

УДК 519.8 : 658.58

ФОРМАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

© 2019 С.Ж. Куртаев, В.Д. Еленев, А.Н. Коптев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 10.12.2018

Проведена математическая постановка прямой задачи технического обслуживания сложных систем и комплексов из них в символической форме. Данная задача возникает при оценке состояния этих систем и комплексов, осуществляемая в приемлемое время (как правило часть часа) и принятие решения путем использования меры множества признаков, удовлетворяющих соотношениям «норма» и «ненорма» в конечном случае. Проведен анализ существующих подходов к решению этой задачи и предложен новый подход, рассматривающий эту задачу в рамках точного формализма представления образов объектов и систем технического обслуживания как концептуальной основы, базирующейся на синтезе и анализе образов обслуживаемых систем, позволяющей создать универсальный алгоритм оценки и оценивания в целом, который авторы предложат в следующих публикациях, планируемых в ближайшее время.

Ключевые слова: анализ, синтез, образ, оценка, оценивание, бортовой комплекс оборудования, техническое обслуживание.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности эксплуатации воздушных судов является общей тенденцией развития авиатранспортной системы мира, в том числе и России. В настоящее время воздушный транспорт представляет собой важную составляющую инфраструктуры мировой транспортной системы. Аналитические данные удельного веса основных видов транспорта в общем пассажиропотоке в России и некоторых других государствах мира по состоянию на начало 2014 г. приведены в трудах Росавиации. Анализ этих данных показал, что в настоящее время гражданская авиация (ГА) в России является одной из важнейших отраслей страны, удельный вес в обеспечении перевозок, в частности, пассажиров, стремительно приближается к 30% от общего пассажиропотока, реализуемых авиакомпаниями.

В этих условиях и сложившейся конкурентной борьбе авиакомпаний за каждого пассажира, как никогда остро ставятся вопросы повышения эффективности использования воздушных судов (ВС) за счёт снижения временных и материальных затрат на их техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), задержек на устранение неисправностей, выполнение жёстких требований к регулярности и безопасности полетов

(БП), которые обеспечиваются целеустремлёнными системами ТОиР.

Изучение причин происшествий на воздушном транспорте в последние годы показал, что большинство из них обусловлено ошибками специалистов по эксплуатации или так называемым человеческим фактором (ЧФ), являющимся решающим звеном в цепочке событий, которые приводят к авиационным происшествиям, авариям и катастрофам.

После проведения глубоких исследований тенденций развития воздушных перевозок и авиационной индустрии в целом Международная организация гражданской авиации (ИКАО) пришла к выводу, что наиболее эффективным способом повышения БП является внедрение системного подхода ко всем этапам: от создания ВС с соответствующим эксплуатационно-техническими характеристиками до разработки авиатранспортной системы (АТС) с системами летной эксплуатации и ТОиР, реализующих принципы Федеральных авиационных правил (ФАП), гармонизированных с правилами FAR (США) и JAR (ЕС). Этот подход, с одной стороны, реализуется для широкого диапазона сред (различные авиакомпании, типы ВС, бортовые комплексы оборудования (БКО)), в рамках системы ТОиР, работа которой должна сопровождаться высокими скоростями обслуживания, с другой стороны, решать комплексную проблему оценки состояния систем ВС коллективом разнородных специалистов с интерпретацией полученной информации в терминах действий, понятных лицу, принимающему решения (ЛПР). Реализация этого подхода, с одной стороны, базируется на строгих (дискриминантных) методах решения научно-

Куртаев Сабит Жанболатович, аспирант кафедры эксплуатации авиационной техники. E-mail: Sabit5@mail.ru
Еленев Валерий Дмитриевич, доктор технических наук, доцент, директор института авиационной техники. E-mail: astra@ssau.ru

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники. E-mail: eat@ssau.ru

технических задач с применением современных ЭВМ, которые основаны, главным образом, на ряде допущений, упрощающих представления о моделируемых с их помощью реальных процессах. Решение задач этим методом позволяет подобрать адекватный язык описания конкретных объектов ТОиР, разработать на этой основе соответствующие алгоритмы оценки состояния этих объектов и получить, как правило, с помощью ЭВМ, необходимое решение. Достоинством этого метода является однозначность решения и точное знание его применимости. С другой стороны, в случае ТОиР сложных систем БКО бывает трудно построить точную математическую модель оценки ее состояния на базе одного языка.

Тем не менее, инженерно-технический персонал (ИТП) в своей повседневной практике такие сложные задачи решают без применения сложных математических средств при отсутствии полной текущей информации, используя свой опыт.

В этих условиях, как показывает практика реализации этой тандемной схемы оценки состояния БКО и ВС в целом, число авиационных инцидентов в коммерческой авиации, произошедших по причине ошибок ИТП за последние 10 лет выросло более чем на 100% (от 2,6% в 1960 году, до 5,9% в 2000 году), по сравнению с количеством авиационных происшествий, вызванных действиями экипажа.

В истории развития системы обеспечения БП и эволюции процессов её обеспечения, как правило, выделяются следующие этапы (рис. 1).

