

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 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 кафедры эксплуатации авиационной техники;
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва;
osni204@yandex.ru

Статья посвящена проблеме оценки технического состояния рабочих жидкостей (РЖ) гидравлических систем летательных аппаратов. На основании изучения научно-технической литературы выбраны параметры рабочей жидкости, которые определяют её техническое состояние (концентрация загрязнений, вязкость, плотность, антиокислительные, противоизносные и температурные свойства) и рассмотрены особенности существующего процесса его оценки. Разработана структурная графоаналитическая модель, отражающая состояние рабочей жидкости, учитывающая влияние её основных параметров, а также матрицы достижимостей и контрадостижимостей. При анализе полученных результатов было установлено, что компоненты графа сильно связаны друг с другом. Так вязкость тесно взаимосвязана с противоизносными и температурными свойствами, а изменение содержания механических примесей в рабочей жидкости влечёт изменение всех остальных её параметров. Поэтому оценка состояния рабочей жидкости на основе измерения только чистоты и вязкости не вполне достоверна. Обосновано дальнейшее направление исследований с целью разработки новых методов оценки состояния рабочей жидкости, а именно разработка системы математических моделей состояния рабочей жидкости, учитывающей все её составляющие.

Летательный аппарат; гидравлическая система; рабочая жидкость; загрязнения; оценка технического состояния; математическая модель; метод; пространственно-временные образы.

Цитирование: 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

Введение

Гидравлические системы (ГС) активно используются на борту летательных аппаратов (ЛА) в качестве одной из энергетических систем. Принцип действия ГС основан на свойствах текучести и несжимаемости жидкости, которая будучи заключённой в жёсткий трубопровод, способна передавать усилия как жёсткий стержень. На каждую конкретную марку РЖ существует свой стандарт, регламентирующий нормальные значения основных её свойств. Таким образом, необходимое обеспечение работоспособности и правильного функционирования ГС в любой момент времени – соответствие РЖ установленным требованиям. Поэтому необходимо осуществлять постоянный мониторинг состояния РЖ на всех этапах жизненного цикла.

Постановка задачи

Существует перечень общих требований к РЖ:

- обладать хорошими смазывающими свойствами;
- иметь пологую вязкостно-температурную зависимость;
- предохранять от коррозии поверхности деталей гидрооборудования;
- не иметь механических примесей;
- не поглощать и не выделять газов;
- обладать достаточной химической стойкостью;
- иметь достаточную долговечность;
- иметь высокий объёмный модуль упругости;
- иметь малый температурный коэффициент расширения;
- быть нетоксичными и не иметь неприятного запаха;
- не быть агрессивными к резиновым уплотнительным элементам;
- иметь высокую температуру вспышки и низкую температуру застывания;
- не содержать легкоиспаряющиеся элементы;
- иметь высокие диэлектрические качества.

На основании [1-3] и с учётом требований стандартов к различным маркам РЖ установлено, что её состояние во многом зависит от стабильности параметров:

- вязкость;
- плотность;
- кислотное число (антиокислительные свойства);
- коррозионная активность (противоизносные свойства);
- загрязнённость;
- температурные показатели (вспышки, кипения, застывания).

Механические примеси оказывают наиболее сильное деструктивное влияние на состояние как самой РЖ, так и гидравлических агрегатов [4;5], а вязкость значительно влияет на точность работы ГС [6]. Однако при оценке технического состояния РЖ нельзя ориентироваться только на её чистоту и вязкость, т.к. при таком подходе возникают значительные погрешности и резко повышается вероятность пропуска дефекта (допуск для дальнейшей эксплуатации РЖ с неудовлетворительным состоянием). Особенно это характерно для ГС, эксплуатация которых предусматривает очистку РЖ, после которой при нормальных показателях загрязнённости возможно ухудшение её химических, физических и тепловых свойств. Комплексная оценка всех возможных параметров РЖ является трудоёмким и долгим процессом. Поэтому самый быстрый и экономически эффективный путь – это разработка новых методов с использованием теории распознавания образов, позволяющих при минимальных материальных и временных затратах получать достоверную информацию о состоянии РЖ.

Одним из первых шагов в этом направлении является анализ основных параметров РЖ, определяющих её состояние по следующим критериям:

1. Информативность (насколько по значению того или иного параметра РЖ можно судить о значении других параметров и её состоянии в целом).
2. Простота определения (насколько развиты методы и средства для оценки того или иного параметра).

