

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО СУДНА

© 2017

А. Н. Коптев доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники;
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва;
eat@ssau.ru

А. М. Гареев кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники;
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва;
gareevalbert@mail.ru

И. А. Попельнюк аспирант;
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва;
osni204@yandex.ru

Статья посвящена разработке теоретико-множественной модели состояния рабочей жидкости гидравлической системы воздушного судна с использованием математического аппарата теории множеств. Актуальность работы связана с необходимостью разработки универсальной математической модели состояния рабочей жидкости, которая будет положена в интеллектуальную систему контроля состояния рабочей жидкости на борту воздушного судна. В результате получено общее выражение, позволяющее описать состояние рабочей жидкости в произвольный момент времени с использованием её основных параметров, а именно загрязнённости, вязкости, плотности химических и температурных свойств. Построена иерархия параметров состояния рабочей жидкости с учётом диагностической ценности информации, полученной при их измерении. Среди множества всевозможных состояний рабочей жидкости выделены основные классы состояний: идеальное, нормальное, предотказное и отказ. Каждое из них описано множеством конфигураций всевозможных значений основных параметров. Предложена методика оптимизации времени проверок технического состояния, основанная на расчёте изменения энтропии рабочей жидкости.

Воздушное судно; гидравлическая система; контроль технического состояния; рабочая жидкость; математическая модель; энтропия; теория множеств; теория распознавания образов.

Цитирование: Коптев А.Н., Гареев А.М., Попельнюк И.А. Теоретико-множественная модель состояния рабочей жидкости гидравлической системы воздушного судна // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 3. С. 65-75. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-65-75

Введение

В настоящее время гидравлические системы получили широкое распространение в различных областях техники, в т.ч. и авиационной. Анализ путей развития систем воздушных судов показывает, что в ближайшем будущем гидравлические агрегаты по-прежнему будут активно использоваться в системах управления, уборки выпуска механизации, уборки выпуска шасси, т.е. решать крайне важные задачи, непосредственно связанные с обеспечением безопасности полётов. Конструкция агрегатов постоянно усложняется, а сами гидравлические системы становятся всё более нелинейными и многокомпонентными. В этих условиях задача обеспечения высокой надёжности гидравлических систем остаётся актуальной.

Один из возможных путей решения данной задачи связан с совершенствованием технологических процессов контроля технического состояния (ТС) наиболее важных ответственных элементов гидросистем, в частности – рабочей жидкости (РЖ). Достичь этого возможно путём внедрения универсальных средств контроля, диагностики и испытаний, базирующихся на современных цифровых технологиях, позволяющих быстро и точно определять техническое состояние компонентов системы и производить адекватное управляющее воздействие. Однако разработка подобных средств невозможна без наличия универсальной математической модели состояния РЖ, которая будет учитывать все её основные параметры и описывать динамику их изменения во времени.

Постановка задачи

Рассматривая гидравлическую систему как среду, внутри неё возможно выделить ряд объектов, в т.ч. и РЖ, которая является «надструктурным» элементом этой системы. При этом в рамках решения задачи повышения надёжности и безотказности гидравлических систем целесообразно рассматривать не саму РЖ как физический объект, а её состояние как компонент системы.

Понятие состояния вводится как способ параметризации множества пар вход - выход, обеспечивающий однозначную зависимость выходного сигнала от входного сигнала и состояния объекта. Стоит отметить, что любой характеристике вход - выход может соответствовать несколько (бесконечно много) характеристик вход - выход - состояние, которые хотя и отличаются по форме, но по существу оказываются эквивалентными [1].

Состояние РЖ представляет собой систему, которая в любой момент времени характеризуется:

- 1) конкретными значениями элементов системы в момент времени t (*параметры состояния*);
- 2) возможными комбинациями их соединений (*структура состояния*).

Например, если все параметры состояния, кроме температурных свойств, находятся в пределах нормы, то нельзя говорить о том, что жидкость непригодна. Однако если количество механических примесей выходит за рамки допуска, то несмотря на значения остальных параметров жидкость необходимо заменить.

