

УДК 629.7.08

Гареев А.М., Гульбис А.А., Гареев Т.М.

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРЕЖДАЮЩЕГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Одной из основных проблем, стоящих сегодня перед российскими эксплуатационниками авиационной техники, является повышение эффективности использования воздушных судов (ВС) в условиях современного развития гражданской авиации, которое характеризуется высокой себестоимостью авиаперевозок и высокими требованиями к безопасности полётов. Всё возрастающие требования к безопасности и регулярности полётов ВС приводят к усложнению бортовых комплексов оборудования (БКО), в частности, одной из жизненно важных его частей – гидравлических систем (ГС). В результате этого растёт и трудоёмкость технического обслуживания (ТО) ГС. Решение данной проблемы возможно за счёт совершенствования системы технического обслуживания (СТО).

Одним из перспективных совершенствования СТО ВС является внедрение технологий упреждающего обслуживания, основанных на сборе и обработке информации о текущем техническом состоянии и позволяющих предупредить опасную деградацию системы.

Упреждающее обслуживание — это деятельность по своевременному выявлению и устранению первоначальных симптомов отказа. Оно основано на отслеживании тенденции деградации работы БКО с целью получения функциональных симптомов, возникающих на ранних стадиях предотказного состояния.

Для того, чтобы упреждающее обслуживание было эффективным, необходимо иметь соответствующие методы, средства диагностирования и контроля состояния бортовых систем и технологии их реализации, позволяющие получать необходимую информацию в «реальном» масштабе времени. Это и касается ГС, которая питает энергией и в значительной степени определяет надёжность функционирования всех жизненно важных функциональных систем и подсистем ВС, таких как блоки питания ГС, управления самолётом, механизации и изменения геометрии крыла, уборки и выпуска шасси, торможения колёс, поворота передней опоры самолёта.

В статье представлена модель системы диагностического контроля БКО ВС, которая характеризует состояние ГС в процессе эксплуатации по параметрам рабочей

жидкости (РЖ). Предложенный подход основан на дедукции по результатам наблюдений за уровнем загрязнённости РЖ посредством датчиков встроенного контроля (ДВК).

Пусть дана некоторая система ТО, представляющая собой сеть в виде динамической структуры, включающей в себя персонал инженерно-авиационной службы (ИАС), БКО ВС, аппаратные и программно-аппаратные измерительные системы и взаимодействия. В течение периода эксплуатации ВС СТО в результате реализации измерительных функций получает из реальной среды (среда ГС) сенсорные сигналы в виде измеренных параметров ГС, обработка которых позволяет построить некоторый вектор, определяющий состояние РЖ в виде образа. Предполагается, что идеальная структура образа состояния РЖ, с которой имеет дело специалист ($p \in P$), входящий в состав СТО и принимающий решение, известна. По мере течения времени в процессе эксплуатации специалист p , используя аппаратные и программно-аппаратные средства и сложное взаимодействие, входящие в сеть СТО, выявляет реальный образ состояния РЖ.

Прежде чем приступить к описанию указанной сети, введём ряд начальных допущений в аксиоматической постановке [1]. Наиболее важными аксиомами будут те, которые характеризуют среду, порождающую сенсорные входные сигналы. Последние будут предполагаться существенно структурированными в рамках теории образов [2], обладающими регулярной структурой. Основное внимание будет сосредоточено на общих принципах вывода о состоянии РЖ в некоторой структурированной среде, представляющей систему ТО.

