуатации $T_{экс}$ для упреждающего (график 1) и реагирующего (график 2) подходов к ТО

Таким образом, упреждающее обслуживание позволяет значительно увеличить прибыль предприятий за счет снижения простоев техники, количества деталей для ремонта, числа обслуживающего персонала и т.д. Это связано с тем, что коррекция глубинных причин отказа обычно не требует временного вывода объекта из эксплуатации.

Разработка технологии упреждающего обслуживания для какой-либо системы предполагает решение трех задач:

- 1) определение факторов в работе этой системы, нарушения стабильности которых являются глубинными причинами деградации ее параметров и приводят к отказу;
- 2) разработка методов выявления нарушений стабильности этих факторов, т.е. определение доступных для наблюдения диагностических признаков, позволяющих контролировать эти факторы;
- 3) формирование способов их коррекции.

Сложность решения этих задач является главной причиной недостаточного развития теоретических аспектов и слабого практического внедрения упреждающих технологий.

Среди немногочисленных работ, посвященных этой тематике, наибольший интерес представляют исследования Е.С. Фитча (США) [1], направленные на повышение надежности гидросистем (ГС). В качестве факторов стабильности в работе ГС Е.С.Фитч выделяет:

- стабильность загрязнения рабочей жидкости (РЖ) ГС;
- стабильность внутренних и внешних утечек жидкости;
- стабильность химических и физических свойств жидкости;
- отсутствие кавитации РЖ;
- стабильность температуры жидкости;
- стабильность износа компонентов ГС;
- стабильность прикладываемых к компонентам ГС механических нагрузок, значения которых не должны превышать прочности их материала.

На правильность выбора приведенных выше факторов указывают результаты исследований [2] по выявлению причин изменения технического состояния основных типов гидроагрегатов при их эксплуатации. Например, было установлено, что на основную характеристику авиационных гидронасосов – подачу – наиболее существенное влияние оказывает изнашивание, а в качестве основных причин досрочного снятия таких насосов указаны повышение внутренних утечек и разрушение качающего узла. При этом главными причинами разрушений качающего узла являются перегрев и кавитация. На характеристики распределительных и регулирующих устройств наибольшее влияние оказывают загрязненность РЖ и температурный режим работы ГС, а основными причинами их отказов является нарушение внутренней герметичности.

Из перечисленных выше факторов стабильности в работе ГС только нарушения стабильности механического нагружения компонентов и стабильности внешних утечек РЖ могут в результате привести к внезапным функциональным отказам, которые сложно прогнозировать. Нарушения же остальных факторов приводят к постепенным параметрическим и прогнозируемым отказам, которые можно распознать на ранней стадии их развития, что позволяет вовремя внести корректировки и не допустить их дальнейшего развития. Это обстоятельство является главной предпосылкой для использования упреждающих технологий при ТО ГС ВС.

В качестве диагностических признаков, позволяющих контролировать факторы ста-

бильности в работе ГС, целесообразно использовать параметры частиц загрязнения РЖ ГС. Обоснованность такого выбора подтвердим приведенным ниже анализом, устанавливающим связь между этими факторами и параметрами частиц загрязнения.

Для первого из указанных факторов – стабильности *загрязнения РЖ ГС* – такая связь очевидна, т.к. на практике в качестве оценки уровня загрязнения жидкости используется класс чистоты, определяемый в соответствии с ГОСТ 17216-2001 на основе анализа дисперсного состава частиц загрязнения (количества частиц и их размера) в 100 мл РЖ.

Как следует из анализа литературы [2-5] уровень загрязнения оказывает существенное влияние на срок службы компонентов ГС. Так, на рис. 2 приведена кривая, характеризующая зависимость относительного срока службы (R) подшипников качения от уровня загрязнения масла ($N_{>5}$ – число частиц, диаметр которых превышает 5 мкм, в 1 см^3 масла). График построен по данным немецкой фирмы PALL. Из анализа рис. 2 следует, что при чистой и очень чистой жидкости (код чистоты по ISO 14/11 и более) возможно значительное увеличение ресурса агрегатов, в частности подшипников.

Причиной появления *утечек жидкости* в системе могут быть изношенные или разрушенные уплотнения, чувствительные к вибрации фитинги, неправильно изготовленные или установленные шланги и др.