Таким образом, если рассматривать состояние РЖ как цельный объект (систему), то внутри него можно выделить бесконечное множество возможных состояний в конкретный момент времени t (подсостояния), т.е. «объекты в объекте» или подсистемы. Элементами таких подсистем будут являться основные параметры РЖ.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что при разработке универсальной модели состояния РЖ целесообразно опираться на математический аппарат теории образов [2]. При этом основные параметры РЖ (загрязнённость, вязкость, плотность, химические и температурные свойства) [3] будут являться производными объектами – образующими, различные комбинации их соединения – конфигурациями и изображениями, а синтез этих конфигураций – непосредственно образами состояния.

Ставится задача получить математическое представление произвольного подсостояния в произвольный момент времени t , построенного на базе образующих, т.е. фактически описать изображения состояния РЖ. Для решения данной задачи удобно использовать математический аппарат теории множеств [4].

Метод решения

Множество – любое целое собрание определённых и различных между собой объектов нашей интуиции или интеллекта, мыслимых как единое целое. Эти объекты называются элементами или членами множества S . Существенным пунктом теории множеств является то, что собрание предметов само рассматривается как один предмет [4].

Поэтому допустим, что состояние РЖ есть множество, элементами которого являются следующие основные параметры:

1. Загрязнённость, в т.ч. содержание воды (N).
2. Вязкость (B).
3. Плотность (P).
4. Химические свойства (K).
5. Температурные свойства (C).

Параметр загрязнённости (N) представляет собой произведение множеств значений концентрации частиц различных размерных фракций. Согласно ГОСТ 17216-1971 [5] используется разделение частиц на 8 групп в зависимости от их размеров и отдельно учитывается содержание волокон.

Для упрощения выражения введём следующие обозначения:

- 1 – количество частиц размерами от 0,5 до 1 мкм;
- 2 – количество частиц размерами от 1 до 2 мкм;
- 3 – количество частиц размерами от 2 до 5 мкм;
- 4 – количество частиц размерами от 5 до 10 мкм;
- 5 – количество частиц размерами от 10 до 25 мкм;
- 6 – количество частиц размерами от 25 до 50 мкм;
- 7 – количество частиц размерами от 50 до 100 мкм;
- 8 – количество частиц размерами от 100 до 200 мкм;
- 9 – количество волокон.

Параметр загрязнённости можно записать в виде:

$$N = N^1 \cap N^2 \cap N^3 \cap N^4 \cap N^5 \cap N^6 \cap N^7 \cap N^8 \cap N^9. \quad (1)$$

В свою очередь множества $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9$ включают в себя всевозможные значения концентраций частиц определённого размера:

$$\begin{aligned} n_1^1, n_2^1, n_3^1, \dots, n_t^1 &\in N^1; \\ n_1^2, n_2^2, n_3^2, \dots, n_t^2 &\in N^2; \\ &\dots \\ n_1^9, n_2^9, n_3^9, \dots, n_t^9 &\in N^9. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, на основании (1) и (2) концентрация механических примесей в произвольный момент времени t описывается выражением:

$$N_t = n_t^1 \cap n_t^2 \cap n_t^3 \cap n_t^4 \cap n_t^5 \cap n_t^6 \cap n_t^7 \cap n_t^8 \cap n_t^9.$$

Известно, что наиболее опасное влияние оказывают частицы, соизмеримые с размером зазоров в прецизионных парах, т.е. N^5 . В дальнейшем при описании состояния РЖ будем использовать именно это множество.

Параметр вязкости (В) есть множество $b_1, b_2, b_3, \dots, b_t \in B$. Соответственно в любой момент времени t вязкость описывается её значением b_t . Параметры плотности, химических и температурных свойств также представляют собой множества и описываются аналогично вязкости: p_t, k_t, c_t соответственно. Стоит отметить, что в рамках задачи определения технического состояния РЖ стоит рассматривать не все химические свойства, а главным образом кислотность, а из всех температурных свойств – температуру вспышки.

Множества N, B, P, K, C являются ограниченными, поскольку они описывают физические параметры жидкости, которые априори имеют конечные значения. Однако в рамках решения поставленной задачи из всех возможных верхних и нижних границ множества того или иного параметра интересуют минимальные по модулю их значения. Они называются точной верхней и точной нижней границами множества, обозначаются \sup и \inf соответственно и выбираются для каждой конкретной марки РЖ с точки зрения обеспечения максимальной информативности.

