

УДК 519.8

СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР И ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

© 2020 М.А. Ковалев¹, А.Н. Коптев¹, С.Ж. Куртаев^{1,2}

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

² Военный институт Сил воздушной обороны Республики Казахстан, г. Актобе, Республика Казахстан

Статья поступила в редакцию 14.10.2020

В статье рассматривается системный подход к моделированию состава и взаимосвязи элементов структуры комплекса обслуживающего производства и их взаимодействия, обусловленные единством целей, выполняемых ими функций. При решении этих задач основной является проблема выбора наилучшего решения. В статье реализуется способ, основанный на построении достаточно адекватных математических моделей реальных объектов и процессов их функционирования и сравнении результатов исследования этих моделей.

Ключевые слова: безопасность полетов, организационная структура, организация, процессы технического обслуживания, моделирование, метод, синтез, анализ, оценка, оценивание, функциональные состояния, образ, распознавание.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-5-8-13

В истории развития системы обеспечения безопасности полетов (БП) и эволюции процессов ее 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.

Ковалев Михаил Анатольевич, доктор технических наук, доцент, проректор по общим вопросам, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники.

E-mail: kovalev.ma@ssau.ru

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

E-mail: eat@ssau.ru

Куртаев Сабит Жанболатович, аспирант кафедры эксплуатации авиационной техники Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, заведующий кафедрой авиационного и радиоэлектронного оборудования Военного института Сил воздушной обороны Республики Казахстан.

E-mail: eat@ssau.ru



Рис. 1. Эволюция процесса обеспечения безопасности полетов

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

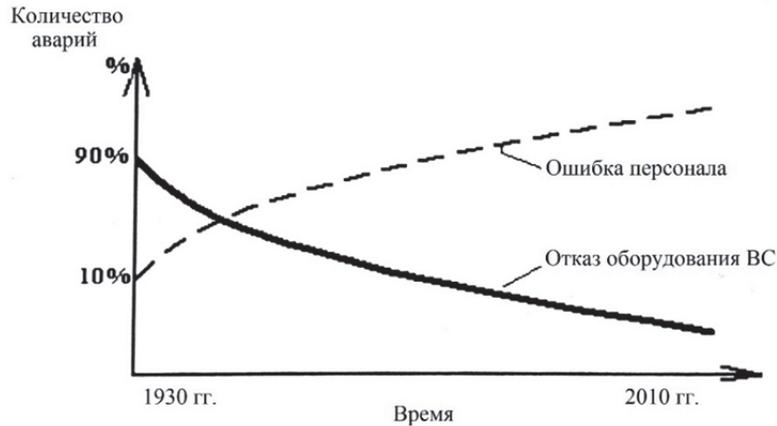


Рис. 2. Изменение величины доли человеческого фактора в аварийности ВС

отображение оператору, реализующего техническое обслуживание и ремонт (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 г. 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.

На базе проведенных авторами исследований и решения ряда практических задач ТОиР сложных систем бортового комплекса оборудования (БКО) ВС была предложена новая общая структура процесса решения задач человеком на первой стадии в рамках объединения трех типов решения [2] на основе точного формализма.

Проведенный анализ теории и практики исследования организации обслуживающих производств (ОП), как адаптированных систем в комплекс эксплуатации ВС авиакомпаний, позволил сформулировать ряд ключевых направлений их совершенствования на основе разработки и внедрения в практику научных методов исследования качества организации и эффективности его функционирования, для повышения конкурентоспособности авиакомпании на рынке авиаперевозок, в частности, в качестве перспективного метода был предложен структурный (синтаксический) метод синтеза и анализа ОП на базе распознавания образов, включающий структурную и функциональную части его организационной структуры и процессов, обеспечивающих реализацию взаимодействия его частей.