Многие процессы, приводящие к возникновению внешних утечек, являются быстротекущими, а сами отказы функциональными, внезапными и непрогнозируемыми. К тому же при обеспечении стабильности фактора внешних утечек на первый план выходят субъективные аспекты – соблюдение технологии монтажа, опытность обслуживающего персонала, соблюдение технологий при изготовлении уплотнений, шлангов и др. Поэтому прогнозировать такие отказы крайне сложно. Тем не менее, внешние утечки, обусловленные разрушением шлангов и уплотнителей, можно прогнозировать, поскольку это разрушение сопровождается генерированием в РЖ частиц материала, из которого они изготовлены.

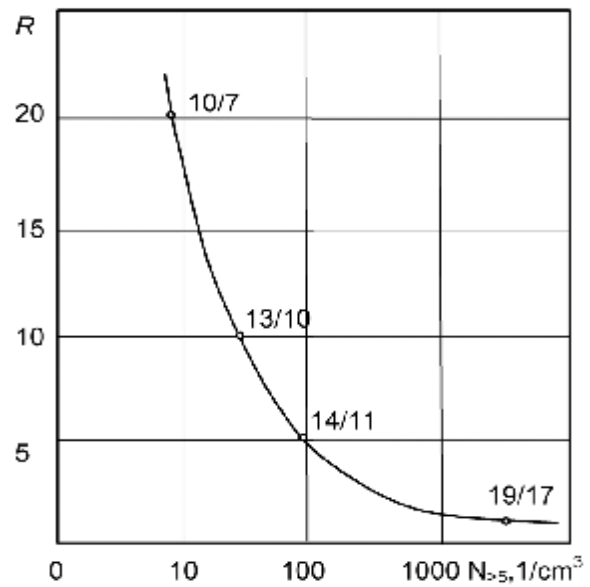


Рис. 2. Зависимость относительного срока службы подшипников качения от уровня загрязнения масла

Рост внутренних утечек является результатом разрушения пар трения трибомеханических агрегатов ГС, которое сопровождается генерированием частиц износа в РЖ. Так, в работе [3] приводятся данные по изменению величины зазоров в плунжерной паре аксиально-поршневого насоса НП-25, которые за 2000 часов эксплуатации увеличиваются в среднем на 10...15 мкм. Это означает, что за указанный период вследствие износа только одной такой пары в жидкость может генерироваться свыше 800 миллионов частиц загрязнений диаметром около 5 мкм. Причем приведенная цифра не учитывает износ в других деталях насоса – распределительном золотнике, шаровой опоре толкателей, подшипниках и т.д.

Деградация *химических и физических свойств жидкости* приводит к тому, что РЖ теряет способность выполнять в должной мере возложенные на нее функции (отвод тепла из зоны трения, смазка трущихся поверхностей, вымывание из зазора частиц загрязнения), что, в свою очередь, приводит к повышенному износу компонентов ГС, который сопровождается ростом скорости генерирования частиц материала компонентов в жидкость. Кроме того, процесс деградации химического состава жидкости приводит к увеличению в ней растворимых и нерастворимых соединений (осадок, ил, кислотные материалы).

Как следует из анализа кривых на рис. 3 [1], продукты разрушения компонентов ГС (металлические частицы) и вода, растворенная в РЖ, оказывают существенное каталитическое влияние на окислительные процессы, протекающие в жидкости. Поэтому одним из факторов обеспечения стабильности химических свойств жидкости является поддержание уровня ее загрязнения в заданных границах.

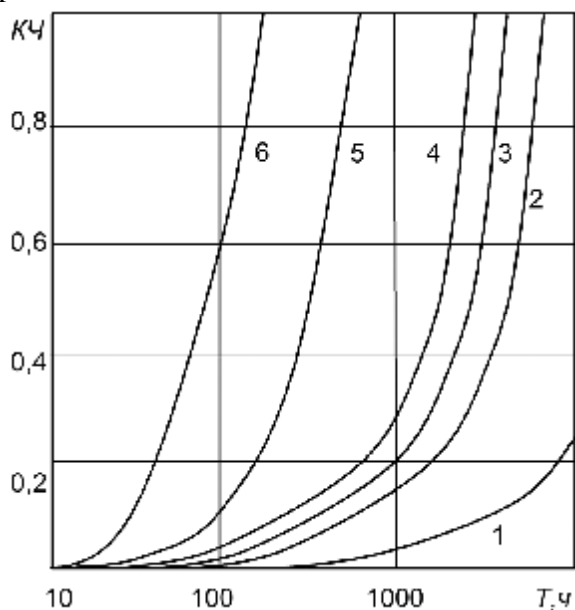


Рис.3. Изменение кислотного числа РЖ (мг КОН на 1 г масла) во времени:

1 – для «чистой» и «сухой» жидкости; 2 – для «сухой» жидкости, в которой присутствуют только железные частицы; 3 – для «сухой» жидкости, в которой присутствуют только медные частицы; 4 – для «чистой» жидкости, в которой присутствует вода; 5 – для жидкости, в которой присутствуют вода и железные частицы; 6 – для жидкости, в которой присутствуют вода и медные частицы

Явление *кавитации* в ГС сопровождается сильной пульсацией давления, вибрацией, физическим разрушением компонентов ГС, резким повышением температуры жидкости, увеличением уровня окисления РЖ и материалов компонентов и др., что приводит к значительному увеличению износа и, как следствие, росту количества частиц загрязнения в РЖ (особенно мелкого размера).

Кавитация возникает при пониженном давлении в трубопроводах, насосах, клапанах, дросселях и т.п. – везде, где поток жидкости изменяет направление, сужается с последующим расширением. Данные, приведенные на рис.4 [1], отражают влияние пониженного давления на входе насоса на ско-

рость разрушения материала его узлов. На рисунке показаны кривые дисперсного состава частиц износа $N(d)$, генерируемых в жидкость в единицу времени при нормальном давлении всасывания – кривая 1 и пониженном давлении всасывания (8 мм.рт.ст.) – кривая 2. Из анализа этих графиков следует, что при кавитации значительно возрастает число частиц износа размером менее 30 мкм.

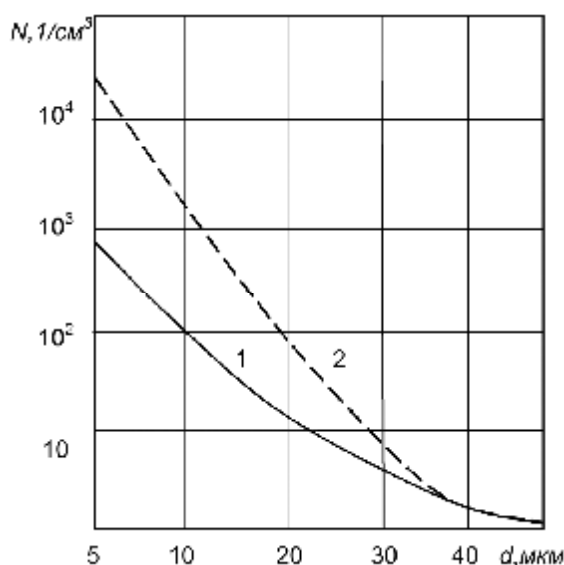


Рис.4. Дисперсный состав частиц износа $N(d)$, генерируемых при нормальном давлении всасывания – кривая 1 и при пониженном давлении всасывания (8 мм.рт.ст.) – кривая 2

К существенному увеличению числа частиц износа в РЖ приводит и нарушение *температурного* режима работы ГС. Так, высокие температуры РЖ ускоряют износ компонентов ГС, повышают утечки жидкости, нарушают гидродинамические режимы смазки, вызывают тепловую блокировку, повышают скорость окисления, а, следовательно, и концентрацию частиц загрязнения – продуктов окисления в РЖ и др.

При низкой температуре вязкость жидкости высока. Поэтому при попытках всасывания (затягивания) жидкости во входное отверстие насоса резко падает статическое давление жидкости, что приводит к возникновению явления кавитации и, как следствие, увеличению числа частиц износа, генерируемых компонентами ГС в РЖ.

Стабильность по *износу* в системе существует до тех пор, пока уровень износа не превышает допустимых значений. Чрезмерное увеличение износа является симптомом

зарождающегося отказа. Оно становится причиной увеличения внутренних утечек в системе и сопровождается повышенным уровнем генерирования частиц износа в РЖ.

Различным видам износа свойственно свое максимальное значение размера частиц $d_{\text{макс}}$, генерируемых в жидкость. На рис. 5 [4] приведены значения $d_{\text{макс}}$ для различных видов износа.

