

УДК 658.58

Коптев<sup>1</sup> А.Н., Куатов<sup>2</sup> В.Ж., Куртаев<sup>2</sup> С.Ж.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева (Самарский университет)» Самара, Россия

<sup>2</sup>Военный институт сил воздушной обороны Республики Казахстан им. Т.Я. Бегельдинова, Актобе, Казахстан

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛИЗОВАННЫХ ЗНАНИЙ

*Статья посвящена вопросам развития методов и средств технического обслуживания и ремонта (ТОиР) сложных комплексов и изделий машиностроения, в том числе и авиационной техники (АТ). Дальнейшее совершенствование организационных структур эксплуатации на основе широкого внедрения информационных технологий и интеллектуальных систем настоятельно требуют разработки как общих, так и частных представлений об изменениях состояний объектов обслуживания в процессе их технической эксплуатации. Рассматривается необходимость создания систем управления состоянием сложных объектов технического обслуживания нового типа – систем диагностического управления, которая формирует свои управляющие воздействия на основе контроля текущего состояния и его глубокого анализа на базе математической модели, позволяющей одновременно оценивать изменение структуры и процессов, представленных двойственной сетью*

#### Ключевые слова:

Модель, диагностика, автоматические средства контроля, техническое обслуживание, образ

На современном этапе развития систем ТОиР на основе внедрения диагностического управления состоянием объектов обслуживания и упреждающих технологий не сформировано единых подходов и концепций, позволяющих решить теоретические и практические вопросы синтеза технологических процессов ТОиР, предотвращающих авиационные происшествия по организационным причинам. В то же время существует большое количество научных направлений, которые связаны с решением конкретных задач, в том числе и в области ТОиР.

В указанных направлениях исследований процессов технической эксплуатации ВС ГА следует отметить успешные работы отечественных ученых Смирнова Н.Н., Воробьева В.Г., Барзиловича Е.Ю., Сакача Р.В., Мулкиджанова И.К., Ицковича А.А., Андропова А.М., Чингучина Ю.М., Деркача О.Я., Петрова А.Н., Майорова А.В., Фролова В.П., Степанова С.В., Сенника В.Я., Кирина В.В., Дедкова В.К., Громова М.С., Шапкина В.С., Карасева В.Я., часть наиболее важных работ которых аннотирована в монографии, а также работ зарубежных ученых, перечень которых представлен в монографии Д. Кокса, В. Смита.

В результате этих исследований на основе функционального моделирования систем и процессов технической эксплуатации воздушных судов гражданской авиации разработаны формализованные методы и практические методики формирования эксплуатационно-технических характеристик изделий АТ и режимов их ТОиР, сформулированных в монографии С.В. Далецкого.

Как показали проведенные исследования, для решения определенного круга задач ТОиР разработано множество моделей, отражающих отдельные аспекты процессов технического обслуживания, практически не связанных в единую обобщенную модель.

Рассмотрим наиболее широко используемые модели при описании и решении задач моделирования технологических процессов технического обслуживания (ТО). Это прежде всего линейные модели. Относительная простота линейных моделей привела к широкому их распространению как для описания стационарных, так и нестационарных объектов и процессов. Однако многомерность технологических процессов, невозможность оценки всех параметров этих процессов ограничивают применение стационарных линейных моделей. Для многомерного случая эта модель применяется, если система полностью управляема и наблюдаема. Описание технологических процессов ТО и управления ими стохастическими моделями с применением полных вероятностных характеристик или моментных характеристик случайных функций используется для теоретических исследований этих процессов в многомерном случае и лишь для одномерного случая имеет практическое значение.

Наряду с аналитическими моделями широко применяются экспериментальные методы построения моделей по входным и выходным сигналам объекта, т.е. методы идентификации. Эти методы находят применение в том случае, когда аналитические методы чрезвычайно сложны. Кроме того, методы и

теория идентификации в совокупности с существующими методами линеаризации дают возможность описать реальные технологические процессы линейными стационарными моделями. Для построения описания технологических процессов ТО с помощью линейных моделей применяются дисперсионные методы идентификации, методы представления с помощью разложения в ряд, методы кусочной аппроксимации и ряд других, менее распространенных методов. Предложенные математические модели и методы лишь частично решают теоретические вопросы создания современных подходов к синтезу технологических процессов на базе широкого использования информационных технологий. Кроме этого, большинство рассмотренных выше моделей и методов применяются в основном при описании непрерывных технологических процессов.

Теоретические методы построения описания дискретных технологических процессов начали широко разрабатываться лишь в последние десятилетия прошлого века. В этом плане следует отметить работу.