Анализ опыта моделирования организационных структур обслуживающих производств и производственных процессов ТО, реализуемых в нем, позволил определить следующие направления дальнейших исследований:

- разработка четкого множества определений, используемых в области распознавания функциональных состояний (образов);
- описание образов, рассматриваемых в рамках точного формализма, который мог бы быть использован в качестве концептуальной основы для их синтеза и анализа;



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

- разработка структурных методов и средств распознавания образов функциональных состояний обслуживаемых объектов на основе оценок специалистов по ТО.

Одной из центральных задач ОП авиакомпаний является задача распознавания функциональных состояний бортовых систем (БС) БКО ВС, с общих позиций, распознавание образов, как множества состояний этих объектов, т.е. отнесения его на базе идентификации относительно заданного множества состояний к определенному классу соответствия.

Научная практика решения этой задачи для оценивания состояния БС связана с большим объемом информации, представленной на естественном и специальном языке, обработка которой потребовала разработки языковых проблем для поиска путей реализации целенаправленных процессов получения, передачи и обработки информации через непосредственное или опосредованное взаимодействие с объектами организованной среды (БКО) в системе «объект обслуживания (ОО) – подсистема оценивания (СО)», где СО способна обучаться распознавать функциональные состояния как образы самих состояний, специфически реагируя на результаты измерения физических характеристик ОО и их сравнения с эталоном распознаваемого объекта.

Как показал опыт решения задач распознавания образов ОО, ключевую роль играют идеи, связанные с описательными языками, что потребовало введения формальных определений таких понятий, как «описание», «описательный язык», «образ».

Используемый в работе подход был определен, как теоретико-системный, базой для которого служат абстрактные теоретико-множественные понятия, лежащие в основе построения моделей задач. При этом прагматика и семантика задач представлена в формализованном виде на основе структурного описания образов.

Ключевым моментом в постановке задач распознавания состояний ОО является адекватное описание образов всех элементов задачи, в рамках точного формализма для создания универсальной модели описательных языков окружающей среды, ее частей и элементов функциональных состояний ОО.

В работе образ, с формальных позиций, это математическая модель, где ОО рассматриваются как структурные части организации ОП, помещенные в среду авиакомпании, которая с общих позиций – это упорядоченная пара $\langle U, P \rangle$, где U – абстрактное множество БКО, а P – семейство нетривиальных разбиений на U , при этом P – конечное. Каждый элемент из P обладает свойством p , тогда каждый элемент $p \in P$ есть его значение. Нам всегда дано подсе-

мейство P' из P , т.е. конкретный ОО – это образ, который содержится в значении свойства этого объекта. Описание образа функционального состояния будет представлять булево выражение, содержащее заданные значения для «эталона» ОО или полученные в результате «измерений» для их «оригинала», включающих предикаты типа $P(u)=p$, где P – входное свойство, p – его значение.

Для конкретизации исследуемых объектов БС введено понятие подсемейства P' , заданное в P , которое в рамках теоретико-множественных представлений вводит реальный объект исследования, а среда БКО ВС с этих позиций является реальной средой, т.е. она является тройкой $\langle U, P, P' \rangle$.

Определив класс всех функциональных состояний ОО k_p , состояние конкретной БС, как подсемейства P' из P , будем определять семейством реальной структуры БС, если $k_p = k_p$, а его конечная структура $P' = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ будет полной, если

$$P_{1, i_1} \cap P_{3, i_2} \cap \dots \cap P_{n, i_n} \neq \emptyset \quad (1)$$

для каждого $p_{i,ir} \in P$. Это семейство устанавливает границы различимости элементов области исследований.

При создании математических моделей этих элементов как образов в качестве исходных принципов использованы:

1. Объекты организации СО функциональных состояний, включающие ОО и ОП, строятся из образующих, представляющих неделимые или производные элементы в математической модели знаков. Множество всех образующих для описания конкретных объектов организации выбирается на основе прагматики и семантики решаемой задачи и представляются в формализованном виде и математически могут быть записаны следующим образом

$$X = \bigcup_{\alpha} X^{\alpha}, \quad (2)$$

где X^{α} – непересекающиеся классы, $X^{\alpha} \subset X$, при этом α – индекс класса образующих, каждая из которых обладает входным свойством, состоящего из элементов, обладающих различными типами признаков для каждого из них.