Метод решения

Для решения поставленной задачи с использованием теории графов [7] была построена структурная графоаналитическая модель, отражающая состояние РЖ (рис. 1).

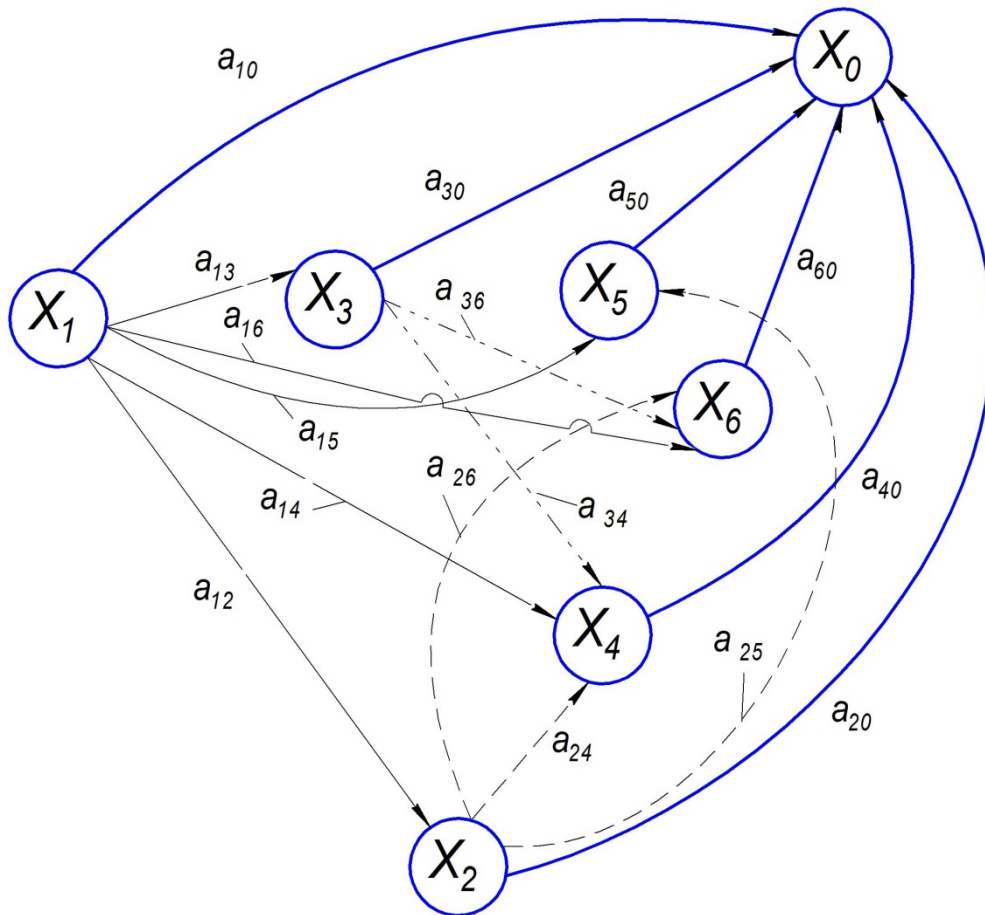


Рис. 1. Структурная графоаналитическая модель

Ориентированный граф $G = (X, A)$ состоит из множества вершин $\sum_{i=0}^6 x_i \subset X$ и множества связей между ними $\sum_{j=1}^{17} a_j \subset A$. Перечень условных обозначений и их расшифровка для графа $G = (X, A)$ приведён в табл. 1.

Таблица 1. Перечень условных обозначений для структурной графоаналитической модели

Условное обозначение	Расшифровка
X_0	Состояние РЖ
X_1	Загрязнённость РЖ
X_2	Вязкость РЖ
X_3	Плотность РЖ
X_4	Противоизносные свойства РЖ
X_5	Антиокислительные свойства РЖ
X_6	Температурные свойства РЖ
a_{ij}	Дуги графа

Матрица смежностей графа, построенная из соображений взаимосвязи различных параметров РЖ между собой, имеет вид:

$$A = \begin{array}{c|cccccccc} & x_0 & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ \hline x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline x_1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline x_2 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline x_3 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline x_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline x_5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline x_6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