Допущение о высокой структурированности среды ξ , включающей специалиста ($p \in P$), относится к числу основополагающих. Среду ξ условно можно представить в виде «микро- и макромира», с которыми контактирует специалист p . Регулярность «макромира» заключается в том, современная ГС является регулярной структурой в виде физических объектов (насосы, фильтры, гидравлические аккумуляторы, баки, обратные клапана, теплообменники, подпорные клапана), в совокупности представляющих собой «мёртвую» сеть, расположение и назначение которых однозначно определяется структурно-функциональной схемой. «Микромир» среды будет состоять из «параметрических единиц» РЖ, принадлежащих «живому» пространству ГС и представляющих собой образующие g . Таким образом, все элементы среды ξ имеют постоянные связи и подчиняются определённым законам функционирования. Согласно [2], образующей g соответствует вектор признаков $a(g)$, принимающий значения в некотором пр

пространстве признаков v . Параметры РЖ (образующие g «микромира») можно классифицировать по ряду признаков [3] на:

- образующие загрязнения жидкости механическими частицами;
- образующие внутренних и внешних утечек жидкости;
- образующие кислотности жидкости;
- образующие температуры жидкости;
- образующие вязкости жидкости и др.

Согласно имеющимся исследованиям, наиболее информативным из перечисленных типов образующих является образующая загрязнённости рабочей жидкости.

Функция признаков $a(g)$ называется полной, если она разделяет образующие. Другими словами, если для двух образующих g и g' выполняется равенство $a(g) = a(g')$, то отсюда следует равенство $g = g'$. В рассматриваемом случае функция признаков будет полной, и поэтому можно идентифицировать образующие с помощью их векторов признаков. Это означает, что арность $\omega(g)$ наряду с показателями связи и индексами класса образующих можно рассматривать как функции от вектора признаков.

Тип признака может иметь различные физические интерпретации [4]. В рассматриваемом случае будет иметь место объёмный тип, указывающий множество, покрываемое g со стандартными расположением и ориентацией.

Введём ряд аксиом для оценки состояния рассматриваемой среды.

Аксиома 1. Полное пространство признаков среды ξ с БКО ГС, в которой действует p , представляет собой прямое произведение

$$A = A^1 \times A^2 \times A^3 \dots \quad (1)$$

пространств признаков A^i . каждое из которых состоит из конечномерных подвекторов ($A^i, i = 1, 2, \dots$), где A^i — измеримое множество состояний РЖ.

Для представления инвариантностей и постоянных взаимосвязей, существующих в БКО ГС, в котором действует p , введём отображения $G \rightarrow G$ — преобразования подобия. Они отражают то обстоятельство, что и системы БКО, и их комбинации существуют независимо от систем координат, используемых в пространствах признаков. В данном случае координаты представляют собой не просто некоторые координаты в опорном пространстве $X = R^3$, т. е. физическом пространстве, но также и системы отсчёта, используемые для представления.

Будем считать преобразования подобия S группой переносов в R^3 или соответствующей подгруппой. Заметит, что можно вводить и преобразования других видов,

например перемещения (или некоторую их подгруппу) или равномерные изменения масштаба (или некоторую их подгруппу). Если время присутствует в структуре образа в явном виде, то преобразования подобия могут его включать, что позволяет организовать процесс измерений состояния РЖ.

При этом потребуем, чтобы преобразования подобия S удовлетворяли следующей аксиоме.

Аксиома 2. Группа преобразований подобия S является конечной, сохраняет инвариантность индекса класса образующих $a(g)$:

$$a(sg) = a(g), \quad \forall s \text{ и } g \quad (1)$$

и отображает каждое A^v в A^v .

Третья аксиома характеризует среду ξ ГС и её составляющие.

Аксиома 3. Рассмотрим все регулярные конфигурации $c_i = \{g_i, g_i^2, \dots, g_i^n\}$. Под потенциальной средой ξ будем понимать среду, состоящую исключительно из этих конфигураций, построенных на основании множества регулярных правил $b(R)$

$$\xi = b(R) = \bigcup_{n=1}^{\infty} b(R). \quad (2)$$

Среда для p не определяет целиком регулярность R . Эти правила лишь ограничивают возможные конфигурации множеством $b(R)$, но не говорят о том, какова вероятность появления в процессе эксплуатации той или иной конфигурации. Для уточнения этой ситуации требуется некоторая мера Q в пространстве конфигураций, позволяющая судить о них и об их состоянии относительно регулярных. Следующая аксиома вводит Q .