2. В рамках синтаксического подхода, принятого в работе за основу моделирования компонентов ОО, считается, что образы строятся из соединенных по определенным правилам заданных образующих, из которых получают некоторые подобразы, с общих позиций, регулярные множества образующих класс языков, занимающий центральное место в описании подобразов (регулярные выражения или конфигурации). Набор образующих x_1, x_2, \dots, x_n и система правил их соединения Σ порождают множе-

ство регулярных конфигураций $\varphi(P)$, которые характеризуют отдельные стороны регулярности образов ОО и ОП. Формально конфигурация как подобраз представляется следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \text{Состав: } c &= \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \\ \text{Структура: } (c) &= c \cup \sigma, \text{ где } \sigma \in \Sigma - \text{ тип соединения.} \end{aligned} \quad (3)$$

Для моделирования распознавания образов на основе сравнения оригинала с эталоном введено понятие множества преобразований подобия S – отображение s : структура $c_\sigma \rightarrow$ структура c_τ . Конфигурация, полученная в результате ТО ОО – оценки реального состояния образующих ОО, сравнивается с конфигурацией эталона, построенного на основе предварительной обработки технической документации на ОО, т.е. структурного описания образа в рамках системы распознавания образов, образующих и конфигураций. С формальных позиций любая конфигурация в работе представляется множеством графов, элемент в котором в каждой из них является ориентированным линейным графом $G = \{A, \Sigma\}$, состоящим из множества образующих a_1, a_2, \dots, a_n вместе с множеством Σ упорядоченных по заданным правилам пар (a_i, a_j) элементов, взятых из A .

3. Изучение формальных аспектов задачи распознавания элементов образов и образов ОО и ОП в целом обнаружило необходимость создания универсальной модели описательного языка этих объектов, в которую укладывались бы языки описания ОО и ОП.

С помощью предложенного формализма грамматик, порождающих графы, решается задача предварительной обработки класса исходных объектов с целью эффективного описания для распознавания образов в системе «ОО – СО», представленной сетью из конфигураций – цепочек, используемых в рамках грамматики, порождающих графы, как способ определения образов организационных структур сетью Л.Форда и Д.Фалкерсона, и на ее основе решения задач оптимизации, в частности задачи минимальной продолжительности маршрута обслуживания ВС:

$$\left. \begin{aligned} T &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} \delta_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n \delta_{ij} &= 1, \quad j = \overline{1, n} \\ \sum_{j=1}^n \delta_{ij} &= 1, \quad i = \overline{1, n} \\ \delta_{ij} &= [0, 1] \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где T – целевая функция, δ_{ij} – булева переменная, t_{ij} – продолжительность выполнения конкретных операций обслуживания.

В рамках синтаксического подхода рассмо-

трена центральная задача оценки и оценивания состояния ОО в организационной структуре авиационного технического центра (АТЦ), реализующей форму распознавания «сравнение с эталоном».

В рамках концепции образа, создаваемого на основе точного формализма, рассматривается задача синтеза организации ТО с требуемыми (заданными) свойствами как образа, образующими которого являются действия и взаимодействия, осуществляемые в опорном пространстве $X = R^3 \times R^1$, где R^1 – пространство времени.

Структурные методы описания этих образов позволяют широко использовать грамматики, порождающие графы – способ определения множества подграфов для описания различных образов организационных структур и производственных процессов как сети. Предложенные методы для описания класса образов системы ТО (СТО) АТЦ породили их описания на языках плекс- и веб-грамматики, которые поддаются синтаксическому анализу [3]. Используя чисто теоретико-графовые понятия и расширив понятия исходной сети СТО, вводя новый алфавит языков и словари V_N и V_T , новые начальные элементы и заменяя правила подстановки P , связанные с процессами ТО, вводим топологию сети и понятия цепочек для синтаксического синтеза операций ТО, реализуемого потоком в сети СТО [4, 5].