Поэтому (1) можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} \{n_t \mid \inf N \leq n_t \leq \sup N\} &\in N; \\ \{b_t \mid \inf B \leq b_t \leq \sup B\} &\in B; \\ \{p_t \mid \inf P \leq p_t \leq \sup P\} &\in P; \\ \{k_t \mid \inf K \leq k_t \leq \sup K\} &\in K; \\ \{c_t \mid \inf C \leq c_t \leq \sup C\} &\in C. \end{aligned}$$

В свою очередь, множества значений параметров загрязнённости, вязкости, плотности, кислотности, температуры вспышки включены в множество всевозможных состояний РЖ:

$$N \subseteq S, B \subseteq S, P \subseteq S, K \subseteq S, C \subseteq S, \quad (3)$$

где S – множество всевозможных состояний РЖ, элементам которого, с другой стороны, являются состояния РЖ в любой произвольный момент времени (этап жизненного цикла):

$$S_1, S_2, S_3, \dots, S_t \in S. \quad (4)$$

На основании изложенного РЖ (её состояние) в общем описывается отношениями во множестве параметров загрязнённости, вязкости, плотности, химических и температурных свойств:

$$S = N \cap B \cap P \cap K \cap C. \quad (5)$$

Логично предположить, что состояния РЖ в любой момент времени идентичны по составу параметров, которыми они описаны. Поэтому состояние РЖ в любой момент времени описывается набором из пяти основных параметров РЖ, указанных выше. Это утверждение позволяет применить интуитивный принцип объёмности из теории множеств [4], который говорит, что множества равны тогда и только тогда, когда состоят из одних и тех же элементов.

Таким образом, в произвольный момент времени t состояние РЖ (подсостояние) полностью определяется конкретными значениями параметров из этих множеств:

$$n_t^s, b_t, k_t, p_t, c_t \in S_t. \quad (6)$$

Контроль технического состояния РЖ состоит из двух этапов – оценка и оценивание. Выражение (6) описывает набор параметров РЖ, значения которых необходимо определить в рамках решения задачи оценки, т.е. фиксации её текущего технического состояния. Далее, имея информацию о значениях параметров состояния РЖ в текущий момент времени t , можно перейти непосредственно к оцениванию её технического состояния.

Оценивание – принятие решения о техническом состоянии РЖ на основе совокупности результатов оценки. Для решения задачи оценивания состояния необходимо иметь определённые правила и алгоритм, по которым произвольное состояние РЖ может быть классифицировано.

С точки зрения решения задачи оценивания целесообразно описывать состояние РЖ в произвольный момент времени не текущими значениями набора параметров состояния, а их изменением относительно начального. Для этого необходимо определить отношения между значением параметра в любой момент времени t и его начальным значением при $t = 0$.

Введём следующие обозначения:

n_0 – начальное значение концентрации механических примесей в момент времени t_0 ;

b_0 – начальное значение вязкости в момент времени t_0 ;

p_0 – начальное значение плотности в момент времени t_0 ;

k_0 – начальное значение кислотности в момент времени t_0 ;

c_0 – начальное значение температуры вспышки в момент времени t_0 .

Далее введём понятие бинарной пары, т.е. множество $\{\{x\}, \{x, y\}\}$, один из элементов которого $\{x, y\}$ есть неупорядоченная пара, а другой элемент $\{x\}$ определяет, какой из членов этой неупорядоченной пары «считается» первым. В рассматриваемом случае имеем следующие бинарные пары:

$$\langle n_0, n_t \rangle; \langle b_0, b_t \rangle; \langle p_0, p_t \rangle; \langle k_0, k_t \rangle; \langle c_0, c_t \rangle.$$

Теперь необходимо установить отношения между элементами данных пар в рамках решения задачи диагностирования ТС РЖ.

