

ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2011 А. Н. Коптев, А. В. Кириллов

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Рассмотрены прикладные вопросы теории анализа пилотажно-навигационных комплексов как объектов диагностирования. На основе теории графов и тензорной методологии предложены методы представления структуры комплекса и его систем, что позволяет существенно упростить алгоритм формирования диагностируемых параметров на базе физического и аналитического разделения на контуры, узловые пары и открытые цепи. Оценку общего состояния системы или комплекса в целом предложено выполнять на основе компаунд-тензора, содержащего параметры отдельных компонентов.

Пилотажно-навигационный комплекс, диагностика, контроль, тензорный анализ, теория образов, математическое моделирование.

Возрастающий интерес к методам и средствам технической диагностики, проявляемый как изготовителями, так и эксплуатационниками бортовых комплексов оборудования современных летательных аппаратов (ЛА), определяется, прежде всего, тем, что в условиях увеличения их сложности системы диагностирования представляют собой один из наиболее эффективных способов обеспечения качества и надёжности как отдельных компонентов, так и комплексов этого оборудования в целом, представляющих собой иерархические системы. Под иерархической системой будем понимать ансамбль взаимодействующих частей, который состоит из последовательности вложенных одна в другую взаимодействующих субъединиц (или может быть разложен или разделён на такие субъединицы).

Каждое множество взаимодействующих компонентов, образующих отдельный иерархический уровень, допускает своё характерное описание на языке пространства состояний с переменными и параметрами, принадлежащими данному конкретному уровню [1]. Взаимодействующие переменные (и

/или параметры) на более высоком иерархическом уровне являются «коллективными свойствами» динамики, происходящей на нижнем уровне. Следовательно, переход на более высокий уровень обычно сопровождается значительным уменьшением числа степеней свободы. Более высокий уровень получает «снизу» селективную информацию на более низком уровне с помощью упреждающей связи.

Сложность бортового комплекса оборудования и, в частности, пилотажно-навигационного обусловлена числом компонентов комплекса и способом их взаимосвязи. Такая сложность относится к аппаратной реализации комплекса и его систем. С другой стороны, многофункциональность или многорежимность работы систем определяет сложность их программного обеспечения.

Вопросы диагностики таких систем для оценки их технического состояния требуют разработки методов построения и анализа математических моделей объектов диагностирования, методов построения алгоритмов и средств их реализации в рамках систем диагностирования, проектирование которых является одним из этапов решения задач контроля и диагностики и, наконец,

методов синтеза проверяющих тестов и методов поиска неисправностей.

Общую задачу, которая рассматривается в этой статье, можно сформулировать следующим образом. Объектом исследования являются регулярные структуры, представляющие отдельные системы и пилотажно-навигационный комплекс (ПНК) летательного аппарата в целом. С общих позиций представляет интерес реальный объект как объект диагностики: регулярный образ, его природа и оценка его состояния.

Таким образом, объектами исследования являются образы реальных систем, объединённых в комплексы для решения множества задач управления летательным аппаратом, рассматриваемые в рамках точного формализма. Формализм используется в качестве концептуальной основы для синтеза и анализа их математических моделей, описывающих структуру и поведение объектов при изменении окружающей среды, также формализованной в рамках общих представлений о системе диагностирования как иерархической системе.

Предлагаемый в работе подход базируется на теории образов [2]. Основные принципы, реализуемые этим подходом, представляют собой набор частных случаев, трактуемых с единых позиций для описания, аппроксимации отдельных аспектов объектов диагностики, восстановления реального образа объекта для распознавания «коллективных» свойств комплекса.

Рассмотрим более подробно общую теорию подхода к изучению свойств систем пилотажно-навигационного комплекса как объектов-оригиналов.

Прежде всего, отметим, что образ исследуемого комплекса – его математическая модель – представляет на самом деле набор частных случаев, характеризующих с помощью формальных (математических) систем отдельные свойства. Динамика образования кол-

лективного свойства из свойств отдельных образующих комплекса лежит в основе оценки его технического состояния в целом.