Анализ этих этапов позволили произвести оценку их достоинств и недостатков. Техническая эра охватывает период с начала 1950-х до конца 1960-х годов.

Система обеспечения БП в этот период базировалась на устранении технических причин отказов в работе функциональных систем ВС. Меры по обеспечению БП, при так называемой «реагирующей» стратегии без учёта человеческого фактора, были основаны на сборе и анализе данных, полученных при расследовании уже свершившегося происшествия, и направлены на недопущение его при дальнейшей эксплуатации ВС.

Эра человеческого фактора охватывает период с начала 1970-х до середины 1990-х годов.

В начале 1970-х годов авиация, благодаря техническим достижениям в области конструкций, двигателей и бортовых систем воздушных судов стала более безопасным видом транспорта и акцент в обеспечении БП переместился в область человеческого фактора, включающего вопросы влияния отдельно взятого специалиста или коллектива из них на функционирование бортового оборудования и совершенствование взаимодействия системы «человек – машина». ИКАО было признано, что при качественном изменении бортового оборудования современного ВС необходимо учитывать психологическую комфортность рабочей обстановки, общее психофизиологическое состояние, определяемое средой обитания, информационной комфортностью рабочего места (программных и аппаратных средств переработки информации и ее отображение оператору, реализующего ТОиР авиационной техники) (рис. 2) [1].

Такая стратегия учета человеческого фактора получила название «ретроактивной».

В настоящее время акценты обеспечения БП базируются на организационно-структурных и управленческих методах, реализующих системный подход к повышению уровня БП.

Организационная эра, начало которой относят к середине 1990 гг. В этот период БП стала рассматриваться системно, т.е. объединяя организационные, человеческие и технические факторы для решения этой проблемы.

В соответствии с требованиями Европейского агентства по авиационной безопасности (EASA) для усиления контроля за организационными процессами ТО с целью повышения уровня БП в авиакомпаниях создаются, в рамках общих рекомендаций, системы управления качеством эксплуатации ВС (СУКЭ) (рис.3), регламентирующие в основном верхний уровень иерархии принятия решений.

Однако создание таких систем, с одной стороны, требует для своей реализации расхода различных видов ресурсов и времени, а с другой, - учета последних достижений научно-тех-

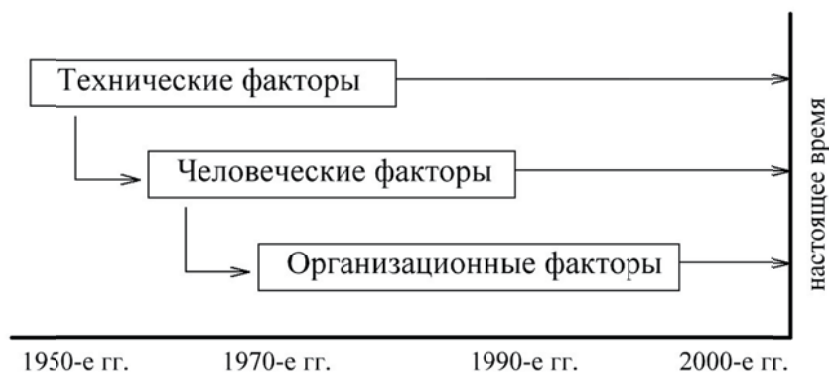


Рис. 1. Эволюция процесса обеспечения безопасности полетов

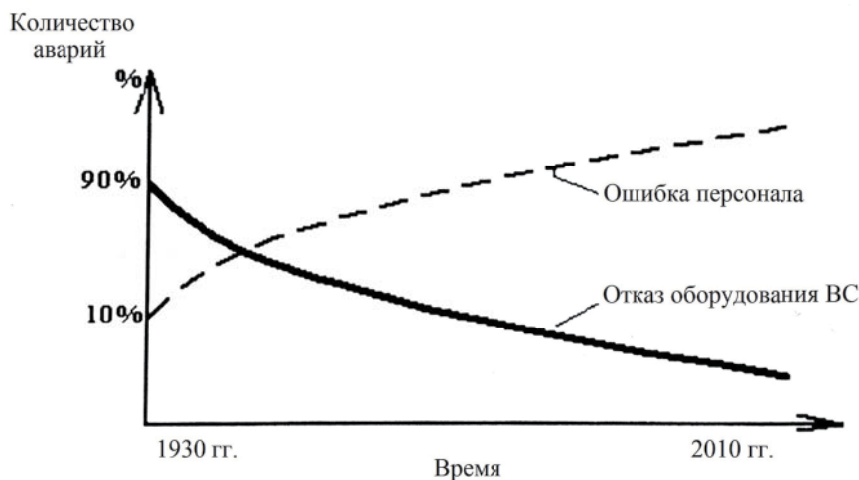


Рис. 2. Изменение величины доли человеческого фактора в аварийности ВС



Рис. 3. Структура системы управления качеством эксплуатации авиапредприятия в соответствии с требованиями EASA

нического прогресса, реализуемых тандемными системами [2].