Априори известно, что состояние РЖ со временем деградирует. Поэтому можно сказать, что концентрация механических примесей с увеличением наработки будет увеличиваться, как и вязкость, плотность и кислотность, а вот температура вспышки, напротив, будет уменьшаться. При условии $t > t_0$ справедливы выражения:

$$\begin{aligned} \langle n_0, n_t \rangle \in \Leftrightarrow \{\{n_0\}, \{n_0, n_t\}\}; \\ \langle b_0, b_t \rangle \in \Leftrightarrow \{\{b_0\}, \{b_0, b_t\}\}; \\ \langle p_0, p_t \rangle \in \Leftrightarrow \{\{p_0\}, \{p_0, p_t\}\}; \\ \langle k_0, k_t \rangle \in \Leftrightarrow \{\{k_0\}, \{k_0, k_t\}\}; \\ \langle c_0, c_t \rangle \in \Rightarrow \{\{c_0\}, \{c_0, c_t\}\}. \end{aligned}$$

На основании изложенного (6) можно переписать в виде:

$$\{\{n_0\}, \{n_0, n_t\}_t^5, \{\{b_0\}, \{b_0, b_t\}_t\}, \{\{k_0\}, \{k_0, k_t\}_t\}, \{\{p_0\}, \{p_0, p_t\}_t\}, \{\{c_0\}, \{c_0, c_t\}_t\} \in S_t, \quad (7)$$

т.е. в любой момент времени t состояние РЖ S_t описывается пересечением бинарных пар параметров состояния.

Необходимо отметить, что упомянутые выше параметры РЖ имеют различную степень влияния на состояние РЖ и, соответственно, информация об их значениях имеет различную диагностическую ценность. На рис.1 представлена иерархия параметров, составленная на основе графоаналитической модели, отражающей состояние РЖ.



Рис.1. Иерархия параметров состояния РЖ

При составлении иерархии все параметры РЖ были сгруппированы по физическим и химическим свойствам. Кроме того, рассматривалось влияние того или иного параметра на состояние самой РЖ. Именно поэтому химический состав попал в III категорию, т.к. этот параметр в основном оказывает влияние на агрегаты ГС.

Процедура оценки технического состояния РЖ является трудоёмкой и продолжительной по времени. Определение оптимальных моментов её проведения является актуальной задачей для эксплуатирующих организаций. В качестве критериев выбора времени проверки удобно использовать количество информации, которое получено в результате проведения соответствующих измерений и которое должно быть максимальным. Таким критерием является изменение энтропии состояния РЖ.

Как упоминалось ранее, состояние РЖ представляет собой систему, элементами которой являются пять параметров состояния. При этом реализация этой системы, т.е. состояние в момент времени t , заранее неизвестна. Система имеет некоторую степень неопределённости, характеризующуюся энтропией $H(S)$. Учитывая, что энтропия имеет свойство аддитивности, можно представить общую энтропию РЖ как сумму энтропий её параметров:

$$H(S) = H(N) + H(B) + H(P) + H(K) + H(C),$$

где N, B, P, K, C – соответственно загрязнённость, вязкость, плотность, химические и температурные свойства.

Для примера рассмотрим изменение энтропии вязкости с течением времени. Характер изменения энтропии остальных параметров не будет отличаться принципиально.

Выделим из множества всех возможных состояний РЖ следующие подмножества (классы состояний):

1. Подмножество идеальных (первоначальных) состояний ($S_{ид}$).
2. Подмножество нормальных состояний ($S_{нор}$).
3. Подмножество предотказных состояний ($S_{протк}$).
4. Подмножество состояний отказа ($S_{отк}$).

Энтропия в общем случае изменяется от 0 до 1 и будет равна 0, когда значение вязкости будет полностью определено, и будет равна 1, когда её значение равновероятно может быть любым.

Отметим, что с учётом физического смысла энтропии её изменение с течением времени будет носить синусоидальный характер. Это объясняется тем, что на протяжении жизненного цикла РЖ параметр вязкости принимает различные значения с различной вероятностью. Так, если принять назначенный ресурс РЖ за $T_{наз}$, то по прошествии времени $t = 0,05T_{наз}$ вероятность нахождения значений вязкости в границах идеального состояния намного больше, чем в нормальном, а тем более предотказном состоянии. Поэтому энтропия системы близка к 0. Далее при $t = 0,25T_{наз}$ вязкость может соответствовать как идеальному, так и нормальному, а в некоторых случаях (при недопустимых условиях эксплуатации) и предотказному состоянию, т.е. энтропия системы растёт. Затем, при $t = 0,5T_{наз}$, вязкость скорее всего будет соответствовать нормальному состоянию, т.е. энтропия системы опять мала. Однако с увеличением t она вновь будет расти. Таким образом, график изменения энтропии вязкости РЖ с течением времени (рис. 2) представляет собой несимметричную синусоиду.