Пусть некоторая система пилотажно-навигационного комплекса Z обладает некоторым свойством S_0 . Для получения математической модели, описывающей данное свойство, необходимо:

1. Определить показатель Y данного свойства, т. е. определить меру свойства в некоторой системе измерения.

2. Установить перечень свойств $S_1, S_2, \dots, S_m$, с которыми свойство S_0 связано некоторыми отношениями. Как правило, это внутренние свойства объекта и свойства внешней среды, влияющие на ту или иную систему пилотажно-навигационного комплекса.

3. Описать в выбранном для данного объекта формате свойства внешней среды внешние факторы $x_1, x_2, \dots, x_n$, влияющие на искомый показатель Y ; внутренние свойства объекта $z_1, z_2, \dots, z_r$; а неучтённые свойства отнести к группе неучтённых факторов $w_1, w_2, \dots, w_k$.

4. Установить закономерные отношения между Y и всеми учитываемыми факторами и параметрами и построить математическую модель

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, z_1, z_2, \dots, z_r, w_1, w_2, \dots, w_k). \quad (1)$$

Для оценки технического состояния отображаются только те факторы и параметры регулярной структуры объекта диагностики, которые имеют существенное значение для решения диагностической задачи.

Главным вопросом формального представления систем и пилотажно-навигационных комплексов в целом для решения проблемы оценки их технического состояния является вопрос о том, как точно построенная математическая модель отражает отношения между учитываемыми факторами, параметрами и показателем Y .

В случае пилотажно - навигационных комплексов вид системы уравнений для оценки его технического состояния неизвестен. Задача специалиста по диагностике состоит, прежде всего, в том, чтобы найти эту систему уравнений, которая в общем случае

имеет вид математической модели, представляющая функцию

$$Y' = f(x'_1, x'_2, \dots, x'_n, v_1, v_2, \dots, v_m), \quad (2)$$

где $v_1, v_2, \dots, v_m$ – внутренние параметры модели, адекватные параметрам регулярной структуры оригинала, его аппаратной реализации.

При этом к числу варьируемых параметров $x'_1, x'_2, \dots, x'_n$ отнесены все учитываемые внешние факторы и параметры диагностируемого объекта, а к числу искомым параметров относят внутренние параметры модели $v_1, v_2, \dots, v_m$, связывающие факторы $x'_1, x'_2, \dots, x'_n$ с показателем Y наиболее правдоподобным отношением. Для решения этой проблемы в работе введены следующие основные принципы моделирования пилотажно-навигационных комплексов.

Выше было указано, что пилотажно-навигационные комплексы представляют собой сложный ансамбль взаимодействующих субъединиц, т.е. производных объектов, используемых для построения конфигураций и систем этого комплекса, которые выступают в качестве его образующих. Следует отметить, что, как правило, в основе понятия системы в данной работе лежат понятия сети и компаунд-сети, строительными блоками которых являются производные объекты, а аналитическими единицами таких сетей являются понятия контура, узловой пары, ветви и открытого контура. При этом для оценки их параметров и оценки функционирования необходимо наложение параметров двух типов:

- воздействующих величин, которые формируются вне сети;
- величин «отклика», представляющих собой реакцию сети на воздействующие величины.

Задачи, возникающие при диагностике сложных систем пилотажно-навигационных комплексов, можно представить следующим образом: дана сеть, нужно установить её свойства, а именно её реакцию на внешнее воздействие («отклик»).

Сети, представляющие собой сложные системы комплекса, подлежащие диагностике, подвергаются сложным воздействиям, т.е. изменениям, которые необходимо сделать с системой, чтобы по отклику сделать оценку её состояния. Огромное преимущество формулировки и решения таких задач в терминах тензорных уравнений заключается в том, что каждый тип задач можно изучить раз и навсегда независимо от количества контуров и узловых пар, от способа соединения компонентов сети или способа их возбуждения. Анализ нужно провести только однажды, и конечный результат можно использовать для каждого конкретного случая одним и тем же способом.