Трансформация исходных СТО, модернизируемых на базе моделей структурного (синтаксического) подхода, позволяет синтезировать новые образы этих объектов – технологические процессы, реализация которых приводит к оценке состояния объекта ТО, а обработка заданного множества оценок – к оцениванию.

Оценка состояния, как правило конкретного объекта обслуживания, – числовая характеристика, получаемая опытным путём (при наличии соответствующего прибора или системы) в виде числа, или качественная, получаемая путём сравнительного анализа с эталоном, – процедура принятия решения о состоянии, в частности, воздушного судна, путём обработки комплекса оценок, является оцениванием состояния ВС.

В основе получения множества оценок лежит целенаправленный процесс как результат операций, которые наиболее полно отражают физическую сущность её цели, укладывающиеся в заданную длительность τ полного выполнения задачи оценивания (операционное время), есть процесс оперативного обслуживания воздушного судна или Т-процесс. В общем случае длительность периода обслуживания (операционное время) зависит от целого ряда факторов, основным из которых является организация системы обслуживания, её производительность и состояние обслуживаемого объекта.

Представление задачи ТО ВС или систем БКО ВС выполняется в замкнутой форме, т.е. определение их состояния – оценивание, как процедуры принятия решений о состоянии объектов ТО на основе оценок, полученных конечным числом операторов. Общая формулировка задачи – перевод объектов ТО из исходного состояния C_0 в заданное конечное состояние C_k , которое осуществляется конечным числом операторов (авиатехников) последовательным выполнением операций по устранению замечаний и отказов в заданном пространстве действий X .

Замкнутая формулировка задачи имеет вид:

X = последовательность действий операторов, удовлетворяющих множеству ограничений $k(x)$, заданных правилами MEL, сформулированных производителем ВС и EASA.

Описание этих действий осуществляется на предложенном языке, как список цепочек, описывающих последовательности символов, построенных в заданном алфавите Σ , а их реализация (частичные алгоритмы) позволяют восстановить отказавший агрегат или систему БКО ВС, т.е. организовать производственный процесс ТО.

Для построения конфигураций действия по ТО ВС, состоящих из комбинации элементарных действия, вводится тип соединения Σ – частичный порядок в множество этих действий, т.е. определяется совокупность действий по распознаванию состояния ОО, зависящих при оперативном ТО от характера методов и средств и от материалов, к которым эти средства применяются, чтобы получить требуемый результат.

Предложенная схема оценивания эффективности выполнения операций ТО представляет собой решение вероятностной задачи, в которой, во-первых, определяется показатель виртуального качества результатов операции, представляющий собой вектор $\bar{Y}_{(n)}$ показателей, характеризующих соответственно виртуальные целевые эффекты: v – результативность, r – ресурсоемкость операции, σ – оперативность операции или затраты времени на её выполнение. Во-вторых, $\bar{Z}_{(n)}$ – вектор показателей требуемого качества результатов операции.

В качестве теоретической основы метода оценивания использовано классическое исчисление высказываний для определения состояния ОО и его восстановления. Как правило, процедура оценивания состояния ВС, т.е. допуска его к полетам, – процедура принятия решения о его состоянии на основе оценок (приближенное значение оцениваемых характеристик ОО), получаемых при оперативном ТО авиатехником при реализации так называемых косвенных измерений. В её рамках непосредственно измеряются некоторые наблюдаемые показатели, связанные функционально с оцениваемыми,

истинностное значение которых затем вычисляется в рамках исчисления высказываний.

Исчисление высказываний укладывается в формализм образов, так как множество образующих A состоит из признаков $a=a(x)$, определенных на опорном пространстве состояний 2^{2^n} истинностных функций от n переменных. Группа S преобразований подобия на A индексирует отображение $s:A \rightarrow A$, s – произвольный элемент множества S .