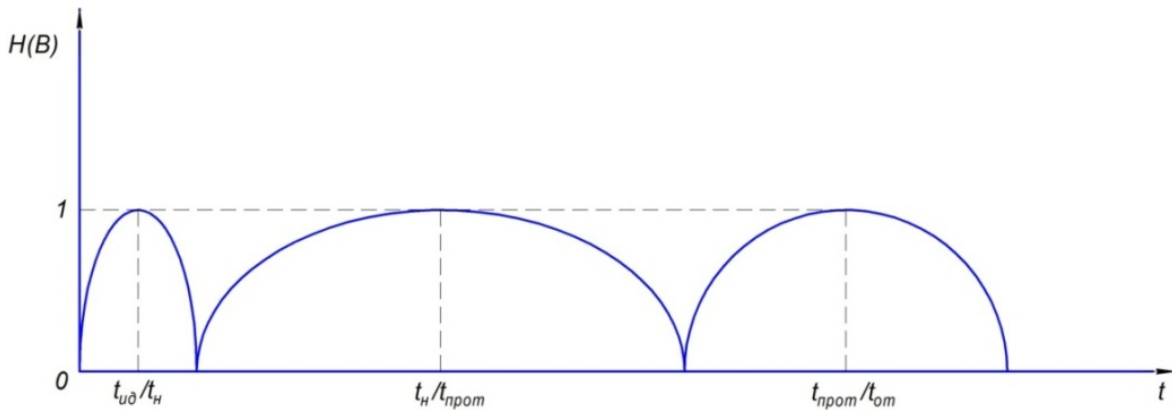


Рис.2. Изменение энтропии вязкости рабочей жидкости с течением времени

Известно, что в общем случае энтропия системы определяется как

$$H(S) = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i,$$

где p_i – вероятность нахождения системы в i -м состоянии; n – общее количество возможных состояний системы.

Количество информации, получаемое о состоянии системы численно, равно изменению её энтропии. Предполагая, что в результате измерений состояние системы будет

полностью определено, можно утверждать, что конечная энтропия будет равна 0. Таким образом, количество информации о состоянии системы в тот или иной момент времени можно рассчитать по формуле

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i. \quad (8)$$

В качестве примера оценим количество информации о вязкости РЖ, получаемое в результате двух измерений: при $t = t_{ид} / t_n$ и при $t = 0,5 t_{ид} / t_n$. В первом случае $p_{ид} = p_n = 0,5$; во втором $p_{ид} = 0,75$; $p_n = 0,25$. Используя формулу (8), получим:

$$I_{t=t_{ид}/t_n}(B) = -(0,5 \log 0,5 + 0,5 \log 0,5) = 0,3010 \text{ дв.ед.},$$

$$I_{t=0,5t_{ид}/t_n}(B) = -(0,75 \log 0,75 + 0,25 \log 0,25) = 0,2442 \text{ дв.ед.}$$

Таким образом, наибольшую информацию о вязкости можно получить, делая замеры при максимальном значении энтропии, т.е. в моменты, когда ключевые состояния системы практически равновероятны. Этот вывод применим и к РЖ в целом.

Следовательно, на основании вышеизложенного возможно скорректировать время проведения ТО РЖ. Используя статистические данные, необходимо определить наработку, при которой энтропия РЖ принимает наибольшее значение (т.е. в одно и то же время находится в различных состояниях), и в дальнейшем производить контроль состояния РЖ именно в эти моменты её эксплуатации.