Задачу анализа конкретной системы можно сформулировать на основе компаунд-сети. Существует [3] общий алгоритм решения подобных задач:

1. Устанавливается тип сети (контурная, узловая или полная).
2. Выводится уравнение поведения сети.
3. Определяется количество типов контуров и узловых пар.
4. Уравнение поведения системы разбивается на несколько инвариантных уравнений.
5. Система тензорных уравнений преобразуется аналогично обычным уравнениям в соответствии с требованиями задачи.
6. Определяются неизвестные (если они есть) точными или приближенными методами.

Реализация первого шага алгоритма в соответствии с работой [3] базируется на понятиях пространства-структуры и примитивной сети.

Введение понятия примитивной сети позволяет упростить рассмотрение сложных систем за счёт установления перечня физических блоков системы путём физического разделения исходной сети системы на производные объекты, стандартные блоки, каждый из которых сам по себе является сетью. Так что действительная сеть системы состоит из составляющих сетей, соединённых последовательно или параллельно и т.п. Практически все системы пилотажно-навигационного комплекса можно разделить физически на множество меньших

единиц, каждая из которых затем анализируется отдельно, и результаты анализа объединяются в единую программу оценки технического состояния системы в целом как компаунд-сети.

С формальной точки зрения полученное множество всех образующих системы состоит из непересекающихся классов образующих:

$$A = \bigcup_b A^b, \quad (3)$$

где

A^b – непересекающиеся классы,

b – общий индекс для класса образующих.

Образующие обладают свойствами двух типов.

Первый тип свойств – это признаки $q = q(a)$, значениями которых в наиболее общем виде выступает компаунд-тензор.

Второй тип свойств охватывает связи. Определённой образующей a соответствует набор входных и выходных связей

$$C(a) = C_{\text{вх}}(a) + C_{\text{вых}}(a), \quad (4)$$

где

$C(a)$ – общее число соединений,

$C_{\text{вх}}(a)$ – число входов,

$C_{\text{вых}}(a)$ – число выходов.

В качестве наиболее общего многомерного аналога образующей будем использовать следующий вид представления. Всякая образующая есть оператор с n входами $x_1, x_2, \dots, x_n$ и m выходами $y_1, y_2, \dots, y_m$. Область значений всякого x_i есть некоторое пространство X , область значений всякого y_i – некоторое пространство Y . В частности, датчики в системах пилотажно-навигационного комплекса выступают как операторы назначения, не имеющие электрических входов, но обладающие некоторыми признаками.

Преобразования подобия воздействуют только на операторы назначения. При этом в качестве признаков для образующих систем пилотажно-навигационного комплекса в общем случае используется многомерный аналог, характеризующий тип операций, реализуемых этой образующей. Графический формализм представления признаков образующих представлен на рис. 1.

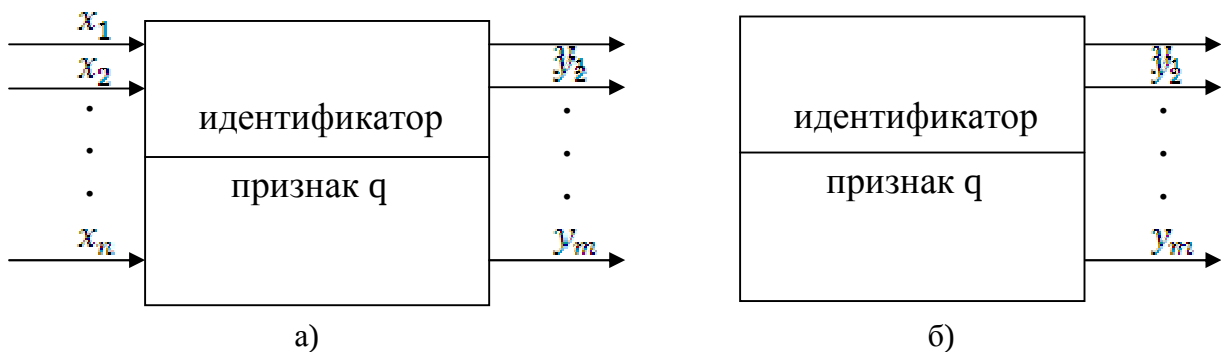


Рис. 1. Графический формализм:
а) универсальный оператор; б) оператор назначения

На отдельных этапах анализа систем пилотажно-навигационного комплекса образующие, полученные при физическом разделении систем, используются как неделимые объекты. Однако они обладают внутренним сложным пространством-структурой, которое представляется компаунд-тензором. При этом для выделения контуров и узловых пар необходимо разделение компаунд-тензора на меньшие тензоры,