Аксиома 4. Статистическая среда для P задаётся как

$$\xi = (b(R), Q), \quad (3)$$

где Q – некоторая вероятностная мера, заданная на множестве $b(R)$ допустимых конфигураций

Вид распределения вероятностной меры Q на множестве $b(R)$ определяет то, как p будет изучать среду ξ . Поскольку p будет встречать только те конфигурации, которые принадлежат носителю Q , то естественно ввести опыт p ($exp(p)$):

$$exp(p) - \text{носитель } Q \subseteq b(R)$$

Будем считать, что с течением времени регулярность R не изменяется. Это означает, что потенциальная среда $\xi = b(R)$ не обнаруживает никаких тенденций, свойственных длительным периодам у временных рядов.

Если p встречается с различными конфигурациями, то Q определяет частоту по

явления возможных конфигураций. Последовательные конфигурации можно рассматривать как некоторый случайный процесс $c(t)$, принимающий значения из $b(R)$ и характеризующийся кусочно-постоянными реализациями. Значения $c(t)$ тождественно независимо распределены в соответствии с Q при фиксированных значениях t , принадлежащих различным интервалам, на каждом из которых $c(t)$ постоянен. Q является безусловным (одномерным) распределением. Вес, присвоенный некоторому определенному $c \in b(R)$, будет тогда зависеть от того, сколь долго он может оставаться постоянным в процессе изучения.

Если некоторая конфигурация $c = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ остается фиксированной в течение некоторого промежутка времени $(t, t + \Delta t)$, то она представляет статическую среду, а если отрезок Δt мал, то краткосрочную. Подобные конфигурации будут следовать одна за другой.

Аксиома 5. Функция конфигурации $c(t)$ является кусочно-постоянной на временных интервалах переменной длины Δt .

Наблюдательные возможности p будут выражены через отношение идентификации R .

Аксиома 6. Две регулярные конфигурации c и c' , принадлежащие $b(R)$, идентифицируются по модулю R , если $\#(c) = \#(c')$, когда существует нумерация их соответствующих образующих такая, что $g_i = g'_i$, $i = 1, 2, \dots, \#(c)$, и когда их внешние связи одинаковы при использовании одинаковой нумерации.

Тогда $b(R)/R$ образует алгебру изображений [2] и можно сформировать образы, которые p наблюдает в идеальных условиях.

Далее, согласно разработанной модели оценки состояния РЖ, введём ряд высказываний относительно ξ , которые будут строиться на основе последовательного использования комбинаций признаков. Высказываниями C , определяемыми с помощью измеримого множества a^ν , будем называть всякую дизъюнкцию \forall признаков

$$C = C(g) = \bigvee_{(v,i) \in F} a^\nu(g), \quad (5)$$

где F – некоторое множество пар (v, i) . Поэтому дизъюнкцию высказываний о состоянии РЖ ГС можно выразить следующим образом: исходя из модели изменения состояний РЖ, определяемых измерительными множествами a^ν жидкость может находиться или в «первоначальном» (соответствующем 2-4 классам чистоты РЖ) x_0 , или в «нормальном» (5-8 класс чистоты РЖ) x_1 , или в «предотказном» (9-11 класс чистоты РЖ)

x , состояниях, или в состоянии (12 и выше класс чистоты РЖ) x_1 , вызывающем от ГС. Эти высказывания являются однородными в том отношении, что в них используются признаки только одного типа.

Обратимся к конфигурации $c = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$, $c \in b(R)$, регулярной в смысле Вектор её признака, согласно аксиоме 1, состоит из подвекторов $a(g_n)$. Вектор $a(g_n)$ будет представлен в виде сенсорного вектора $u(g_n)$, элементы которого принадлежат пространству U – сенсорному пространству [2, 4]. Будем считать, что признаки каждого типа обрабатываются независимо с помощью процедуры, изображённой на рис. 1, который даёт полное представление о типе архитектуры системы диагностического управления состоянием объекта технического обслуживания специалистами $p \in \mathcal{P}$ включающей аппаратуру и программно-аппаратное обеспечение.

