

сердечника в миллиметрах эквивалентные  $U_{<U_{изм} T < T_{изм}} > U_{>U_{изм} T < T_{изм}}$  соответственно,  $X_{21}, X_{22}$  – константы значений смещений сердечника в миллиметрах эквивалентные  $U_{<U_{изм} T > T_{изм}} > U_{>U_{изм} T > T_{изм}}$  соответственно.

Таким образом, для достижения заданных показателей точности и стабильности электромагнитного датчика была построена аппроксимационная модель, с помощью которой можно провести линеаризацию позиционной характеристики и обеспечить ее инвариантность к температуре.

#### Список использованных источников

1. Семенов Ю.П. Датчиковая аппаратура в ракетно-космической технике. Приборы и системы управления. № 10. 2004. С 4-7.
2. Леонович Г.И. Оптоэлектронные датчики перемещений для жестких условий эксплуатации. - Самара: СГАУ, 1998. – 256 с.

## СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

М.А. Ковалёв, Г.В. Бородкин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара.

Значительная доля отказов оборудования летательных аппаратов (ЛА) приходится на элементы гидравлических систем (ГС), что объясняется сложными условиями работы ГС, а также большим количеством силовых гидроагрегатов, приводимых в действие ГС ЛА. Отказ одной или нескольких функциональных подсистем ГС ЛА может спровоцировать аварию или катастрофу. В связи с этим повышение надёжности ГС ЛА является актуальной научно-технической задачей.

В настоящее время разработана диагностическая система, которая позволяет прогнозировать состояние и остаточный ресурс, как отдельных гидроагрегатов, так и всей ГС в целом [1]. В этой системе оценивается дисперсный состав частиц загрязнителей рабочей жидкости (РЖ).

Параметры частиц загрязнения РЖ являются одними из наиболее важных диагностических параметров при контроле технического состояния узлов ГС [2,3]. Исследования в области контроля технического состояния ГС показали, что даже в РЖ наиболее совершенных механизмов, какими являются изделия авиационной и космической техники, практически всегда

содержится множество различных по химическому составу и твердости частиц. Появление этих частиц свидетельствует о наличии процесса разрушения какого-либо узла ГС, что в конечном итоге может привести к её отказу. Контролируя параметры этих частиц можно прогнозировать отказы ГС. Кроме того, повышенный уровень загрязненности РЖ вызывает повышенный износ деталей гидропривода, ухудшение его эксплуатационных характеристик и преждевременный выход из строя.

Однако, на работоспособность ГС огромное влияние оказывает также значение вязкости РЖ. Так для обеспечения требуемого уровня смазывающей способности, позволяющего агрегатам ГС функционировать в нормальном режиме, значение вязкости рабочей жидкости не должно быть ниже установленного техническими требованиями уровня. Для контроля значения вязкости РЖ в процессе эксплуатации ЛА используется метод отобранных проб, для которого характерен ряд существенных недостатков [1].

Для поддержания значения вязкости в требуемых пределах в процессе эксплуатации отечественных ЛА предусмотрена периодическая её замена (полная или частичная). Такая замена обычно приурочивается к тяжёлой форме регламента или производится во время ремонта самолёта после отработки межремонтного ресурса (или ресурса до первого ремонта).

Поэтому, расширить диагностические способности известной системы контроля [1] можно, если включить в её состав устройство, позволяющее измерять значение вязкости.

Существуют различные методы измерения вязкости жидкости [4]: капиллярный, вибрационный, ротационный, метод падающего шарика. Анализ [4,5] этих методов показал, что для измерения вязкости жидкостей в разрабатываемой диагностической системе целесообразно использовать капиллярный вискозиметр ПКВ-901 (в дальнейшем ПКВ), разработанный в ОНИЛ – 16 СГАУ.

Прибор контроля вязкости типа ПКВ предназначен для автоматического контроля значения кинематического коэффициента вязкости рабочих жидкостей жидкостных систем при температуре 50°C без отбора пробы жидкости из гидравлического оборудования, в том числе при контроле токсичных жидкостей. Основными достоинствами этого прибора являются возможность измерения вязкости непосредственно в потоке жидкости в режиме реального времени (нет необходимости прибегать к отбору проб), а также его высокая точность (относительная погрешность измерений составляет доли процента).