описывающие компоненты образующей. Компаунд-тензоры служат основой представления систем пилотажно-навигационного комплекса и их образующих в виде компаунд-сети. Для вывода полного уравнения поведения сети сложной системы (пилотажно-навигационного комплекса) необходимо установить её внутреннюю структуру, то есть объединение компонентов в конфигурации или для рассматриваемой интеграции в контуры и узловые

пары, ветви, открытые цепи. Для этих целей будем рассматривать лишь определённые классы соединений, включающие линейный тип соединений и соединения типа дерева с введением в них частичного порядка.

Таким образом, введённое сложное пространство-структура, комбинаторная топология и тензорная методология рассматриваются как удобный набор взаимно и однозначно согласованных математических формализмов, предназначенных для решения уравнений, определяющих связь между составляющими ПНК. В качестве фундаментального уравнения используется зависимость между сильными компонентами графа $G = (A^0, f)$ системы электротехнического оборудования (ЭТО) летательного аппарата (ЛА), представляемыми порождёнными подграфами $G' = \{A^0 - R(a_k^0) \cap Q(a_k^0)\}$.

Здесь

A^0 – множество точек;

f – отображение множества A^0 на само себя;

$R(a_k^0)$ – достижимые множества точек A^0 , $a_k^0 \in A^0$;

$Q(a_k^0)$ – контрдостижимое множество с конечными ориентированными простыми цепями. В работе [4] такие цепи формально описываются линейной формой $C_v = \sum_{v=1}^q m_v a_v^0$ и представляют систему координат:

$$\bigcup_n \{A^0 - R(a_k^0) \cap Q(a_k^0)\} = \sum_n \left\{ \sum_{v=1}^q m_v a_v^0 \right\}. \quad (5)$$

Предложенная зависимость, рассмотренная в разных подпространствах-структурах, введённых выше для представления структур объектов и систем ЭТО, формирует систему уравнений

$$\bigcup_n \{A^{0(q)} - R(a_k^{0(q)}) \cap Q(a_k^{0(q)})\} = \sum_n \left\{ \sum_{v=1}^q m_v a_v^{0(q)} \right\}, \quad (6)$$

где q – индекс данного подпространства-структуры.

Для общего представления сложных объектов (например, пилотажно-

навигационных комплексов) вводятся [4] пространства-структуры $S_q \cup M_q$, каждое из которых содержит континуальную S_q и дискретную M_q части. В работе [4] утверждается, что в каждом из них система ЭТО ЛА проявляются через некоторую структуру, определяемую их физическими компонентами с различной степенью детализации их представления.

Значения матриц достижимости $R = [r_{ij}]$ и контрдостижимости $Q = [q_{ij}]$ вершин полного графа G получаются из решения системы уравнений (6). Для определения функционального модуля находят $R(x_i) \cap Q(x_i)$. Каждый функциональный модуль будет определяться соотношением:

$$G'(A_i) = \{A^0 - R(A_i) \cap Q(A_i)\}, \quad (7)$$

а процедура выделения G' будет повторяться до тех пор, пока граф G системы ЭТО ЛА не будет преобразован в новый граф, вершинами которого будут функциональные модули, а дуги между ними будут определять жгут проводов, соединяющий их.

Общее решение системы уравнений фундаментального объекта или системы пилотажно-навигационного комплекса позволяет получить заданную структуру связей на базе найденного решения о структуре пилотажно-навигационного комплекса, что соответствует согласованию основных уравнений и устойчивой структуре конкретных объектов или систем ЭТО ЛА.

Решение уравнения (6) представляет множество $b(P)$ регулярных конфигураций (контуров, узловых пар, открытых цепей), которое в общем виде имеет следующий вид:

$$b(P) = \{A, S, \Sigma, r\}, \quad (8)$$

где

A – классы образующих;

S – множество их отображений;

Σ – тип соединения – множество графов, заданных на компонентах образующей;

r – отношение связи.