В последнее время предпринимались попытки построения общей теории управления технологическими процессами ТО на базе языка теории управления. Однако многомерность, нелинейность, наличие большого количества внутренних обратных связей, отсутствие полной информации о взаимосвязи между переменными в динамике не позволяют получить точное математическое описание реального технологического процесса.

Технология ТОиР развивалась главным образом на основе обобщения опыта эксплуатации. Технологический анализ изменений конструкций и систем воздушных судов строится на основе принятия специалистом решения, формализация которого представляет одну из сторон научного направления и искусственный интеллект. Результаты этого анализа дают лишь частичное решение задач проектирования оптимальных технологических процессов в отсутствие единого математического аппарата. Анализ точности и устойчивости этих процессов проводится в отдельных случаях. Задачи оптимального синтеза процессов упреждающего обслуживания на базе диагностической информации практически не ставились.

Объективной причиной отставания научного уровня упреждающих технологий является исключительная сложность получения формализованного описания технологических процессов ТОиР с учетом всех аспектов и реализаций с учетом многообразия разнородных явлений и человеческого фактора.

Оценка технического состояния сложных системы бортовых комплексов оборудования воздушных судов при их техническом обслуживании может быть сформулирована как задача распознавания образов. Для получения решения в рамках такого подхода прагматика и семантика этой задачи должна быть представлена в формализованном виде. При этом задача становится одновременно и более абстрактной, и более строгой. Что бы эти условия были выполнены необходимо, прежде всего, ее сформулировать в замкнутой форме [1].

В наиболее общем виде условия задачи оценки технического состояния систем бортового комплекса оборудования воздушных судов могут быть сформулированы следующим образом. Найти в заданном множестве  $x \in X$  элементов бортовой системы – элемент или комбинацию из них, удовлетворяющую множеству ограничений  $K(x)$ , характеризующих состояние этой системы.

Примером такой постановки может служить сформулированная в неявном виде задача оценки технического состояния: «из множества параметров  $x$  выбрать такие, которые для решения этой задачи требуют применения исчисления высших порядков или модальной логики, что, в свою очередь, требует создания интеллектуальной системы, включающей либо специалиста высокой квалификации, либо специалиста, реализующего алгоритм как последовательность заданных действий, который должен быть определен в рамках разрабатываемого ситуационного исчисления».

Для решения таких задач в работе построена логико-лингвистическая модель, позволяющая использовать отношения между формально построенным ситуационным исчислением и той областью действительности (ТОиР), которая в ней отражается. Метод, посредством которого в ситуационном исчислении удается погрузить задачи высших порядков (оценка состояния объекта ТОиР) в рамки логики первого порядка, состоит во введении функциональных аргументов в предикаты.

Предлагаемые ситуационные исчисления оценки состояния ТОиР может быть представлено следующим образом:

$$TF = (P, D, C, A, O), \quad (1)$$

где TF – ситуационные исчисления; P – множество предикатов; D – множество операторов; C – множество состояний; A – система аксиом; O – множество объектов ТОиР.

Решение задачи оценки технического состояния систем бортового комплекса оборудования воздушных судов при их техническом обслуживании требует разработки методики построения алгоритма оценки [2].

Для того, чтобы формулировка задачи была содержательной, она должна включать в себя ее адекватное представление на некотором языке. Тогда конкретную задачу можно поставить, если связанные с ней множества, например, состояния сложной системы, который будут адекватно описаны на определенном языке. Эффективность этого языка при описании определенных множеств, в том числе и состояний, требует точного определения этих множеств. Таким образом, содержательная теория решения задачи определения состояния, как распознавания образов, сложной системы должна включать в себя теорию описаний: точные модели и теории, и в связи со специалистом, принимающим заключительные решения по распознаванию образов (состояний) необходим специфический язык отображения.

В настоящее время большинство различных математических методов решения задач распознавания образов распадается на две группы, одну из которых можно трактовать с позиций теории решений (дискриминантный подход), а другую – в рамках синтаксического (или структурного) подхода. В первом подходе (объекты) характеризуются наборами чисел – результатов некоторого множества измерений, характеризующих объекты, называемые признаками. Распознавание образов (отнесение каждого объекта к некоторому классу) обычно проводят при помощи разбиения пространства признаков на области. Развитие исследований по распознаванию образов за последнее десятилетие было большей частью связано с дискриминантным подходом и его применениями. Изучаются задачи распознавания образов, в которых важна информация, описывающая структуру каждого объекта, а от процедуры распознавания требуется, чтобы она давала возможность не только отнести объект к определенному классу (классифицировать его), но и описать те стороны объекта, которые исключают его отнесение к другому классу.