Проектирование СУКЭ в рамках предложенного авторами подхода определяет собой целенаправленную деятельность, теория которой соединяет логическую структуру математической теории с физической реализуемостью. Это существенно связано с созданием концептуальной модели, обладающей адекватностью как к объекту проектирования, так и задаче, в рамках решения которой создается, в нашем случае, система эксплуатации ВС конкретной авиакомпании.

В общем случае процесс проектирования СУКЭ распадается на две стадии:

- общесистемную – разработка концептуальной модели на базе изучения проблемы и исследования проблемной ситуации, результатом которых являются образы целеустремленной системы (ЦУС) и целенаправленных процессов (ЦНП) с включением человека-специалиста с его знанием и уникальной способностью принимать решения;
- системотехническую – предварительное структурно-параметрическое проектирование, на которой анализируется структура ЦУС и ЦНП.

На базе проведенных авторами исследований и решения ряда практических задач ТОиР сложных систем БКО ВС была предложена новая общая структура процесса решения задач чело-

веком на первой стадии в рамках объединения трех типов решения [3] на основе точного формализма (рис. 4).

В рамках этой структуры на основе системного подхода и теории синтеза образов вводится понятие образа, исходными объектами которого являются образующие, конфигурации, идеальные и деформированные изображения, классы образов, использующиеся в качестве концептуальной модели синтеза и анализа образа, создаваемого на этой стадии проектирования СУКЭ [4,5,6].

Первый этап решения задачи проектантом заключается в формализации, которая служит для описания или представления исходного объекта в виде стандартных блоков – знаков или образующих, порождающих при описании образов отдельных систем булеву алгебру, т.е. описательный язык, содержащий начальные предикаты и логические связи «ИЛИ», «И», «НЕ», импликация и т.д.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Прямая задача этого этапа может быть сформулирована следующим образом. Пусть имеется некоторая ситуация, т.е. непустое упорядоченное множество совместимых состояний непро-

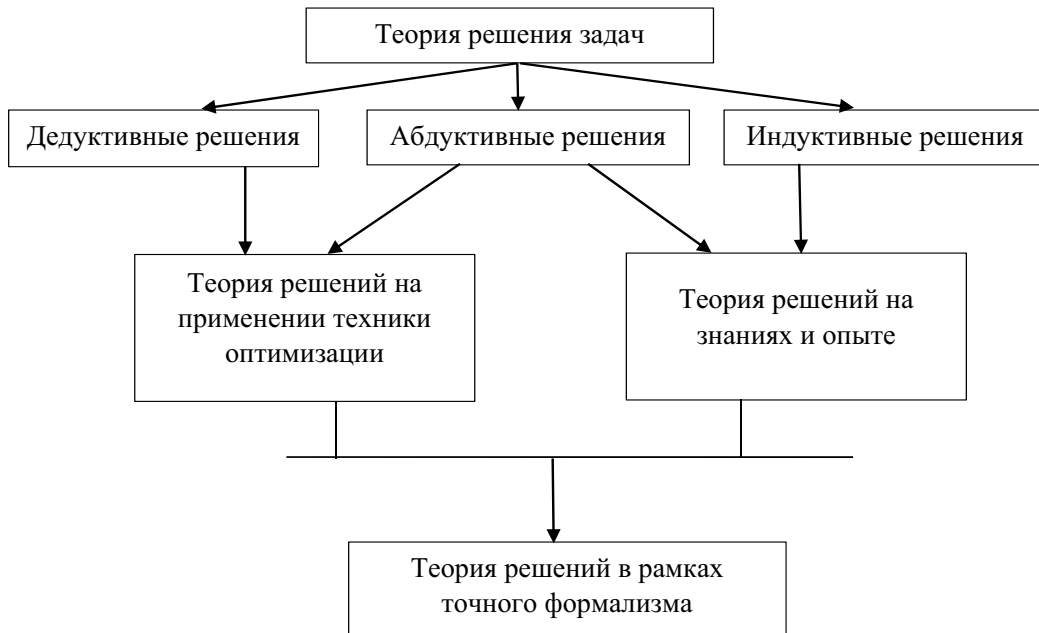


Рис. 4. Общая структура решения задачи ТОиР

изводных объектов – образующих системы, которые будем обозначать через A , а символом для отдельных первичных элементов будет служить $a, a \in A$. Требуется определить непересекающиеся классы образующих $A^\alpha, A^\alpha \subset A$, где α – индекс класса образующих

$$A = \bigcup_{\alpha} A^\alpha \quad (1)$$

и определить их существенные свойства и отношения, т.е. признаки, показатель, по которому можно определить или описать образующую, второй характеристикой образующей являются связи, в которые она может вступать, реализуемых через ее входы и выходы.

При решении большинства прикладных задач будут использоваться отображения множества конкретных образующих A в себя, т.е. преобразования подобия $A \rightarrow A$. В нашем случае образующие обладают внутренней структурой и в них также могут быть выделены более простые составляющие, т.е. они по существу являются образующими – множествами или подмножествами опорного пространства X , в частности, множество объектов СУКЭ. Эти объекты задаются при помощи указания решаемых ими задач (рис. 3), а их образующие a могут быть решающими элементами, т.е. образующими второго уровня иерархии. Такой подход позволяет выделить элементы, их границы, связи и функции. С этих позиций объект более высокого уровня иерархии оказывается и целостным и состоящим из частей-элементов (образующих) первого уровня, т.е. он не может не быть связным, не может не иметь сети связей, в узлах которой находятся элементы исходного первого уровня иерархии.