При диагностике приходится иметь дело одновременно более чем с одним пространством конфигураций. В частности раз-

деляют [4] базовый и модельный набор конфигураций, составленный для оценки системы на соответствие определенным требованиям. При этом оценка технического состояния диагностируемой системы или её образующих осуществляется для двух видов отображений: гомоморфизма конфигураций и аннигиляции образующих.

При диагностике состояния системы рассматриваются два пространства конфигураций $b(P)$ и $b'(P)$:

$$\begin{aligned} b(P) &= \langle A, S, \Sigma, r \rangle, \\ b'(P) &= \langle A', S, \Sigma, r \rangle, \end{aligned} \quad (9)$$

где отображение $r: A \rightarrow A'$ задано как инвариант связи. Оно индуцирует отображение R из $b(P)$ в $b'(P)$ посредством задания $R: c \rightarrow c'$, где $c' = (a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$, $a'_i = r(a_i)$ и структура $(c) = \text{структура}(c')$. Отметим, что последнее утверждение имеет смысл, поскольку r сохраняет структуру связей неизменной. Индуцированное отображение R представляет собой гомоморфизм конфигураций [2]. Подобный гомоморфизм возникает, естественно, при диагностике систем и их деформации, т. е. реакции на внешние воздействия, набор которых при формировании исходного множества диагностических признаков строится на основе тщательного анализа предмета тестирования, теоретического конструкта, положенного в основу тестируемого свойства, и его взаимоотношений с другими конструктами. Таким базовым конструктом для широкого спектра систем пилотажно-навигационного комплекса являются полученные уравнения поведения, описываемые уравнениями напряжений ортогональной сети $(E + e) = z(i + I)$, или уравнения токов этой сети $(i + I) = Y(E + e)$, разделение которых связано с количеством полученных при анализе m контуров и n узловых пар, т. е. с созданием системы инвариантных уравнений для конкретной сети. Эта

система $(m + n)$ тензорных уравнений также аналогична системе обычных уравнений напряжений или токов для ортогональной сети, имеющей m контуров и n узловых пар.

Исходные признаки, характеризующие состояние конкретной сети, и их значения несут специфическую информацию о свойствах диагностируемой системы и её составных частей (контуров, узловых пар, открытых цепей). Это позволяет сделать заключение о техническом состоянии диагностируемых конструктов.

В целом система исходных признаков, разрабатываемая на основе синтезированной из значений свойств контуров или узловых пар, должна удовлетворять следующим требованиям.

1. Полнота описания. Набор исходных признаков должен охватывать все выделяемые аспекты измеряемого свойства системы или её образующих. Выше был предложен механизм, с помощью которого можно определить образующие и их компоненты для некоторой части сети системы из n блоков, используя решения уравнений представления структуры на базе теории графов и инвариантных уравнений поведения контуров и узловых пар.

2. Экономичность описания. При выборе набора признаков следует избегать излишнего объёма исходной информации, который может затруднить детальный эмпирический анализ параметров диагностической модели.

В данной работе эти два требования достигаются введением различных групп преобразований, которые позволяют специалисту по диагностике расчленить сложную проблему на несколько относительно независимых, более простых подпроблем. То есть полную систему пилотажно-навигационного комплекса разделить на несколько относительно независимых систем, а последние на блоки, каждый из которых имеет разное функциональное назначение. Например, некоторую часть сети навигации – спутниковую навигационную систему или систему автоматического управления можно разделить на датчики положения, датчики движения центра масс, линии передач, под-

систему формирования управляющих сигналов – блок автопилота, сервопривода. Каждую из них можно проанализировать отдельно, как если бы остальные отсутствовали, а затем объединить их в первоначальную систему.

Понятие тензоров преобразования [3] позволяет специалисту разделить каждую из имеющегося большого числа подобных систем на две аналитические части: идентичные для всех систем и различные в каждой частной системе, а именно $C_{a'}^a$.