В реальном процессе оценки технического состояния сложных систем бортового комплекса, который, как показано выше, связан с мышлением специалиста, язык оценки включает две составляющие, одна из которых представляет установленные связи между элементами, обнаруженные либо самим специалистом, либо сообщенные ему другим специалистом, т.е. оформленные как знания. Но описание процесса образования связей, процесса обнаружения новых связей, получаемых, например, при оценке состояния с ложной технической системы при ее оперативном обслуживании на языке готовых высказываний существенно затруднено. Поэтому необходимостью реализации другой составляющей, второй язык, состоящий из элементов, позволяющих устанавливать неизвестные ранее отношения, обнаруживать в элементах обслуживания системы некоторые новые отношения. Создание такого языка, описывающего экспериментальные и теоретические знания, позволяет воссоздать процесс выявления свойств и признаков объекта технического обслуживания, в рамках некоторой динамики, т.е. эта составляющая общей теории оценки состояния объекта технического обслуживания.

Типичным примером таких задач служит распознавание состояния сложной системы и, как следствие, ее оценки в рамках выполнения требуемых функций. Рассматриваемые классы объектов, как указано выше, очень сложны, и число рассматриваемых признаков, как правило, велико. Это делает привлекательной идею создания интеллектуальной системы на базе специального грамматически формального языка, учитывающего текущее состояние системы и методики построения заключений.

Для решения задачи создания языка теории технического обслуживания и ремонта требует разработки формализованной «плекс-грамматики», включающей подобразы с произвольным числом точек примыкания, в которых их можно соединить с другими подобразами. В рамках общей теории синтеза образов У. Гренандера эти подобразы связаны с понятиями «конфигурация», а наиболее общим языком построения такой конфигурации, описывающей техническое состояние объекта обслуживания на каждом этапе является построение графа состояний в рамках предикатов первого порядка, осуществляющих символизацию обычного языка путем введения в него переменной состояния:

$$P(x, y, \dots) \rightarrow P(x, y, \dots, S), \quad (2)$$

где в общем случае  $n$ -местный предикат мы в соответствии с предлагаемой методикой заменяем на  $(n+1)$ -местный, всегда оставляя последнее место для переменной состояния.

Рассуждая неформально, мы можем считать, что описательный язык состоит из множества начальных предикатов и множества связок, или способов комбинирования предикатов, используя которые можно получить портреты описываемых образов. Класс образов, легко описываемых на некотором описательном языке, зависит от самого описательного языка.

Класс образов, элементы которого должны быть описаны, определяется задачей, которая с неизбежностью влечет за собой распознавание элементов образов из этого класса. Тогда основная задача сводится к следующей: «Дан класс образов; создать описательный язык, который допускает краткие и удобные описания всех образов из этого класса».

Сейчас не существует никакого удовлетворительного метода решения таких задач (на самом деле имеются методы решения лишь для очень небольшого количества задач). Однако изучение формальных аспектов этой задачи обнаруживает необходимость создания универсальной модели описательных языков, в которую укладывались бы различные описательные языки. Это позволило бы заменять один язык другим, что необходимо для постановки основной задачи. Дальше мы определим некоторые основные составные блоки обобщенного описательного языка такого типа.

Прежде всего вводится некоторая структура для предикатов этого языка. Предполагается, что каждый из них определяет результат теста, которому подвергается некоторый элемент из области рассуждений. Каждый тест разделяет эту область на непересекающиеся классы эквивалентности: два элемента из области рассуждений называются эквивалентными, если в этом тесте они дают одинаковые результаты. Элементы этого разбиения взаимно однозначно отображаются на множество результатов. Образ каждого элемента разбиения при этом отображении называется именем этого элемента.

Получение исходных данных для оценки технического состояния реализуется в рамках модели системы управления, которая оперирует на основе некоторой стратегии переработки или точнее экстраполяции, т.е. нахождение по ряду данных значений функции других ее значений, выходящих из этого ряда. Разработка модели экстраполяции является основой оценки технического состояния объекта технического обслуживания.

Стратегия, формируемая в результате работы модели экстраполяции, представляет собой последовательность трансформационных преобразований исходной базовой сферы знаний в базовую сферу знаний, удовлетворяющую поставленной цели. Рассмотрим средства построения базовой сферы знаний.