Для проведения качественного анализа взаимосвязи элементов графа были построены матрицы достижимости $R = (r_{i,j})$ и контрдостижимостей $Q = (q_{i,j})$ для данного графа, исходя из следующих соображений:

$$r_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } x_j \text{ достижима из } x_i \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

и

$$q_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если из вершины } x_i \text{ можно достичь вершину } x_j \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases};$$

$$\left. \begin{aligned} R(x_0) &= \{0\}; \\ R(x_1) &= \{x_1\} \cup \{x_0; x_2; x_3; x_4; x_5; x_6\} = \{x_0; x_1; x_2; x_3; x_4; x_5; x_6\}; \\ R(x_2) &= \{x_2\} \cup \{x_3; x_4; x_6\} \cup \{x_0; x_2; x_4; x_6\} = \{x_0; x_2; x_3; x_4; x_6\}; \\ R(x_3) &= \{x_3\} \cup \{x_0; x_2; x_4; x_6\} \cup \{x_0; x_3; x_4; x_6\} \cup \{x_0\} \cup \{x_0\} = \{x_0; x_2; x_3; x_4; x_6\}; \\ R(x_4) &= \{x_4\} \cup \{x_0\} = \{x_0; x_4\}; \\ R(x_5) &= \{x_5\} \cup \{x_0\} = \{x_0; x_5\}; \\ R(x_6) &= \{x_6\} \cup \{x_0\} = \{x_0; x_6\}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$R = \begin{array}{c|cccccccc} & x_0 & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ \hline x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline x_1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline x_2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline x_3 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline x_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline x_5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \hline x_6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

$$Q = \begin{array}{c|cccccccc} & x_0 & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ \hline x_0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline x_1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline x_2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline x_3 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline x_4 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ \hline x_5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline x_6 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

Анализ результатов и выводы

На основании анализа матриц и соотношений (1) была установлена сильная взаимосвязь между компонентами графа. Следовательно, оценка состояния РЖ на основе показателей чистоты и вязкости не вполне достоверна. Учитывая тот факт, что на сегодняшний день отсутствуют адекватные пространственно-временные модели, объединяющие представление РЖ в рамках трёхмерных пространств и её поведение во времени, одним из возможных решений поставленной задачи является введение опорного пространства $X = R^3 \times R'$, где R' – пространство времени. Для этого необходимо ввести пространство более общего вида, чем R^3 . Кроме того, необходимо исследовать динамику пространственно-временного характера.

В этом случае наиболее общим представлением является универсальный оператор с ν (переменными) входами x_1, x_2, \dots, x_ν и μ (переменными) выходами y_1, y_2, \dots, y_μ . Область значений всякого x_i есть некоторое пространство X_i , область значений всякого

Y_j , есть некоторое пространство Y_j . В частности, существуют операторы назначения, не имеющие входов (однако обладающие некоторыми признаками). Преобразования подобия воздействуют только на операторы назначения, оставляя все остальные образующие без изменения. В результате реализации этих преобразований признаки оператора назначения обычно изменяются, однако требуется, чтобы класс образующих изменялся, а области X и Y – не увеличивались.

В целом РЖ представляет собой систему с многими степенями свободы и, как следствие, её поведение является стохастическим. Эти макроскопические системы, динамика которых определяется взаимодействием большого числа микроскопических частей, допускают дополнительные описания на различных уровнях, одним из которых является макроскопический. Он позволяет для практических целей описать РЖ небольшим числом макропеременных. Макропеременные возникают как коллективные свойства динамики, происходящей на микроскопическом уровне, или как моменты функции плотности вероятности (микроскопический уровень). Поэтому необходимо рассмотреть принцип усреднения РЖ в пространстве состояний в виде N -мерного вектора X , конец которого описывает непрерывную траекторию и в заданный момент времени t находится в заданной точке.

В общем случае оценка состояния такой сложной системы, как РЖ может быть реализована на базе построения отображений, которые должны составить теорию решения задач как контроля, так и диагностики, отнесённых при принятии решений во время оперативного обслуживания к задачам контроля состояния, а при диагностике – к определению источников загрязнения и других факторов, влияющих не только на качественные, но и на количественные показатели состояния РЖ.

Заключение

Дальнейшее направление исследований в данной области связано с созданием системы моделей состояния РЖ, учитывающей все его составляющие. Данные модели могут быть получены с использованием теории образов, выдвинутой У. Гренандером. Одним из центральных элементов этой теории являются различные образующие, т.е. элементы – носители информации, которые могут обладать определёнными свойствами: признаком и арностью, указывающими на её свойства, связывающие данную образующую с остальными соответственно.