Таким образом, первый этап первой стадии построения концептуальной модели создавае-

мого объекта состоит в определении множества образующих (элементов), при помощи которых можно описать образы объектов проектирования ЦУС и ЦНП. Они должны служить объективными элементами образов проектируемых объектов и обеспечивать адекватное и сжатое описание исходных данных в терминах, которые не содержат других терминов, т.е. логически простые термины – предикаты. В тоже время для обеспечения адекватного описания образов необходимо, чтобы образующие содержали информацию, важную для конкретного приложения. Например, любую образующую можно описать булевым выражением, содержащим значения утверждений, включающих предикаты типа:

$$P(k)=p, \quad (2)$$

где P – некоторое входное свойство, k – предикат вида $k \in K$, а p – значение некоторого свойства, отличного от входного. В заключение первого этапа следует заметить, что различные постановки задачи при одних и тех же исходных данных обуславливают выбор разных образующих A , которые представляют множество начальных предикатов описательного языка.

Вторым этапом решения задачи общесистемного проектирования является задача описания основных моделей решения ряда специфических подзадач, возникающих при ТОиР в рамках СУКЭ, т.е. синтеза моделей организационной системы решения конкретной задачи.

В последнее время все большее значение придается задаче структурного описания сложных дорогостоящих систем, процессам, управлениям, цель которых заключается в определении процесса синтеза объекта, в частности СУКЭ, лежащего в основе его анализа. Реализация такого подхода позволит устранить много-

вариантность проектных, экономических и организационных решений.

В сущности, решается проблема, которая состоит в том, чтобы сделать выбор моделей решения множества задач, т.е. построения конфигураций на базе нетривиальных разбиений множества абстрактных объектов, которые образуют среду, представляемую упорядоченной парой $\langle \mathcal{A}, \mathcal{P} \rangle$, где \mathcal{A} – абстрактное множество образующих, заданное предикатами, а \mathcal{P} – семейство нетривиальных разбиений, элементы которого конечны и каждый элемент из \mathcal{P} – конечное разбиение или подсемейства \mathcal{P}' . Таким образом, тройка $\langle \mathcal{A}, \mathcal{P}, \mathcal{P}' \rangle$ определяет среду, где $\langle \mathcal{A}, \mathcal{P} \rangle$ – среда и \mathcal{P}' – подсемейство из \mathcal{P} или состав с образующих, определяющих частично конфигурации.

Определив множество образующих, под которым мы понимаем множество, имеющее описание в виде начальных предикатов. Построение конфигураций, для решения конкретных задач СУКЭ влечет за собой разбиение элементов на подсемейства \mathcal{P}' и введения определенных правил их объединения в конфигурации, которые определяются составом \mathcal{P}' - с и структурой $(c) = \sigma$, которые определяют их регулярность, т.е. допустимость конфигураций [4].

В соответствии с определенными правилами и с формальных позиций эти конфигурации являются формулами, образованными из подформул образующих. Правила формирования отдельных структур СУКЭ базируются на требованиях ИСАО и EASA и Федерального Закона №184-ФЗ от 27.12.2002 о техническом регулировании. Выполнение этих правил приводят к типичным регулярностям.

Формализм синтеза – описания и анализа регулярных структур, таких как «конфигурация», «изображение» в наиболее общем виде может быть представлена следующим образом.

Для получения дискриминантного описания регулярных конфигураций будем использовать правило порождения. Правило композиции образующих будем задавать с помощью грамматики, допускающей комбинацию элементарных предикатов, при этом результирующие описания не являются недопустимо длинными.

Так как объекты ТОиР сложны и число возможных описаний велико, то для определения и распознавания их образа необходимо описание сложного объекта в виде иерархической структуры более простых подобразов. Это положение остается в силе и для описания конфигураций, которые, как правило, в нашем случае будут описываться некоторой абстрактной структурой, в нашем случае, это граф, в частности, граф отношений, представления структурной информации образа организационной структуры.

Таким образом, этот этап синтеза связан с

языком графов, который позволяет изобразить наглядно некоторую ситуацию в виде рисунка, состоящего из точек (вершин) a_1, a_2, \dots, a_n , представляющих множество A всех образующих, и дуг (ребер) l_1, l_2, \dots, l_m , соединяющих, в нашем случае, часть этих точек, обозначается символом L , т.е. граф, представляющий конфигурацию подобного типа (частичное описание объекта) полностью задается структурой упорядоченных соединений σ в рамках пары (A, L) .

Применение языка теории графов позволяет, во-первых, рассмотреть широкий круг вопросов синтеза структур СУКЭ, состоящих из выделенного набора образующих, подобразов (конфигураций), во-вторых, использовать алгоритмы решенных задач о достижимости и связанности, построения сложных компонент и баз и, как следствие, образованию ансамблей из всех образующих и управления ими, а также решение задач о максимальных и минимальных покрывающих множествах, очень важных для создания оптимальных структур СУКЭ, размещение ресурсов, доставку пассажиров и грузов, максимизацию ее пропускной способности и другое.