Модель системы управления, базирующаяся на трех основных понятиях: «управления», «возмущения», «состояние» («ситуация»), недостаточна для решения сложных задач, так как в ней отсутствует подсистема принятия решений, на базе которой, как правило, осуществляется оценка технического состояния.

В большинстве реальных задач множества ситуаций, управлений и возмущений обладают некоторыми дополнительными свойствами. Во многих задачах множества управлений и возмущений «порождаются» более удобными множествами элементов. Это будет уточнено позднее. Пока мы только не строго скажем, что каждое управление является последовательностью «элементарных» управлений и каждое возмущение – последовательностью «элементарных» возмущений. Таким образом, задача сводится к отысканию последовательности таких элементарных управлений, что независимо от сопряженных с каждым из них элементарных возмущений эта последовательность в конце концов приводит к выигршной ситуации. Эту задачу можно назвать задачей отыскания «регулятора по открытому контуру».

При такой постановке задачи возникают трудности, которые, как правило, игнорируются в задачах управления, но имеют исключительно большое

значение для принятия решений о состоянии сложной системы. Все это требует разработки системы моделей, включающей:

- модель описания статических отношений;
- модель описания ситуативных отношений;
- модель обобщения понятий;
- модель экстраполяции ситуаций.

Решение перечисленных задач требует, как уже показано выше, разработки системы синтаксического распознавания образов, которая должна для описания реального объекта с целью построения перечисленных моделей включать разработку модулей для распознавания состояния, т.е. оценки технического состояния сложной системы бортового комплекса оборудования.

Для решения этой сложной задачи обычно предполагают, что на выходе предпроцессора имеются объекты относительно «хорошего качества». Каждый подвергнутый предобработке объект затем представляют в виде структуры языкового типа (например, цепочки). Этот процесс представления объекта состоит, во-первых, из сегментации и, во-вторых, из выделения производных элементов (признаков). Чтобы представить объект через его подобразы, нужно этот объект сегментировать и в то же время идентифицировать (или выделить) в нем производные элементы. Другими словами, каждый подвергнутый предобработке объект разделяется на части и производные элементы на основе заранее заданных синтаксических операций (или операций композиции). Каждая выделенная часть в свою очередь идентифицируется относительно заданного множества производных элементов. На этой стадии каждый объект получает свое представление через множество производных элементов и определенные синтаксические операции). Например, если задана операция конкатенации, то каждый объект представляется цепочкой примыкающих производных элементов. Решение о том, является ли представление объекта синтаксически правильным (т.е. принадлежит ли он к классу образов, описываемых данным синтаксисом или данной грамматикой), принимается «блоком синтаксического анализа» или «блоком грамматического разбора». По ходу синтаксического анализа или грамматического разбора этот блок обычно может давать полное синтаксическое описание объекта в терминах грамматических единиц или дерева грамматического разбора, если представление объекта синтаксически правильно. В противном случае объект либо исключают из рассмотрения, либо анализируют на основе других заданных грамматик, которые, быть может, описывают другие возможные классы рассматриваемых образов.

Каждый из перечисленных этапов требует решения целого комплекса задач, которые обеспечат создание интеллектуальной системы технического обслуживания высокого уровня компетенций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Синтез образов. Том 1. М.: Мир, 1979.
2. Коптев, А. Н. Синтез систем диагностического управления техническим состоянием бортовых комплексов оборудования летательных аппаратов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. Н. Коптев, А. В. Кириллов, А. Н. Тихонов; Изд-во СГАУ, – Самара, 2012.
3. Куртаев С.Ж. Теория и практика контроля и диагностики систем воздушных судов гражданской авиации. . [Текст]//С.Ж.Куртаев // Сборник трудов XXI международного Симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: ИПО ПГУ, 2016. С.242-244.
4. Гришко А.К. Алгоритм поддержки принятия решений в многокритериальных задачах оптимального выбора / А.К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 1 (17). – С. 242-248.
5. Гришко А.К. Оптимальное управление частотным ресурсом радиотехнических систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта / А.К. Гришко // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2016. – № 57. – С. 21-28. DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-21-28.
6. Гришко А.К. Анализ математических моделей расчета электроакустических полей и дальности действия радиолокационных систем методом последовательного анализа / А.К. Гришко, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 35. – № 2-1. – С. 16.
7. Гришко А. К. Анализ надежности структурных элементов сложной системы с учетом интенсивности отказов и параметрической девиации / А. К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 3 (19). – С. 130-137.
8. Гришко А.К. Оптимизация размещения элементов РЭС на основе многоуровневой геоинформационной модели / А.К. Гришко // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2015. – № 3 (47). – С. 85-90.