Определённые выше классы состояний состоят из множеств определённых конфигураций параметров РЖ. При построении конфигураций подмножеств различных состояний РЖ были использованы следующие правила:

1. Каждое из состояний описывается множеством значений пяти параметров N, B, P, K, C . При этом справедливы выражения:

$$\{n \mid n_{идн} \leq n \leq n_{идв}\} \in N_{ид};$$

$$\{b \mid b_{идн} \leq b \leq b_{идв}\} \in B_{ид};$$

$$\{p \mid p_{идн} \leq p \leq p_{идв}\} \in P_{ид};$$

$$\{k \mid k_{идн} \leq k \leq k_{идв}\} \in K_{ид};$$

$$\{c \mid c_{идн} \leq c \leq c_{идв}\} \in C_{ид};$$

в которых границы $n_{идв}, n_{идн}, b_{идв}, b_{идн}, \dots$ устанавливаются для каждой конкретной марки РЖ в зависимости от её свойств.

Для нормального и предотказного состояний, а также для отказа правило формулируется аналогично.

2. Учитывая иерархию параметров, будем считать, что жидкость переходит в худшее состояние, если:

- 2.1 – параметр I категории деградирует;
- 2.2 – один из параметров II категории деградирует;
- 2.3 – оба параметра III категории деградируют.

3. Решение об общем состоянии РЖ принимается по худшим значениям параметров: если химические и температурные свойства соответствуют предотказному состоянию, загрязнение – нормальному состоянию, а вязкость и плотность – идеальному, то общее состояние РЖ является предотказным.

Таким образом, теоретико-множественное представление рассматриваемых под-состояний РЖ выглядит следующим образом:

1. $\{\{n_{ид}, b_{ид}, p_{ид}, k_{ид}, c_{ид}\}, \{n_{ид}, b_{ид}, p_{ид}, k_{ид}, c_n\}, \{n_{ид}, b_{ид}, p_{ид}, k_n, c_{ид}\}\} \in S_{ид}$;
2. $\{\{n_n, b_n, p_n, k_n, c_n\}, \{n_n, b_n, p_n, k_{прот}, c_n\}, \{n_n, b_n, p_n, k_n, c_{прот}\}, \{n_n, b_{ид}, p_{ид}, k_{ид}, c_{ид}\}, \{n_n, b_{ид}, p_{ид}, k_n, c_n\}, \{n_{ид}, b_n, p_{ид}, k_{ид}, c_{ид}\}, \{n_n, b_{ид}, p_n, k_{ид}, c_{ид}\}\} \in S_n$;
3. $\{\{n_{прот}, b_{прот}, p_{прот}, k_{прот}, c_{прот}\}, \{n_{прот}, b_{прот}, p_{прот}, k_{прот}, c_{от}\}, \{n_{прот}, b_{прот}, p_{прот}, k_{от}, c_{прот}\}, \{n_{прот}, b_n, p_n, k_n, c_n\}, \{n_n, b_n, p_n, k_{прот}, c_{прот}\}, \{n_n, b_n, p_{прот}, k_n, c_n\}, \{n_n, b_{прот}, p_n, k_n, c_n\}\} \in S_{прот}$;
4. $\{\{n_{от}, b_{от}, p_{от}, k_{от}, c_{от}\}, \{n_{от}, b_{прот}, p_{прот}, k_{прот}, c_{прот}\}, \{n_{прот}, b_{прот}, p_{прот}, k_{от}, c_{от}\}, \{n_{прот}, b_{прот}, p_{от}, k_{прот}, c_{прот}\}, \{n_{от}, b_{от}, p_{прот}, k_{прот}, c_{прот}\}\} \in S_{от}$.

Процедура принятия решения в рамках оценивания технического состояния РЖ будет выглядеть следующим образом:

1. Производится измерение (оценка) текущих значений параметров.
2. На основании сравнения значений параметров относительно начального состояния осуществляется классификация каждого параметра по одному из четырёх состояний.
3. С учётом вышесформулированных правил устанавливается общее состояние РЖ на основании результатов, полученных в п. 2.

Введя соответствующие граничные условия и оценив значения параметров в любой момент времени t , можно отнести состояние жидкости к тому или иному классу и принять решение о возможности её дальнейшей эксплуатации, выполнив тем самым операцию оценивания её технического состояния.

Анализ результатов и выводы

Разработанная теоретико-множественная модель РЖ позволяет:

1. Получить математическое описание произвольного состояния РЖ в произвольный момент времени t .
2. Выделить из множества подсостояний РЖ четыре класса состояний, наиболее информативных с точки зрения диагностики.
3. Описать состав и структуру этих состояний, используя различные комбинации основных параметров РЖ.