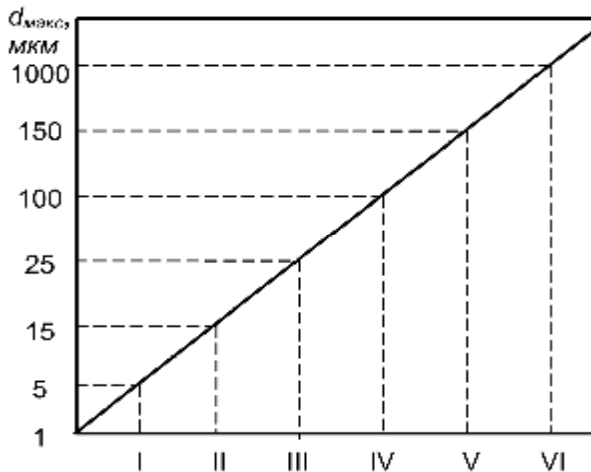


Рис. 5. Зависимость максимального размера частиц износа ($d_{\text{макс}}$), генерируемых в РЖ, от вида износа: I - эластогидродинамический износ; II - контактно-усталостный износ; III - абразивный износ; IV - кавитация; V - адгезия, коррозия; VI - задир

Кроме того, вид износа определяет и форму генерируемых частиц. Поэтому стабильность по износу может быть проконтролирована посредством анализа параметров частиц загрязнения РЖ: их количества, размера, формы и материала.

Таким образом, потеря стабильности большинства из перечисленных выше факторов упреждающего обслуживания ГС приводит к разрушению материала, из которого изготовлены ее компоненты, и, как следствие, к повышению скорости генерации частиц загрязнения в РЖ. Поэтому параметры этих частиц могут служить искомыми диагностическими признаками, своего рода «лакмусовой бумагой», при помощи которой можно выявить нарушения факторов стабильности в работе ГС.

Косвенно это подтверждается тем, что в ряде работ [2-6] на основе анализа условий работы гидравлических устройств степень загрязненности РЖ определена в качестве одного из основных диагностических признаков их технического состояния. Так, для насосов основными диагностическими пара-

метрами названы изменения давления и температуры РЖ, а также степень ее загрязненности; для распределительных и регулирующих устройств – температура окружающей среды и РЖ и, опять же, степень загрязненности жидкости.

Основными параметрами частиц загрязнения являются размер, концентрация, материал, форма, дисперсный (гранулометрический) состав и массовая концентрация (отношение массы загрязнителя к массе РЖ). Они в разной степени отражают состояние факторов упреждающего обслуживания. Однако, учитывая сложность решения задачи определения параметров частиц загрязнения РЖ и отсутствие универсальных датчиков, способных определять значения нескольких параметров, из всех параметров частиц целесообразно выбрать один интегральный признак. Он должен в наибольшей степени отражать состояние факторов стабильности в работе ГС, а его контроль не должен составлять серьезных проблем для обслуживающего персонала. Таким признаком является дисперсный состав частиц загрязнения, высокие диагностические возможности которого отмечаются в ряде работ [2-6]. Неслучайно на основе его анализа согласно ГОСТ 17216-2001 определяется уровень чистоты РЖ.

На практике для оценивания параметров РЖ ГС используют метод анализа по отобранному пробам. Дисперсный состав частиц, содержащихся в пробе жидкости, наиболее часто определяется на основе применения седиментационного и микроскопического методов, а также автоматических счетчиков (серии ФС) и приборов (ПКЖ, АЗЖ) [7,8]. Однако даже использование автоматических счетчиков и приборов, обладающих малой погрешностью измерения, не позволяет преодолеть недостатков, характерных для метода отобранных проб. Прежде всего, это высокая методическая погрешность измерения (30...50%) [6], что обусловлено сложностью обеспечения требуемой степени чистоты пробоотборной посуды, несоблюдением правил отбора пробы и субъективностью проводимого анализа (для неавтоматических методов анализа). Дополнительно увеличивает методическую погрешность и фактор «фильтрующего эффекта» малого зазора в пробоотборном кране, особенно при отборе проб жидкости из магистралей высокого давления. Кроме того, метод

контроля по отобраным пробам не позволяет оперативно получать информацию.

Вместе с тем, для реализации упреждающего подхода к ТО ГС важно получать результаты контроля в реальном масштабе времени. Это позволит повысить эффективность использования диагностической информации, содержащейся в параметрах частиц загрязнения, и предотвратить отказы ГС, обусловленные повышенным уровнем загрязнения РЖ.