Установление матрицы $C_{a'}^a$ для каждой частной системы практически является единственным этапом анализа для установления уравнения поведения системы пилотажно-навигационного комплекса для её модели, задаваемой на множестве t алгебраической структурой или алгеброй её изображения T , которая может быть представлена следующим образом:

$$T = \langle b(P), R \rangle = \langle A, S, \Sigma, r, R \rangle, \quad (10)$$

где R есть правило идентификации, r может быть представлено тензором соединения $C_{a'}^a$.

Понятие группового свойства позволяет разделить аналитическую часть работы, а именно: разделить вывод $C_{a'}^a$ на несколько независимых шагов, каждый из которых имеет свои собственные методы анализа.

Физическое и аналитическое разделение групп и проблем в последовательность более простых проблем и их объединение в исходную группу проблем возможно только благодаря введению понятия «группа».

В задаче диагностики состояния сложных систем бортового комплекса предполагается не одно, а несколько изменений одновременно. Например, в системе автоматического управления при управлении пространственным положением летательного аппарата необходимо выполнить следующее: 1) включить режим, например, «разворот»

C_1 ; 2) выполнить соединение датчиков информации C_2 ; 3) обработать информацию с датчиков положения C_3 ; 4) подключить сигналы демпфирующих гироскопов C_4 ; 5) сформировать сигнал управляемости S .

Вводя матрицы преобразования C_1, C_2, C_3, C_4 , получим матрицу результирующего преобразования, которая является либо произведением (мультипликативный случай), либо суммой (аддитивный случай) отдельных изменений:

$$C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4; \quad C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4. \quad (11)$$

Для мультипликативного случая

$$C_{a^n}^a = C_{a'}^a \cdot C_{a''}^a \cdot C_{a'''}^a \cdot C_{a''''}^a \cdot \dots \cdot C_{a^n}^a, \quad (12)$$

для аддитивного случая

$$C_{a^n}^a = C_{a'}^a + C_{a''}^a + C_{a'''}^a + C_{a''''}^a + \dots + C_{a^n}^a. \quad (13)$$

Эти формулы справедливы для сингулярных матриц преобразования, что удовлетворяет определению групп, то есть «групповому свойству», ассоциативному закону, наличию «единичного элемента» и наличию «обратного элемента».

Важность понятия «группа» вытекает из того, что матрица преобразования сети S диагностируемой системы содержит много информации о свойствах и поведении сети без установления других тензоров, то есть основные характеристики динамической системы полностью содержатся в тензоре преобразования S . Другие тензоры составляют её параметры.

3. Чёткая структурированность системы признаков. Признаки должны группироваться относительно равномерно, описывая все стороны свойства системы и её образующих.

Исходные признаки, как правило, измеряются в номинальных и порядковых шкалах. При анализе признаков каждую отметку номинальной шкалы считают отдельно самостоятельным признаком. Он принимает всего два значения M и N , и разность $(M - N)$ уже может интерпретироваться как степень важности несовпадения данного признака при сравнении двух объектов: эталона и диагностируемого объекта. Чаще всего [4] при контроле состояния применя-

ют значения $M=1$ и $N=0$, то есть признак равен либо 1, либо 0, а степень важности признака x_i задаётся весом p_i , на который умножается x_i . Такие признаки называют двоичными, бинарными, булевыми, а в теоретической диагностике часто используют термин «дихотомические признаки». Процедура преобразования исходных показателей в набор признаков с двумя градациями носит название дихотомизации. После проведения дихотомизации номинальное измерение становится доступным для применения широкого спектра различных методов многомерного количественного анализа с учётом специфики данного вида измерений.

К ординальным переменным относятся признаки для заданий типа «Оценивание».

4. Количественная определённость отбираемых признаков. Эта определённость требуется для проведения эмпирического анализа. Признаки должны быть выражены в номинальной шкале.

Структура экспериментальных данных, особенности которой в контексте решаемой диагностической задачи описывает математическая модель, отражается посредством двух основных категорий взаимоотношений между элементами таблицы экспериментальных данных, связывающей диагностируемый объект с исходными признаками. Сходство эталонного объекта с диагностируемым определяется мерами близости, а признаков – мерами связи.