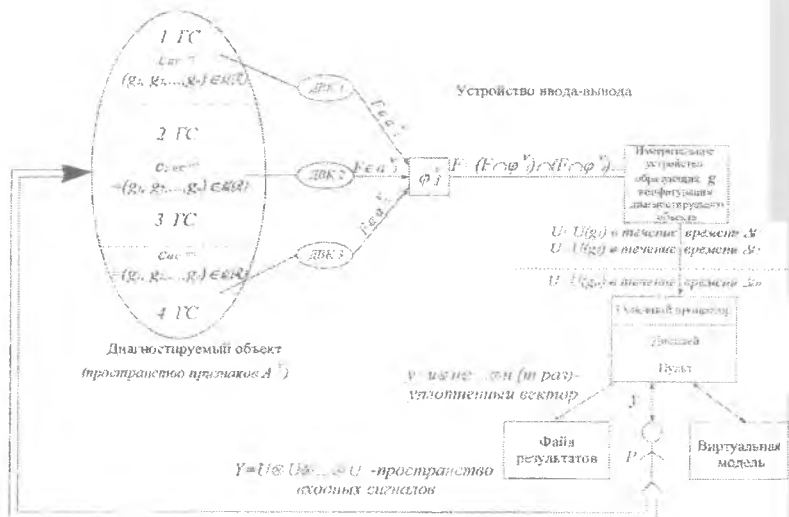


Рис. 1. Архитектурная схема диагностирования РЖ ГС самолёта Ан-124-100

Диагностируемый при обслуживании объект в соответствии с аксиомой 1 может быть представлен как некоторая среда признаков, характеризующих этот объект представляющий собой прямое произведение пространств признаков A^v (где v – суммарная интенсивность генерации частиц загрязнений элементами ГС λ_{nc}). Для признака типа v задана алгебра множеств a^v , которая показывает полноту информации, содержащуюся в сенсором входном сигнале Y .

Признаки $a^v(g)$ поступают в аналогово-цифровой преобразователь от датчиков встроенного контроля, расположенных в расходных баках ГС. Далее сигнал попадает в объединение признаков φ_j^v , принадлежащих алгебре множеств a^v , а затем передается в виде сенсорных подвекторов и ξ^v , которые уплотняются кратностью 2 и поступают в сеть (основной процессор) N . Контролируемые параметры (концентрация загрязнения) диагностируемого объекта (рабочая жидкость ГС) преобразуются с помощью первичных преобразователей (датчиков встроенного контроля) в электрический сигнал, который после усиления и формирования поступает в электронный блок на обработку, а затем используется в качестве управляющего в замкнутой автоматической системе регулирования и управления. Было установлено, что самым чувствительным при диагностировании концентрации загрязнения РЖ на ВС в реальном масштабе времени является фотоэлектрический метод с применением фотоэлектрического датчика встроенного контроля механических примесей в жидкости.

Информация о счётной концентрации механических примесей по размерным группам и дисперсном составе частиц механических примесей формируется в ДВК и поступает в устройство ввода-вывода в виде случайной последовательности колоколообразных импульсов, амплитуда Ω которых связана квадратичной зависимостью с размером (диаметром) частиц d :

$$\Omega = k d^2, \quad (6)$$

где k – коэффициент градуировки датчика.

Устройство ввода-вывода осуществляет анализ сформированной последовательности импульсов и выдачу результатов в цифровом или аналоговом виде на жидкокристаллическом дисплее, результаты измерения параметров частиц предъявляются наблюдателю-специалисту p . Кроме того, осуществляется запись результатов в файл.