Использование метода контроля по отобраным пробам было обусловлено отсутствием датчиков встроенного контроля (ДВК), способных оперативно определять дисперсный состав частиц загрязнения в жестких условиях эксплуатации, свойственных большинству ГС. В настоящий момент такие ДВК разработаны [8]. Они обладают малой погрешностью и могут устанавливаться непосредственно в потоке РЖ ГС. Это определяет целесообразность использования метода встроенного контроля, свободного от недостатков метода отобранных проб, для определения дисперсного состава частиц загрязнения РЖ.

Однако для реализации на практике упреждающего подхода к ТО ГС необходимо изменить не только метод контроля дисперсного состава частиц загрязнения РЖ ГС, но и вид оценки этого параметра.

В настоящее время используется оценка дисперсного состава частиц загрязнения в виде класса чистоты РЖ согласно ГОСТ 17216-2001. При этом каждому классу соответствует определенный диапазон количества частиц в каждой из девяти размерных фракций в 100 мл жидкости. Всего этот стандарт устанавливает 19 классов. Причем каждый последующий класс чистоты получен удвоением числа частиц, соответствующего предыдущему классу, в каждой размерной фракции. Выбор такой методики определения класса чистоты (переход от уровня к уровню посредством геометрической прогрессии с показателем 2) обусловлен, прежде всего, возможностями метода контроля по отобраным пробам (его методической погрешностью).

Для решения задачи упреждающего обслуживания ГС оценка в виде класса чистоты РЖ неприемлема, поскольку она носит

приближенный характер и может скрыть процесс развития отказа. В данном случае предлагается использовать более точную оценку в виде конкретного значения числа частиц в размерных группах, число которых определяется спецификой конкретной решаемой задачи. Это позволит реализовать алгоритмы прогнозирования отказов агрегатов ГС и повышения чувствительности ДВК дисперсного состава частиц, описанные в [9,10].

Таким образом, в настоящий момент сложилась объективная необходимость и появилась техническая возможность перехода от метода контроля уровня чистоты РЖ ГС ВС по отобраным пробам к методу встроенного контроля и изменения методики оценивания дисперсного состава частиц загрязнения РЖ. Это позволит оперативно фиксировать любые, даже незначительные изменения этого параметра, что и необходимо для реализации упреждающего подхода к ТО ГС. Вариант построения встроенной системы контроля дисперсного состава частиц загрязнения РЖ ГС для воздушных судов, который позволяет применить на практике упреждающее ТО, предложен [11].

В случае, когда зафиксировано недопустимое изменение дисперсного состава частиц загрязнения в ГС, возникает необходимость решения обратной задачи - отыскания причины этого изменения, т.е. фактора стабильность которого нарушена, с целью его своевременной коррекции. Решить эту задачу можно путем анализа данных о техническом состоянии ГС, полученных от всех возможных источников как при периодическом, так и оперативном обслуживании ГС ВС: оценки состояния жидкости; уровней внешних и внутренних утечек РЖ в компонентах ГС; значений давления, расхода и температуры РЖ; уровней шума и вибрации; значений скорости вращения насосов и моторов и др. Для обработки этих данных необходимо разработать алгоритмы и модели, учитывающие взаимную зависимость контролируемых параметров и динамику их изменения. Методика синтеза таких алгоритмов и моделей предложена в [9].

Таким образом, эффективным способом повышения надежности ГС может стать реализация на практике упреждающего подхода

к их ТО. Для этого на основе анализа факторов стабильности работы ГС выделен интегральный диагностический признак – дисперсный состав частиц загрязнения РЖ. Однако для реализации метода упреждающего ТО ГС необходимо изменить используемые на практике метод контроля и методику оценивания этого параметра.

Библиографический список

1. Fitch, E.C. Extending Component Service Life Through Proactive Maintenance / E.C. Fitch // An FES/BarDyne Technology Transfer Publication #2. Tribolics, Inc., - 1998.
2. Башта, Т.М. Надежность гидравлических систем воздушных судов / Т.М. Башта [и др.], под ред. Т.М. Башты. - М.: Транспорт, - 1986. – 279 с.
3. Никитин, Г.А. Влияние загрязнения жидкости на надежность работы гидросистем летательных аппаратов / Г.А. Никитин, С.В. Чирков. - М.: Транспорт, 1969. – 184 с.
4. Fitch, E.C. Fluid contamination control // Technology transfer Series #4, Oklahome, FFS, INC. - 1988.
5. Комаров, А.А. Надежность гидравлических устройств самолетов / А.А. Комаров. - М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.
6. Тимиркеев, Р.Г. Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов / Р.Г. Тимиркеев, В.М. Сапожников. - М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.
7. Рыбаков, К.В. Фильтрация авиационных масел и специальных жидкостей / К.В. Рыбаков, В.П. Коваленко. - М.: Транспорт, 1977. – 192 с.
8. Логвинов, Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости / Л.М. Логвинов. - М.: ЦНТИ «Поиск», 1992. - 91 с.
9. Ковалев, М.А. Статистическая модель контроля работоспособности сложных гидравлических систем на основе анализа параметров рабочей жидкости / М.А. Ковалёв // Контроль. Диагностика. - 2008. №6. С. 54-59.
10. Логвинов, Л.М. Математическое моделирование технического состояния трибомеханических узлов гидросистем / Л.М. Логвинов, М.А. Ковалёв // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2007. №2. - С. 25–28.