Структура конфигураций, как указано выше, представляет собой множество σ соединений, вводимых между образующими подсемейства \mathcal{P}' на основании множества правил и ограничений \mathcal{R} , определяющих регулярность конфигураций. Множество всех конфигураций, необходимых для решения всего комплекса задач ТОиР, получаемых с помощью множества \mathcal{R} , обозначаемого для каждой конфигурации $b_n(\mathcal{R})$, где n – число образующих в подсемействе \mathcal{P}' . Для множества всех допустимых соединений σ вводится понятие типа соединений, обозначаемого в дальнейшем символом Σ .

В рамках предложенного в [4] формализма, тип соединения Σ образующих в конфигурации Σ_n , описывающих регулярную структурную информацию, формальным представлением которой является граф $G_n = (A, L)$, заданный как n вершин подсемейства \mathcal{P}' .

Приведенные выше положения позволяют нам определить важные для описания конфигураций типы соединений. В частности, для задания состава (c) конфигурации нами будет использоваться формула для соединений $\sigma(c) \in \Sigma = \emptyset$, т.е. $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – множество образующих.

Вторым типом соединения, широко используется и другой подход к представлению конфигураций, являющийся «частичным порядком». В рамках теоретико-множественного представления конфигурации, например, конкатенациями – цепочками элементов a_1, a_2, \dots, a_n есть частично упорядоченное множество $A \subseteq X$, где элемент $x \in X$ есть верхняя граница (супремум) множе-

ства A , если для любого $a \in A$ имеет место $a \leq x$ или нижняя граница (инфимум) – элемент $x \in X$ множества A , если для любого $a \in A$ $x \leq a$. Из этого следует, что множество A имеет единственную верхнюю границу, аналогично для нижней границы, что обеспечивает их анализ без чрезмерно большого объема операций.

В рамках графового представления соединения образуют частичный порядок, который задается направлением дуг. Как правило, в процессе синтеза конфигурации s , имеющих структуру $\sigma \in \Sigma$, будут регулярными [6].

Рассмотренные нами регулярные структуры-конфигурации обладают общим свойством – они сформулированы на математическом языке теории графов, обладают свойственной им внутренней геометрией и являются формулой представления связей, отношений, существующих между образующими подсемейства \mathcal{P} . Регулярные конфигурации, по существу, представляют собой логические конструкции, введенные для того, чтобы можно было дать точные определения для различных понятий этих конструкций. Эти конфигурации, как правило, не наблюдаемы с точки зрения процессов, протекающих в них, обычно они представляют на первом этапе полиномиальные образы $X=R$ и A^α включает все образующие $A^\alpha \subset A$; S – преобразование подобия. Формализм целенаправленных процессов (ЦНП), в частности оценки состояния систем БКО в рамках целеустремленных систем (ЦУС) должен определять, как из регулярных конфигураций получить точную оценку состояния конкретной системы этого оборудования. Например, если ЦУС располагает некоторым набором точных приборов, пользуясь которыми оператор получает полную информацию о конфигурации s , позволяющую однозначно идентифицировать регулярную конфигурацию s (формула оценки одного из параметров системы) на множестве регулярных конфигураций $b_n(\mathcal{R})$, то в случае неполноты информации он в состоянии идентифицировать конфигурацию s точно до принадлежности ее некоторому подмножеству $b_n(\mathcal{R})$, т.е. частично. Для получения полной информации о состоянии системы введем на множестве регулярных конфигураций $b_n(\mathcal{R})$ отношение эквивалентности n , например, конфигурации s_1 и s_2 при наличии эквивалентности $s_1 \vee s_2 \in b_n(\mathcal{R})$ воспринимаются оператором как идентичные. Правило идентификации n дает интерпретацию регулярной конфигурации в категориях ее функционирования, так, как она воспринимается оператором.

Классы эквивалентности, индуцированные на множества регулярных конфигураций $b_n(\mathcal{R})$ в соответствии с [4] будем называть правилом идентификации n , которые представляют собой изображения I , являющиеся функциями, кото-

рые выражают значение формул. Одной функции (изображение полное представление о состоянии системы), как правило, соответствуют несколько формул, что требует введения соединителей σ , которые объединяют существующие регулярные конфигурации в новые регулярные конфигурации, которые в рамках формализма теории образов описывают возникновение наблюдаемых объектов или их состояний, т.е. получить полную информацию о них.

Таким образом, пространство конфигураций $b_n = \langle A, S, R \rangle$ в сочетании с правилом идентификации n и множеством соединителей $\{\sigma\}$ образует некоторую алгебраическую систему или алгебру изображений F . Для оценки, например, состояния конкретной системы БКО достаточно изображения ϕ , являющегося единичным элементом алгебры изображений. Для алгебры дискретных изображений I_1, I_2, \dots, I_k (отдельные подсистемы) можно рассматривать как некоторую коммутативную подгруппу с преобразованиями подобия дистрибутивных относительно сложения [5].