Матрица близости D задаёт отношение «объект-объект» и представляет собой квадратную симметричную матрицу $m \times m$ с неотрицательными элементами:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & \mathbf{K} & d_{1m} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ a_{m1} & \mathbf{L} & a_{mm} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Элементы d_{ij} являются значениями некоторой меры близости (удалённо-

сти) между объектами x_i и x_j . Чаще в контроле данных состояния параметров используются меры удалённости.

Последнее требование предъявляется к матрицам расстояний (диагональные элементы матрицы D должны быть равны нулю). Матрица D , удовлетворяющая перечисленным требованиям, допускает толкование структуры взаимоотношений объектов исследования как некоторой геометрической конфигурации точек в многомерном пространстве признаков.

При оценке технического состояния агрегатов и систем ПНК можно использовать меру расстояния между объектами «эталон» и «контролируемый», определяемую как евклидово расстояние:

$$d_{ij}^{(E)} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (15)$$

где

$d_{ij}^{(E)}$ – евклидово расстояние,

x_{ik} – признак эталонного объекта,

x_{jk} – признак реального объекта,

p – количество признаков.

Эта мера применяется для вычисления расстояния Хемминга между объектами, описанными количественными, качественными и дихотомическими признаками. Её использование целесообразно, когда признаки однородны по смысловой нагрузке и одинаково важны для решаемой задачи.

$$d_{ij}^{(H)} = \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|, \quad (16)$$

где $d_{ij}^{(H)}$ – расстояние Хемминга.

Данная мера наиболее часто используется для определения различий между объектами, задаваемыми дихотомическими признаками, и интерпретируется как число несовпадений значений признаков у рассматриваемых объектов и их эталонов.

Библиографический список

1. Терехина, А. Ю. Анализ данных методами многомерного шкалирования [Текст] / А. Ю. Терехина. – М.: Наука, 1986. – 168 с.

2. Гренандер, У. Лекции по теории образов [Текст]. Том 1 Синтез образов / У. Гренандер – М.: Мир, 1979. – 383 с.

3. Крон, Г. Тензорный анализ сетей [Текст] / Г. Крон – М.: Советское радио, 1978. – 720 с.

4. Монтаж, контроль и испытания электротехнического оборудования ЛА [Текст] / А. Н. Коптев [и др.] – М.: Машиностроение, 1998. – 296 с.

APPLIED PROBLEMS IN THE THEORY OF DIAGNOSTIC PROCESS FOR AIRCRAFT FLIGHT-NAVIGATION COMPLEXES

© 2011 A. N. Koptev, A. V. Kirillov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

Problems of flight-navigation complex diagnostic analysis are discussed. Methods of complex morphology description based on graph and tensor theories are suggested. These methods make it possible to simplify the algorithm for the creation of a set of diagnosable parameters on the basis of physical and analytical division into circuits, nodal pairs and open chains. The state evaluation is implemented on the basis of a “compound-tensor” which includes all parameters of separate elements.

Flight-navigation complex, diagnostics, screening, tensor analysis, pattern theory, mathematical modeling.

Информация об авторах

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: теория представлений, моделирование, контроль и диагностика бортовых комплексов оборудования в производстве и эксплуатации летательных аппаратов. E-mail: eat@ssau.ru.

Кириллов Алексей Владимирович, ассистент кафедры эксплуатации авиационной техники. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: технология контроля и диагностики, разработка систем динамического контроля и диагностики пилотажно-навигационных комплексов в производстве и эксплуатации. E-mail: al63-2010@mail.ru.

Koptev Anatoly Nikitovitch, doctor of technical sciences, professor, head of the aircraft maintenance department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), eat@ssau.ru. Area of research: representational theory, modeling, technical diagnostics and assessment in the process of airborne equipment production and technical maintenance.

Kirillov Alexei Vladimirovitch, assistant of the aircraft maintenance department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), al63-2010@mail.ru. Area of research: technical diagnostics and assessment technologies, development of flight-navigation complex dynamic diagnostic systems in the process of production and technical maintenance.