При этом теоретико-множественная модель обладает недостатком, заключающимся в небогатом представлении РЖ (её состояния) и в отсутствии описания динамики – изменения её параметров (деградации состояния) во времени.

Заключение

Полученные результаты позволяют перейти к построению образов состояния рабочей жидкости гидравлической системы и их анализу на базе синтаксического (структурного подхода) [6]. Будет возможно получить образ идеального состояния РЖ и образ состояния в произвольный момент времени. Их сравнение позволит сделать вывод о техническом состоянии РЖ с учётом всей совокупности её основных параметров. Этот подход может быть положен в основу интеллектуальной системы контроля технического состояния РЖ на борту воздушного судна. Его применение может обеспечить высокий уровень качества РЖ на этапе изготовления и высокий уровень надёжности всей гидравлической системы при эксплуатации воздушного судна.

Библиографический список

1. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем. Математические основы. М.: Мир, 1978. 311 с.
2. Гренандер У. Лекции по теории образов. Т. 1. Синтез образов. М.: Мир, 1979. 383 с.
3. Коптев А.Н., Гареев А.М., Попельнюк И.А. Перспективные направления совершенствования процесса оценки технического состояния рабочих жидкостей гидравлических систем летательных аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 1. С. 101-108. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-1-101-108
4. Столл Р.Р. Множества, логика, аксиоматические теории. М.: Просвещение, 1968. 232 с.
5. ГОСТ 17216-1971. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей. М.: Стандартинформ, 2008. 13 с.
6. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1977. 320 с.

SET-THEORY MODEL OF THE AIRCRAFT HYDRAULIC SYSTEM WORKING FLUID STATE

© 2017

- A. N. Koptev** Doctor of Science (Engineering), Professor of the Department of Aircraft Maintenance;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
eat@ssau.ru
- A. M. Gareyev** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Aircraft Maintenance;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
gareevalbert@mail.ru
- I. A. Popelnyuk** postgraduate student of the Department of Aircraft Maintenance;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
osni204@yandex.ru

The article is devoted to the development of a set-theory model of the aircraft hydraulic system working fluid state using the mathematical apparatus of the set theory. The relevance of the work is connected with the necessity of developing a universal mathematical model of the hydraulic fluid state. The model is to form the basis of an intelligent system to control the working fluid state on board the aircraft. As a result, a general expression is obtained that allows describing the working fluid state at an arbitrary moment of time using its basic parameters, namely contamination, viscosity, density, chemical and temperature properties. A hierarchy of parameters of the working fluid state taking into account the diagnostic value of the information obtained during their measurement is constructed. The main classes of states are distinguished among all possible states of the working fluid. These are the ideal state, the normal state, pre-failure and failure. Each of them is described by a set of configurations of all possible values of the main parameters. A technique for optimizing the time of the inspection of technical condition based on the calculation of the change in the entropy of the working fluid is proposed.

Aircraft; hydraulic system; condition monitoring; working fluid; mathematical model; entropy; set theory; theory of pattern recognition.

Citation: Koptev A.N., Gareyev A.M., Popelnyuk I.A. Set-theory model of the aircraft hydraulic system working fluid state. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. V. 16, no. 3. P. 65-75.
DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-65-75

References

1. Mesarovic M.D., Takahara Ya. General systems theory: mathematical foundations. New York: Academic Press., 1975. 322 p.
2. Grenander U. Lectures in pattern theory. V. 1. Pattern Synthesis. New York: Springer-Verlag, 1976. 609 p.
3. Koptev A.N., Gareyev A.M., Popelnyuk I.A. Prospective lines of improving the process of evaluating the technical condition of aircraft hydraulic system working fluid. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. V. 16, no. 1. P. 101-108. (In Russ.). DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-1-101-108
4. Stoll R.R. Sets, Logic and Axiomatic Theories. San Francisco, 1961.
5. GOST 17216-1971. Industrial purity. Grades of liquids purity. Moscow: Standartinform Publ., 2008. 13 p.
6. Fu K.S. Syntactic methods in pattern recognition. New York: Academic Press, 1974. 306 p.