Рассмотренная выше ситуация связана с использованием фиксированного правила идентификации n на b . Однако в реальных случаях в оценке состояния БКО и ВС в целом учувствуют несколько операторов (бригада), использующих различные правила идентификации n на множестве конфигураций $b_n(\mathcal{R})$. Корректное правило идентификации в этом случае задается объединением $v = v_1 \vee v_2, \dots, v_n$, которое должно удовлетворять определению 3.1.1 из [6].

Таким образом, для оценки состояния БКО и ВС в целом нам известно пространство конфигураций

$$b_n(\mathcal{R}) = \langle A, S, R \rangle, \quad (3)$$

регулярность каждой из которых представлена отношением связи ρ , а общая регулярность определяется правилом

$$R = \langle \rho, \Sigma \rangle. \quad (4)$$

Все это определяют абстрактную алгебру изображений

$$F = b(\mathcal{R}) / v \quad (5)$$

с всевозможными способами соединения на F , которые могут быть реализованы при помощи координат связей сначала образующих в конфигурации, а затем конфигураций в изображении. При этом выбор системы координат не должен влиять на суть дела, например, определение состояния БКО и ВС в целом. Биективные отображения, в частности, $A \rightarrow A$, обеспечивают инвариантность связей и индекса класса образующих. Они образуют в общем случае группу преобразований. Это сложные математические преобразования, которые необходимо связать с физическими изменениями как самих образующих, так и конфигураций из них.

В проблемах определения технической (физической) оценки состояния БКО и в целом ВС, необходим переход от локальной регулярности отдельных систем к глобальной всего комплекса этого оборудования.

В нашем случае изображения F , т.е. оценка состояния ВС в целом, состоит из всех функций – графов, отношений, изображений. Для представления глобальной оценки, например, оценки состояния ВС в целом, расширяем изображение путем организации множества инженерных задач (множества конфигураций) оценки параметров всего комплекса, представляющие целевые модели объекта $M(O)_{ц}$, отображающие в явной форме систему «объект – среда – локальная оценка».

Первый логический шаг такой организации заключается во введении модели двойственной сети [7], замещающей отдельные изображения (функции матрицы – множество параметров), несущих информацию о связанном состоянии того или иного объекта, которая представляет собой по существу множество графов, соответствующих заданному набору ветвей, т.е. каждый граф представляет собой ветвь, в которой отдельные параметры заменяются функциями или n -матрицами различной размерности в рамках постулата первого обобщения, сформулированного Г. Кронем [7]. Целью такого подхода является сокращение в процессе анализа числа уравнений. Это существенно облегчает математические преобразования и решение задач. Как правило, решение задач оценки объекта или его состояния лишь изредка связаны с нахождением неизвестных параметров. Чаще целью является установление соотношений между известными параметрами, удовлетворяющими некоторому критерию эффективности или совершенства. Функция ценности или качества, синтезируемого или анализируемого $K(x)$, которая обобщенно характеризует соответствие данного объекта по ряду особо выделяемых свойств на первой стадии внешних, а на второй – внутренних, а также параметров функционирования систем сложных объектов, сравнивая полученные оценки объектов с их регулярными.

ПРОБЛЕМА ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ТОиР

Глобальная цель, например, обобщенная оценка состояния ВС в целом – это решение проблемы оценки выделенного ВС – предполагает достижение некоторого набора частных (субординированных, локальных) целей, совокупность которых интегрирована в глобальной цели. Входящие в состав подобного набора частные или локальные цели представляют собой требования к значениям параметров конкретной системы БКО ВС.

Таким образом, совокупность конфигураций, каждая из которых является в простейшем случае конкатенацией – путем, составленным из набора образующих (ветвей) в сетевом представлении, а в более сложном – ориентированный граф или конечное множество путей, выделенное в нем, составляет векторное пространство сети, сохраняющие целостность образующих.

В соответствии с введенными понятиями локальной и глобальной цели и их связи с конфигурацией, определяющей локальную оценку объекта или его состояния и их совокупности, связанной с глобальной оценкой – изображениями, что требует формирования некоторого пространства конфигураций, т.е. множества путей в сети (3), а затем его сравнения с регулярными.

Как отмечено выше из множества свойств, присущих объектам БКО, для их характеристики соответствия или различия требованиям существенными являются правила идентификации для отдельных систем – конфигураций, описываемых ее составом и структурой, а для ВС в целом – сетью из конфигураций. Вводя это правило n мы формализуем оценку соответствия или не соответствия, записывая для базовой (заданной) конфигурации c и полученной в результате контроля c'

$$cvc', \quad (6)$$

тогда при выполнении требований правила идентификации мы получаем изображение I (6) на базе отношения эквивалентности n и наблюдения других условий [6], которые дают оценку состояния для конфигурации $I(c)$ и для сети из них $I(F)$.