11. Ковалев, М.А. Встроенная система контроля уровня загрязнения рабочей жидкости гидросистем воздушных судов / М.А. Ковалёв, Л.М. Логвинов, И.И. Хабло // Авиационная промышленность. - 2009. №1. - С. 51-56.

References

1. Fitch E.C. Extending Component Service Life Through Proactive Maintenance. An FES/BarDyne Technology Transfer Publication #2. Tribolics, Inc., 1998.
2. Bashta T.M., Babanskaja V.D., Golovko J.S. Reliability of hydraulic systems of aircrafts. Moscow: "Transport", 1986. – 279p.
3. Nikitin G.A., Chirkov S.V. Influence of contamination of a liquid on reliability of work of hydrosystems of flying devices. Moscow: "Transport", 1969. – 184p.
4. Fitch E.C. Fluid contamination control // Technology transfer Series #4, Oklahome, FFS, INC. 1988.
5. Komarov A.A. Reliability of hydraulic devices of aircrafts. Moscow: "Mashinostroenie", 1976. – 224p.
6. Timirkeev R.G., Sapojnikov V.M. Industrial cleanliness and a thin filtration of working liquids of flying devices. Moscow: "Mashinostroenie", 1986. – 152p.
7. Rybakov K.V., Kovalenko V.P. A filtration of aviation oils and special liquids. Moscow: "Transport", 1977. – 192p.
8. Logvinov L.M. Technical diagnostics of liquid systems of the process equipment on parameters of a working liquid. Moscow: CNTI "Poisk", 1992. – 91p.
9. Kovalev M.A. Statistical model of the control serviceability of difficult hydraulic systems on the basis of the analysis of parameters a working liquid // Kontrol. Diagnostica. 2008. № 6. P. 54-59.
10. Logvinov L.M., Kovalev M.A. Mathematical modeling of a technical condition tribomechanical units of hydrosystems // Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya. 2007. № 2. P. 25-28.
11. Kovalev M.A., Logvinov L.M., Khablo I.I. A built-in system for monitoring contamination level of the operating fluid in aircraft hydraulic systems // Aviatzionnaya promyshlennost. 2009. №1. P. 51 - 56.

PROACTIVE MAINTENANCE OF HYDROSYSTEMS ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF PARAMETERS OF PARTICLES OF CONTAMINATION OF HYDRAULIC FLUID

© 2009 M. A. Kovalev

Samara State Aerospace University

The problem of increase reliability of hydrosystems is considered due to application of proactive maintenance technologies. As an integrated diagnostic attribute of proactive maintenance of hydrosystems the particle size distribution of contamination a hydraulic fluid is used. It is specified on necessity of change a quality monitoring and a technique a rating this parameter.

Reliability of hydraulic systems, proactive maintenance, proactive maintenance factors of hydraulic systems, particle size distribution of contamination of a hydraulic fluid, control of level contamination of operating fluid of hydraulic systems

Информация об авторах

Ковалев Михаил Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, начальник военной кафедры Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. (846) 2674421. E-mail: kovalev@ssau.ru. Область научных интересов: повышение надежности гидросистем воздушных судов, упреждающее обслуживание, диагностические системы технического состояния гидросистем по параметрам частиц износа, датчики встроенного контроля уровня загрязнения рабочей жидкости, тензорный анализ систем.

Kovalev Michael Anatoljevich, the chief of military faculty of Samara State Aerospace University. Phone (8-846) 2674421. E-mail: kovalev@ssau.ru. Area of research: Increase of reliability of hydrosystems of the aircrafts, proactive maintenance, diagnostic systems of a technical condition of hydrosystems on parameters of particles contamination, gauges of the built - in control of a level of contamination of a working liquid, tensor analysis of systems.