Для признака каждого типа v на A^v будет задана некоторая алгебра множеств a^v , индуцирующая на A алгебру-произведение:

$$a = a^1 \times a^2 \times a^3 \dots \quad (7)$$

Алгебра множеств имеет следующую интерпретацию: она показывает, насколько подробно информация, содержащаяся в сенсорном входном сигнале. Если он очень информативен, т. е. p располагает мощной аппаратурой, то алгебра множеств является точной в техническом смысле слова, и наоборот.

Среди множеств, принадлежащих алгебре a^v , выделим непустые множества, не содержащие собственных подмножеств. Естественно, что число подобных множеств

конечно.

Обозначим их через $\varphi_1^*, \varphi_2^*, \varphi_3^*, \dots$. Согласно [4], множества φ_j^* не пересекаются, покрывают алгебру a^* в том смысле, что всякое множество $F \in a^*$ можно представить как объединение множеств φ_j^* .

В [4] доказано, что множества φ_j^* стягивают a^* . Действительно, множество A^* в целом представляет собой объединение всех множеств φ_j^* , поскольку в противном случае

$$k = A^* \cap (\varphi_1^* \cup \varphi_2^* \cup \varphi_3^* \dots)^c \neq \emptyset.$$

Однако, a^* -измеримое множество k не может не допускать разбиения на меньшие a^* -измеримые множества, так как в этом случае оно оказалось бы равным некоторому множеству φ_j^* , что противоречит (8). С другой стороны, его нельзя представить в виде объединения $\varphi_1^* \cup \varphi_2^* \cup \varphi_3^* \dots$, поскольку в этом случае

$$k = \varphi_1^* \cup \varphi_2^* \cup (\cap (\varphi_j^*)^c \cap (\varphi_j^*)^c \dots) = \emptyset.$$

Следовательно, $k = \emptyset$, и поэтому

$$A^* = \varphi_1^* \cup \varphi_2^* \cup \dots \quad (1)$$

Тогда для любого a^* -измеримого множества F , принадлежащего A^* , получаем

$$F = (A^* \cap F) = (F \cap \varphi_1^*) \cup (F \cap \varphi_2^*) \cup \dots \quad (1)$$

В правой части выражения (11) имеет место либо $\varphi_j^* \subseteq F$, либо $\varphi_j^* \cap F = \emptyset$, поскольку множества φ_j^* не поддаются разбиению. Это означает, что члены, входящие в объединение, либо равны некоторому множеству φ_j^* , либо представляют собой пустое множество.

Сенсорный вектор для конкретной образующей $u = u(g)$, описанный выше, действует на сеть N системы диагностического управления состоянием ГС в течение определённого периода времени. Сначала g_1 представляется в виде $u(g_1)$ и подаётся течение некоторого времени на сеть N , затем g_2 представляется в виде $u(g_2)$ и подаётся на N и т. д. В дополнение к данному алгоритму будем допускать некоторое сканирование конфигурации, когда p пытается оценить состояние конфигурации как единое целое.

Это означает, что конфигурация, у которой $n > 1$, предстаёт перед p , как нечто наподобие набора интенсивности генерации частиц загрязнения. Вектор u как функция

времени будет в таком случае некоторой периодической функцией, например с периодом Δt :

$$u = u(g_1) \text{ в течение времени } \Delta t_1,$$

$$u = u(g_2) \text{ в течение времени } \Delta t_2,$$

.....

$$u = u(g_n) \text{ в течение времени } \Delta t_n,$$

$$t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n,$$

а затем следуют периодические повторения. Скорость сканирования по конфигурации C ограничена лишь заданным промежутком времени, которое определяется стратегией получения информации о состоянии ГС. Когда p оценивает состояние образующих g_n , входящих в конфигурацию, каждая из них обрабатывается независимо от остальных. Во всех представлениях $u(g_1), u(g_2), \dots$ будет использоваться одно значение u_0 , т. е. для конфигурации в целом кодирование когерентно. Это означает, что, хотя для образующих, входящих в одну и ту же конфигурацию, кодирование когерентно, оно становится некогерентным для конфигураций, сменяющих друг друга по мере течения времени.