Для поиска несоответствия базису либо конфигурации $I(c)$, либо сети $I(F)$ мы вводим три понятия: «преобразование», «группа», «инвариантность», которые образуют теорию анализа изображений для решения задачи распознавания состояния отдельных объектов или всего комплекса БКО. При этом нас главным образом будут интересовать гомоморфизмы, т.е. такое отношение между базовыми и полученными изображениями систем A и $A\phi$, которое можно записать следующим образом:

$$A(a_1, a_2, \dots, a_n) = A'(a'_1, a'_2, \dots, a'_n). \quad (7)$$

В рамках нашего подхода будем отмечать, что полученное изображение – совокупность параметров текущего состояния объекта ТОиР представляет гомоморфный образ, модель первой совокупности требуемых параметров.

Таким образом, ТОиР укладывается в формализм образов, так как они комбинируются посредством исчисления высказываний или предикатов первого порядка, исходя из множества A относительно простых признаков, определяющих сходство или различие объектов

обслуживания или, с общих позиций, объектов познания. Признаки сходства или различия являются при техническом обслуживании (ТО), представляемые двоичными переменными, принимающими два возможных истинностных значения «норма» и «не норма». С этих позиций эти признаки служат образующими состояния, например, систем БКО, а конфигурации и изображениями являются формулы или функциями, построенными как отображения в булеву алгебру A на базе правил объединения \cup , пересечения \cap и взятия дополнения $\bar{}$, т.е. для двух конфигураций: регулярная – записанная в виде

$$C = \{a_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n_j\}, \quad (8)$$

где $n_j \leq p$, так что C является комбинацией $C_i = \{a_{ij}, i = 1, 2, \dots, n_j\}$ и построенная из образующих, полученным при ТО $C' = \{a'_{ij}, i = 1, 2, \dots, m'; j = 1, 2, \dots, n'_j\}$, $n'_j \leq p$, где p – число образующих и подграфов с постоянной графовой структурой объекта ТО, они будут отождествляться (соответствие), $c \vee c'$ или другими словами, конфигурации идентифицируются по их логическим функциям

$$\bigwedge_{i=1}^m \left(\bigvee_{j=1}^{n_j} a_{ij}(x) \right) = \bigwedge_{i=1}^{m'} \left(\bigvee_{j=1}^{n'_j} a'_{ij}(x) \right) \forall x \in X. \quad (9)$$

Теперь остановимся на глобальной оценке состояния ВС в целом, обслуживания A или отдельных систем БКО, которая связана с принятием решения, т.е. с оцениванием.

Глобальная оценка состояния БКО и ВС в целом в предлагаемой работе базируется на физическом понятии «тензор», введенном Г.Кроном и составляющим основу этой теории вместе с понятиями двойственной сети, геометрического объекта, тензора преобразования и связанных с ними таких понятий как система координат (базовая и частная), матричное уравнение, где большое количество n -матриц результатов оценки представляют геометрический объект A , соответствующий физическому объекту [7].

Двойственная сеть, представляющая одномерную структуру сложных систем, в частности, БКО и процессы ТО, т.е. поведение этой сети, определяют инварианты, связывающие параметры сети, базисы путей, их ориентацию и матрицы преобразования. Исходя из этого создается базисная система инвариантов группы матриц преобразования соединения и разъединения, лежащих в основе оценки состояния конфигураций объектов ТОиР БКО [8].

Сеть систем БКО, характеризуемая схемой связей элементов (образующих – ветвей), т.е. составом и структурой путей (конфигураций), в котором ветви задают отдельные измерения и определяют размерность пространства. Полный набор линейно независимых путей для конкретной сети объекта БКО образует его базис, в котором наборы ветвей играют роль осей координат в пространстве сети, каждое измерение в нем определяет параметр сети.

Базис системы, построенный на основе сети, заданной ее технической документацией, является эталоном, построенным из измерений ветвей, определенных в этой сети. Построение частного базиса путей из измерений ветвей, полученных при ТО, осуществляется путем преобразования в базис путей сети из измеренных в процессе реализации ТО. Построение частного базиса или в заданной сети пути выражается через пути в ветвях:

$$P_\beta = C_\beta^\alpha \cdot P_\alpha, \quad (10)$$

где P_α – пути сети α (эталона); P_β – пути сети β (частная); α и β – принимают значения номера пути 1, 2, ..., n ; C_β^α – матрица коэффициентов выражения путей в эталонной сети через пути в ветвях с полученными при ТО измеренными значениями.

Таким образом, при оценке состояния системы БКО имеются три результата сравнения путей (для электрических систем – цепей), которые связаны с измерениями ветвей в эталоне, а другие с измерениями, полученными в процессе ТОиР, их множество в сети представляют векторным пространством. При оценке состояния будем рассматривать сложение и вычитание, которое дает сумму или разность чисел, определяющих три варианта оценок состояния: полное совпадение, частичное совпадение, полное несовпадение, которые образуют понятия «норма», «допустимое отклонение от нормы», «ненорма». Такая система оценок принята при оценивании современных ВС.

Для того, чтобы методы оценок были эффективными вводим свойства для каждого из этих состояний, которые представлены, с общих позиций, действительными числами. Таким образом, в любой системе БКО с конечным числом входных свойств каждый образ системы представляется вектором в пространстве n действительных чисел, а в основу оценивания состояния систем БКО положена разделяющая функция f .