Полученная графоаналитическая модель позволяет оценить как структуру образующих, так и получить общие представления об их взаимосвязи. На основе этого можно построить конфигурации различных состояний РЖ и реализовать их в рамках образов РЖ в произвольные моменты её жизненного цикла. Сравнение этих образов с образом идеальной РЖ позволит сделать вывод о динамике изменения параметров РЖ и принять решение о возможности её дальнейшей эксплуатации.

Библиографический список

1. Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1982. 217 с.
2. Тимиркеев Р.Г., Сапожников В.М. Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1986. 152 с.
3. Fitch E.C. Fluid contamination control. Oklahome: FES Inc., 1988. 433 p.
4. Гареев А.М., Тиц С.Н. Упреждающее обслуживание гидравлических систем летательных аппаратов. Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. 112 с.
5. Гареев А.М., Попельнюк И.А. Исследование механизма заедания золотниковых пар авиационных гидроприводов // Вестник Самарского государственного аэрокосми-

ческого университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2015. Т. 14, № 2. С. 59-69.

DOI: 10.18287/2412-7329-2015-14-2-59-69

6. Никитин О.Ф. Рабочие жидкости гидроприводов. Классификация, свойства, рекомендации по выбору и применению. М.: Московский государственный технический университет, 2007. 152 с.

7. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978. 432 с.

PROSPECTIVE LINES OF IMPROVING THE PROCESS OF EVALUATING THE TECHNICAL CONDITION OF AIRCRAFT HYDRAULIC SYSTEM WORKING FLUID

© 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 evaluation of the technical condition of aircraft hydraulic system working fluids. Working fluid parameters (concentration of impurities, viscosity, density, anti-oxidation, anti-wear and thermal properties) determining its technical condition are selected on the basis of a study of scientific and technical literature. The peculiarities of the existing process of its evaluation are discussed. A structural grapho-analytical model reflecting the condition of the working fluid was developed. The model takes into account the influence of the fluid's basic parameters as well as reachability and counter-reachability matrices. Analyzing the results, it was found that the graph components are strongly interconnected. Viscosity is closely linked with anti-wear and thermal properties, while variations in mechanical impurity content in the working fluid cause variations in the rest of its parameters. Thus, we can say that the assessment of the working fluid's condition based on measuring only its purity and viscosity is not quite reliable. We substantiate the future line of research with the aim of developing new methods to assess the condition of the working fluid, namely, development of mathematical models of the working fluid condition taking all its components into account.

Aircraft; hydraulic system; working fluid; impurities; evaluation of technical condition; mathematical model; method; spatiotemporal images.

Citation: 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. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-1-101-108

References

1. Kondakov L.A. *Rabochie zhidkosti i uplotneniya gidravlicheskih system* [Hydraulic fluids and seals]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1982. 216 p.

2. Timirkeev R.G., Sapozhnikov V.M. *Promyshlennaya chistota i tonkaya fil'tratsiya rabochikh zhidkostey letatel'nykh apparatov* [Industrial purity and fine filtration of aircraft hydraulic fluids]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1986. 152 p.

3. Fitch E.C. Fluid contamination control. Oklahome: FES Inc., 1988. 433 p.
4. Gareev A.M., Tits S.N. *Uprezhdayushchee obsluzhivanie gidravlicheskih system letatel'nykh apparatov* [Proactive maintenance of aircraft hydraulic systems]. Samara: SamarSKIY Nauchnyy Tsentr RAN Publ., 2010. 112 p.
5. Gareyev A.M., Popelniuk I.A. Investigation of the seizing mechanism of aviation hydraulic drive spool-and-sleeves. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2015. V. 14, no. 2. P. 59-69. (In Russ.). DOI: 10.18287/2412-7329-2015-14-2-59-69
6. Nikitin O.F. *Rabochie zhidkosti gidroprivodov. Klassifikatsiya, svoystva, rekomendatsii po vyboru i primeneniyu* [Pressure fluids of hydraulic drives. Classification, properties, selection and application guidelines]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2007. 152 p.
7. Kristofides N. *Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod* [Graph theory. Algorithmic approach]. Moscow: Mir Publ., 1978. 432 p.