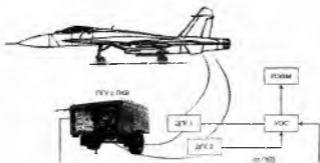


Рис. 1 Система функциональной диагностики ГС ЛА на базе ПГУ с вискозиметром ПКВ

На рис. 1 представлена система функциональной диагностики ГС ЛА на базе подвижной гидравлической установки (ПГУ) с вискозиметром ПКВ в её составе. В этой системе оценивается дисперсный состав частиц загрязнения, вносимых в жидкость функциональными подсистемами ГС, и вязкость РЖ. ПГУ предназначена для периодического наземного обслуживания ГС ЛА. Эта установка представляет собой совокупность различных агрегатов и узлов, смонтированных в специальном кузове, установленном на автомобильном прицепе ТАПЗ-755. Установка имеет две ГС, снабженные насосами, регуляторами давления и расхода, контрольно-измерительными приборами, воздушной системой для поддавливания гидробаков. Во время наземного обслуживания ГС ЛА при помощи диагностической системы периодически определяется значение дисперсного состава частиц загрязнения рабочей жидкости и её вязкость. Таким образом, по результатам нескольких измерений можно контролировать динамику изменения этих параметров. Для контроля дисперсного состава частиц загрязнения используется фотоэлектрический датчик встроенного контроля (ДВК) [6]. Эта система работает следующим образом: сигналы ДВК и ПКВ поступают в устройство обработки сигналов (УОС), где они преобразуются в форму, удобную для их дальнейшей обработки, регистрации и индикации. Преобразованные и оцифрованные сигналы подаются в ПЭВМ, которая реализует алгоритм диагностирования, рассмотренный ниже. По разности показаний двух ДВК, установленных на входе и на выходе ПГУ, можно определить уровень загрязнений, вносимых в РЖ ПГУ или отдельными агрегатами ГС ЛА. Более детально состав устройства обработки сигналов и назначение его элементов рассмотрены в работе [7].

При построении системы функциональной диагностики ГС ЛА необходимо учитывать требования относительно условий ее функционирования. Согласно требованиям эксплуатирующих организаций температура контролируемой жидкости может достигать значения 100°C. Однако фотоэлектри-

ческие ДВК могут эксплуатироваться при температуре жидкости не превышающей 70°C. Поэтому установка таких датчиков непосредственно в основную магистраль ГС невозможна. Для контроля параметров рабочей жидкости ДВК предлагается установить в дополнительный гидравлический контур (ДК) с малым расходом жидкости. Структурная схема подобного контура [8] изображена на рис. 2.

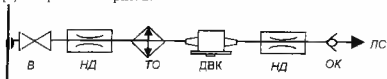


Рис. 2. Структурная схема дополнительного гидравлического контура для установки ДВК

Контур состоит из вентиля (В), двух настраиваемых дросселей (НД), теплообменника (ТО), в качестве которого можно применить радиатор или микрохолодильник с элементами Пельтье, ДВК и обратного клапана (ОК). Вентиль необходим для перекрытия гидравлического контура при снятии ДВК в целях его проверки или замены. НД необходим для снижения расхода жидкости до заданной величины. ТО предназначен для охлаждения жидкости до значения, не превышающего 70°C. Второй дроссель необходим для повышения давления РЖ в месте установки ДВК, что препятствует образованию пузырьков воздуха в анализируемой жидкости. Проанализированная жидкость поступает через ОК в линию слива (ЛС) или в гидробак.

Установка датчиков контроля параметров РЖ на находящиеся в эксплуатации ЛА требует выполнения сложных доработок ГС, на проведение которых необходимо решение на уровне генерального конструктора ЛА. Поэтому вопрос применения бортового варианта системы контроля ГС целесообразно рассматривать лишь при разработке новых образцов авиационной техники.

Для разработки алгоритма диагностирования представленной диагностической системы были использованы обобщенные уравнения [8]. В случае контроля значений двух параметров дисперсного состава частиц износа  $N(t, d)$  и вязкости  $v(t)$  (где  $t$  – время, а  $d$  – диаметр частиц) модель изменения технического состояния ГС ЛА будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} N_d(t + \Delta t, d) = N_d(t, d) + \frac{dN_d(t, d)}{dt} \Delta t, \\ \Delta N_d(t + \Delta t, d) = \Delta N_d(t, d) + \frac{d(\Delta N_d(t, d))}{dt} \Delta t, \\ v_i(t + \Delta t) = v_i(t) + \frac{dv_i(t)}{dt} \Delta t; \end{cases} \quad (1)$$

где  $l=1, \dots, L$  – номер отдельной ГС в составе ГС ЛА,  $L$  – количество отдельных ГС в составе ГС ЛА;  $i$  – номер точки контроля значений  $N(t, d)$  в отдельной ГС (при построении алгоритма (1) было принято, что в каждой отдельной ГС должны быть две точки контроля, то есть  $i=1, 2$ ; тогда по разности показаний датчиков можно оценить дисперсный состав частиц износа, вносимых в рабочую жидкость какими-либо агрегатами ГС);  $\Delta t$  – интервал времени между измерением значений параметров  $N(t, d)$  и  $v(t)$ ;

$$\Delta N_i(t, d) = N_{1i}(t, d) - N_{2i}(t, d).$$

Система уравнений (1) позволяет прогнозировать значения дисперсного состава частиц загрязнения РЖ и её вязкости на интервале времени  $\Delta t$ . Для вывода уравнений использовался математический аппарат рядов Фурье.