В основу выбора разделяющей функции f положено евклидово расстояние. Базируемся на предположении о том, что в пространстве n параметров существует такая метрика ρ , что если A (эталон) – множество значений всех параметров, помеченных как принадлежащих к понятию «норма», а B (объект ТО) – множество значений всех полученных параметров, как принадлежащих к одному из трех понятий, то f задается формулой

$$f(x) = \overline{\rho}(x, y) \Big|_{y \in A} - \overline{\rho}(x, y) \Big|_{y \in B}, \quad (11)$$

где $\overline{\rho}$ означает среднее значение.

Эта мера может применяться для вычисления расстояния между объектами описания или количественными, качественными признаками. Ее использование целесообразно, так как признаки эталона и объекта однородны по смысловой нагрузке и одинаково важны для оценивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статья посвящена формальным основам оценивания сложных систем БКО (объектов) и ВС в целом и является первой в серии статей сотрудников кафедры эксплуатации авиационной техники по вопросам оценивания БКО при техническом обслуживании и ремонте воздушных судов гражданской авиации. Предложенная универсальная модель решения комплекса задач оценивания технического состояния объектов ТОиР, сформулированных на основе формирующейся области исследований, называемой искусственным интеллектом и ее части распознавания образов как отдельной составляющей. Такая постановка требует прежде всего четкого формулирования понятий и определений, используемых в этой области. Авторы в рамках выполненных исследовательских работ сделали попытку обобщить теоретические результаты в этом направлении. Приложения этих результатов будут описаны в дальнейших статьях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления. Новосибирск: Наука, 1988. 326 с.
2. Искусственный интеллект – применение в интегрированных производственных системах [под ред. Э. Кьюсиака]. М.: Машиностроение, 1991. 542 с.
3. Александров Е.А. Основы теории эвристических

- решений. М.: Советское радио, 1975. 255 с.
4. Гренандер У. Лекции по теории образов. Синтез образов. Том 1. М.: Мир, 1979. 384 с.
5. Гренандер У. Лекции по теории образов. Анализ образов. Том 2. М.: Мир, 1981. 447 с.
6. Гренандер У. Лекции по теории образов. Регулярные структуры. Том 1. М.: Мир, 1983. 432 с.
7. Крон Г. Тензорный анализ сетей. М.: Советское радио, 1978. 720 с.
8. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей. М.: Центр информационных технологий и природопользования, 2007. 496 с.

REFERENCE

1. Gorskiy Yu.M. Sistemno-informatsionnyy analiz protsessov upravleniya [System-information analysis of management processes] Novosibirsk: Nauka, 1988. 326 p.
2. Artificial intelligence in industry. Artificial intelligence implications for CIM. Edited by Professor A. Kusiak. UK: IFS (Publication) Ltd, 1988. 542 p.
3. Aleksandrov E.A. Osnovy teorii evristicheskikh resheniy [Fundamentals of the theory of heuristic solutions] Moscow: Sovetskoe radio, 1975. 255 p.
4. Grenander U. Pattern synthesis. Lecture in Pattern Theory. V.1. New-York, Springer-Verlag, 1976. 384 p.
5. Grenander U. Pattern synthesis. Lecture in Pattern Theory. V.2. New-York, Springer-Verlag, 1978. 447 p.
6. Grenander U. Regular structures. Lecture in Pattern Theory. V.3. New-York, Springer-Verlag, 1981. 432 p.
7. Gabriel Kron. Tensor analysis of networks. J. Wiley and Sons, 1949. 635 p.
8. Petrov A.E. Tenzornyy metod dvoystvennykh sistem [Tensor method in dual networks]. Moscow: Center IT&P, 2007. 496 p.

FORMAL FOUNDATIONS FOR EVALUATION OF THE STATE OF ON-BOARD EQUIPMENT COMPLEXES IN OPERATION OF AIRCRAFT

© 2019 V.D. Elenev, A.N. Koptev, S.Zh. Kurtaev

Samara National Research University named after academician S. P. Korolev

A mathematical formulation of the direct problem of maintenance of complex systems and complexes of them in a symbolic form has been carried out. This task arises in assessing the state of these systems and complexes, carried out at an acceptable time (usually part of an hour) and making a decision by using a measure of a set of characteristics that satisfy the relations “norm” and “abnorm” in the final case. An analysis of existing approaches to solving this problem has been carried out and a new approach has been proposed that considers this problem within the framework of the exact formalism of the representation of objects’ images and maintenance systems as a conceptual basis based on the synthesis and analysis of the images of the serviced systems that makes it possible to create a universal estimation and estimation algorithm in general, which the authors will propose in the next publications, planned in the near future.
Keywords: analysis, synthesis, pattern, evaluation, onboard equipment, technical maintenance.

Sabit Kurtaev, Postgraduate Student of the Department of Aircraft Maintenance. E-mail: Sabit5@mail.ru

Valery Elenev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of Institute of Aeronautical Engineering. E-mail: astra@ssau.ru

Anatoly Koptev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Aircraft Maintenance. E-mail: eat@ssau.ru