В результате реализации операций ТО для этого ОО будет получена конфигурация $c'=\{a'_{ij}, i=1, 2, \dots, m'; j=1, 2, \dots, r'_i\}$, $r_i \leq n$. Отождествление конфигурации эталона и полученной конфигурации будет тогда, если

$$\bigwedge_{i=1}^m \left(\bigvee_{i=1}^{r_i} a_{ij}(x) \right) = \bigwedge_{i=1}^{m'} \left(\bigvee_{i=1}^{r'_i} a'_{ij}(x) \right), \forall x \in X, \quad (5)$$

т.е. конфигурации идентифицируются по их логическим функциям.

На базе положений, выдвинутых Питсом и Клини, разработаны теоретические основы оценивания состояния объекта ТО (процедура принятия решения), которое реализуется в рамках двухзначной логики высказываний.

Для определения соответствия между состояниями «оригинала» и «эталона» вводится понятие регулярности события. Каждому регулярному событию соответствует равенство между множеством таблиц, описывающих оригинал и эталоны, представляющие их функции f_0 и f_3 . При этом оценивание есть функция f , определенная на множестве оценок «оригинала» X со значениями в множестве «эталона» Y или в теоретико-множественные символики

$$f: X \rightarrow Y. \quad (6)$$

Вопрос оптимизации связан с исследованием временной функции стоимости проекта модернизации ОП.

В рамках единого подхода использован математический аппарат построения образа (модели) – алгебра изображения для оценивания состояния ОО и его восстановления использовано классическое исчисление высказываний. Выполнено моделирование образующей сети операционного комплекса для оценивания состояния ОО в рамках реализации синтаксического подхода и модульной сети МакКаллока-Питтса, реализующей формулы двухзначной логики высказываний [6, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горский, Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления. Новосибирск: Наука, 1988. - 326 с.
2. Александров, Е.А. Основы теории эвристических решений. М.: Советское радио, 1975. - 255 с.

3. Фу, К. Структурные методы в распознавании образов / К. Фу, пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
4. Форд, Л.Р. Потоки в сетях / Л.Р. Форд, Д.Р. Фалкерсон, пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 276 с.
5. Ахо, А. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции / А. Ахо, Дж. Ульман. – Пер. с англ. В.Н. Агафонова, под ред. В.М. Курочкина. – М.: МИР, 1978. – 613 с.
6. McCulloch W.S. and Pitts W.H. Bull. Math. Biophys. – N5, 1943. – p. 115-133.
7. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Анализ образов. Том 2. М.: МИР, 1981. – 382 с.

STRUCTURAL METHODS FOR MODELING ORGANIZATIONAL STRUCTURES AND AIRCRAFT MAINTENANCE PROCESSES

© 2020 М. А. Kovalev¹, А. N. Koptev¹, S. Zh. Kurtayev^{1,2}

¹ Samara National Research University

² Military Institute of Air Defense Forces of the Republic of Kazakhstan, Aktobe

The article considers a systematic approach to modeling the composition and relationship of elements of the structure of the service production complex and their interaction, due to the unity of goals and functions performed by them. When solving these problems, the main problem is choosing the best solution. The article implements a method based on constructing sufficiently adequate mathematical models of real objects and their functioning processes and comparing the results of research of these models.

Keywords: flight safety, organizational structure, organization, maintenance processes, modeling, method, synthesis, analysis, evaluation, evaluation, functional States, image, recognition.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-5-8-13

Mikhail Kovalev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for General Affairs, Head of the Department of Aviation Equipment Operation.

E-mail: kovalev.ma@ssau.ru

Anatoly Koptev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Aviation Equipment Operation.

E-mail: eat@ssau.ru

Sabit Kurtaev, Post-Graduate Student of the Department of Aviation Equipment Operation, Head of the Department of Aviation and Radio-Electronic Equipment of the Military Institute of the Air Defense Forces of the Republic of Kazakhstan. E-mail: eat@ssau.ru