На основе модели (1) можно построить [8] модель принятия решения о техническом состоянии ГС:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{ij}(t, d) < N_{ij}(d)_{np}; \\ \Delta N_i(t, d) < \Delta N_i(d)_{np}; \\ \frac{dN_{ij}(t, d)}{dt} < N'_{ij}(d)_{np}; \\ \frac{d(\Delta N_i(t, d))}{dt} < \Delta N'_i(d)_{np}; \\ v_i(t) \geq v_{i, np}; \\ \frac{dv_i(t)}{dt} \geq v'_{i, np}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Здесь  $N_{ij}(d)_{np}$ ,  $N'_{ij}(d)_{np}$  и  $v_{i, np}$ ,  $v'_{i, np}$  – предельно допустимые значения параметров  $N_{ij}(t, d)$ ,  $v_i(t)$ , а также скоростей их изменения;  $\Delta N_i(d)_{np}$ ,  $\Delta N'_i(d)_{np}$  – аналогичные величины для параметра  $\Delta N$ .

Систему уравнений (2) можно назвать моделью контроля стабильности в работе ГС ЛА. Критерий принятия решения относительно технического состояния ГС, согласно которому она является работоспособной, это стабильность износа во всех её контролируемых функциональных подсистемах и поддержание значения вязкости в требуемых пределах в процессе эксплуатации. Таким образом, работа ГС стабильна, если выполняются все условия, составляющие систему уравнений (2). Допуски определяются на основе значений, рассчитанных при помощи диагностических моделей ГС ЛА или определённых при помощи специальных испытательных процедур, методика построения и проведения которых описана в ряде работ, например [9].

Таким образом, в данной статье описана система диагностирования ГС ЛА и приведён алгоритм определения технического состояния ГС ЛА на

основе мониторинга двух параметров: дисперсного состава частиц загрязнения и уровня вязкости РЖ. Такая система позволяет определить возможность дальнейшей эксплуатации ГС ЛА и необходимость выполнения каких-либо ремонтных работ. Применение на практике данной диагностической системы позволит перейти к техническому обслуживанию ГС ЛА по состоянию, что существенно снизит затраты на эксплуатацию и уменьшит число отказов агрегатов и узлов ГС ЛА.

Следует отметить, что количество контролируемых параметров РЖ ГС может быть увеличено. Это позволит расширить диагностические возможности системы контроля технического состояния ГС ЛА. Количество и наименование анализируемых величин определяются исходя из возможностей исследователей по наблюдению их значений и задач, решаемых при диагностировании конкретной ГС.

#### Список использованных источников.

1. М.А. Ковалев, Л.М. Логвинов, И.И. Хабло. Встроенная система контроля уровня загрязнения рабочей жидкости гидросистем воздушных судов / *Авиационная промышленность*. - М., НИАТ. - 2009. - №1. - С.51-56.
2. Ковалев, М.А. Упреждающее обслуживание гидросистем воздушных судов / М.А. Ковалев // *Полет*. - М., Машиностроение. - 2009. - № 5. - С. 38-42.
3. Ковалев, М.А. Упреждающее обслуживание гидросистем на основе анализа параметров частиц загрязнения рабочей жидкости / М.А. Ковалев // *Вестник Самарск. гос. аэрокосм. ун-та*. 2009. - № 3 (19). - Ч.1. - С. 89-96.
4. П. Профос. Измерения в промышленности. Способы измерения и аппаратура, книга №2 (Измерения в промышленности: Справ, изд в 3-х кв. Кн.2. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. - *Металлургия*, 1990).
5. Малкин А. Я., Чалых А. Е. Диффузия и вязкость полимеров. Методы измерения. — М.: Химия, 1979. — 304 с.
6. Логвинов, Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости [Текст]: / Л.М. Логвинов. - М.: ЦНТИ "Поиск", 1992. - 91с
7. Ковалев, М.А. Микропроцессорное устройство для систем аппроксимативного анализа параметров рабочей жидкости гидросистем / Л.М. Логвинов. М.А. Ковалев // *Ремонт, восстановление, модернизация*. М., Наука и Технологии. 2007. - № 4. - С. 43-46.
8. М.А. Ковалёв. Математическое обеспечение метода контроля технического состояния гидросистем воздушных судов по параметрам рабочей жидкости / *Известия СНЦ РАН*. - Самара, СНЦ РАН. - 2008. - Том 10. №3 (25). - С. 858-864.
9. Fitch E.C. Fluid contamination control // *Technology transfer Series #4*, Oklahome, FFS, INC. 1988. - 433p.