Согласно теории, изложенной в [4], период измерений не обладает мощностью, достаточной для передачи всей информации, необходимой p для изучения ξ . Поскольку линейность предполагает наложение входных сигналов и исключает результаты взаимного влияния различных сенсорных координат, откажемся на время от u_0 , положив $u_0 = 1$. Таким образом, решим данную проблему при помощи уплотнения (мультиплексирования) сенсорного вектора и введения входного поля у сети. Для этого потребуются следующая аксиома.

Аксиома 7. Для заданного сенсорного вектора $u = u(g)$ сформируем уплотнённый вариант (порядок уплотнения, или кратность m)

$$y = u \otimes u \otimes \dots \otimes u \quad (m \text{ раз}),$$

где u принимает значения в пространстве входных сигналов

$$Y = U \otimes U \otimes \dots \otimes U.$$

Оператор уплотнения \otimes имеет следующий смысл. Если задан некоторый вектор $v = (v_i)$, то его уплотнённым с кратностью m вариантом является m -мерный массив с элементами $v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_m}$ – результат перемножения компонент. Кратность m не столь велика, как исходные размерности U и U^* .

В качестве обобщения этого случая, можно рассмотреть ситуацию, когда кратность изменяется в системе от 1 до некоторого максимума. Если, в частности, инфор-

мационный носитель системы обладает высокой избыточностью, то целесообразно уплотнять лишь некоторую часть каждого сенсорного подпространства.

Выбор технологий National Instruments как средства для реализации данной работы был обусловлен простотой и эффективностью её использования посредством программной среды LabVIEW. В качестве ДВК был выбран фотоэлектрический датчик типа «ФОТОН» (рис. 2), разработанный в лаборатории ОНИЛ-16 «Радиоэлектронные методы и устройства диагностики систем летательных аппаратов» СГАУ под руководством профессора Логвинова Л.М. [5]. В качестве устройства ввода-вывода была выбрана платформа «CompactDAQ» (рис. 3), обеспечивающая гибкое законченное аппаратное решение для разработки различных систем сбора и управления сигналами по шине USB на базе программного комплекса LabVIEW.

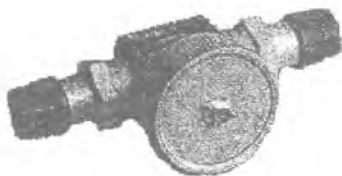


Рис. 2. ДВК типа «ФОТОН»

Таким образом, разработанная модель диагностики и оценки чистоты РЖ была успешно реализована и исследована в лабораторных условиях с помощью средств современных технологий National Instruments на базе авиационной компании «Волга Днепр» (г. Ульяновск).

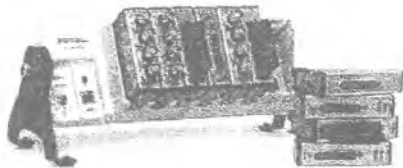


Рис. 3. Система «CompactDAQ»

В результате была достигнута возможность обеспечения мониторинга процесса деградации работы агрегатов ГС с течением времени и предупреждения возникновения их отказов посредством выявления функциональных симптомов, возникающих на ранних стадиях отказа.

Библиографический список

1. Столл, Р.Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории [Текст]/ Роберт Р. Столл – М.: «Просвещение», 1968. – 232 с.
2. Гренандер, У. Лекции по теории образов: Том 1. Синтез образов [Текст]/ У. Гренандер. – М.: издательство «Мир», 1979. – 382 с.
3. Fitch, E.C. Fluid Contamination Control //Technology transfer Series #4, Oklahome, FFS, INC. 1988. – 433 p
4. Гренандер, У. Лекции по теории образов: Том 2. Анализ образов [Текст]/ У. Гренандер. – М.: издательство «Мир», 1981. – 447 с.
5. Логвинов, Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем техно-логического оборудования по параметрам рабочей жидкости [Текст]/ Л.М. Логвинов. – М.: ЦНТИ «Поиск», 1992. – 91 с.