

УДК 65.012.34

**О.Е. ФЕДОРОВИЧ, И.В. БЕЛЕЦКИЙ***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННАЯ СТРУКТУРА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Предложен метод исследования основных характеристик сложных технических комплексов с помощью интеграции структурного, функционального, управленческого и динамического представлений проектируемой системы. Созданная внутренняя структура универсальной имитационной модели использует фреймовое представление знаний проектировщиков.

**универсальная имитационная модель, знаниеориентированная структура моделирования, фреймовая модель системы**

**Введение**

На начальных этапах проектирования сложных технических комплексов (СТК) (аэрокосмические, производственные и т.д.) большое внимание уделяется анализу характеристик с учетом требований технического задания (ТЗ). Кроме структурного аспекта в проектируемых СТК исследуются динамика функционирования и алгоритмы управления. Все эти аспекты необходимо интегрировать и учитывать при оценке характеристик проектируемых СТК. Поэтому актуальны задачи исследования, связанные с разработкой современного инструментария анализа СТК. В существующих подходах [1] преобладает статический (структурный) аспект. С помощью аналитических методов [2] осуществляется оценка таких основных характеристик как надежность, производительность, точность и т.д.

В предлагаемом подходе ставится задача построения универсальной открытой имитационной модели, с помощью которой с большей степенью адекватности, точности и достоверности можно оценивать как структурные, функциональные, так и динамические характеристики СТК.

**Постановка задачи**

На системном этапе проектирования СТК осуществляется структуризация и формирование основ-

ных функциональных задач. Необходимо оценить основные характеристики СТК с учетом структурного, функционального, управленческого и динамического аспектов проектирования. Предлагается использовать методы имитационного моделирования, которые в полной мере учитывают сложную динамику, алгоритмы управления и функционирования СТК. Недостатком существующих имитационных моделей является жесткая внутренняя структура [3], которая не позволяет вводить новые характеристики для анализа СТК. Поэтому для обеспечения открытости и использования знаний экспертов в области создания СТК, предлагается использовать модели знаний для создания внутренних структур и механизмов имитационного моделирования.

В предлагаемой работе качестве достаточно простых и удобных структур знаний используются фреймовые модели [4].

**Метод решения**

Методика анализа и оценки характеристик СТК состоит из трех основных, взаимосвязанных этапов. На первом из них анализируются объекты управления, в результате чего формируются фреймовые модели систем управления, во втором – функциональные задачи СТК, в результате чего получаются фреймовые модели задач, а в третьем – типовые элементы структуры СТК.

При анализе СТК рассматриваются объект, цель, метод, форма, содержание и результат. Объектом анализа является СТК. Цель анализа – получение содержательного и формализованного описаний системы, причем результат анализа должен являться основой для синтеза СТК. Метод анализа – это комплекс совмещенных методов расчета характеристик, модельного и автоматизированного анализа объекта. Расчет характеристик раскрывает структуру, свойства и связи элементарных объектов класса СТК. Модельный метод анализа определяет формализованное описание этих объектов. Автоматизированный метод анализа объекта является методом для человеко-машинной диалоговой системы анализа СТК. Расчет характеристик и модельный метод служат соответственно содержательной и формализованной основой автоматизированного анализа объекта. Результат автоматизированного анализа представляет собой конечный результат исследования характеристик СТК. Модельный метод анализа применяется для формализованного описания объекта управления, содержащего описание элементарных объектов, а также свойств и связей этих объектов. Для формализованного описания применяется аппарат фреймовых моделей.

Конечными результатами анализа являются:

- содержательное описание СТК – для последующего расчета характеристик;
- формализованное описание СТК – для модельного анализа;
- программное описание СТК – для автоматизированного анализа.

Анализ входит в предпроектную стадию создания СТК.

Особенностью анализа является необходимость получения в результате исследования исходной информации для построения фреймовых моделей СТК

Рассмотрим три вида составляющих СТК: объект управления, система управления СТК и типовый объект (ТО).

Объектной системой (ОБС) является любой вы-

деленный объект управления, выполняющий рабочие функции по заданному процессу. Объектная система является объектом управления задач СТК. В условиях типизации следует выбрать ТО, для управления которыми применимы типовые конструктивные элементы. При модульной структуре СТК типовым объектом управления определяется класс однородных объектных систем, который назовем типовой объектной системой (ТОБС).

Класс объектов управления (КОУ) – это совокупность связанных однородных типовых объектов управления. Однородность объектов управления оценивается с точки зрения однородности управления этим объектом. Классификация объектных систем осуществляется по следующим правилам. Основным признаком классификации объектных систем является сложность ТОБС, которая в целом задается сложностью функций, объектов управления, внешних связей и динамики ТОБС.

Сложность объектов и внешних связей оценивается размерностью параметров, а сложность динамики ТОБС – временными параметрами. Функциональные параметры принимают различные значения в зависимости от класса ОБС. Основными функциональными параметрами являются:  $P_0^0$  – параметр класса ТОБС;  $P_{t1}^0$  – основной управляемый параметр.

Кроме того, определенный класс ОБС может иметь собственные функциональные параметры.

Конечным результатом стадии анализа класса объектов управления является получение совокупности формализованных описаний объектных систем (в виде фреймов  $G_c$ ) определенного количества ОБС по каждому классу. Модельный анализ состоит из структурного (качественного) и функционального.

Структурный анализ объекта управления СТК позволяет выделить и формализовать описание и классификацию элементарных объектов управления.

Функциональный анализ объекта управления позволяет определить связи между объектами и их свойствами, а также формализовать преобразования

элементарных процедур анализа. Как конкретный объект управления ОБС, так и обобщенные модели объектов управления ТОБС и ОМ должны иметь общую форму описания, в качестве которой может служить объектная сеть.

Объектной сетью является сеть фреймов вида  $G(I, U, Q)$ , где  $I$  – множество вершин сети;  $U$  – множество дуг сети;  $Q$  – множество параметров.

Элемент  $i$  множества  $I$  – вершина сети, обозначающая элементарный объект управления (ЭОУ). В ТОБС вершина сети обозначает элементарную ТОБС (ЭТОБС), а в ОМ – элементарный объектный модуль (ЭОМ).

Элементы  $u$  множества  $U$  – дуги, которые определяют составные потоки, связывающие вершины сети  $G$ . В ОБС дуга обозначает реальный поток, в ТОБС и ОМ – модель потока, обобщающую реальные потоки группы ОБС. Пусть граф  $G(I, U)$  является структурой объектной сети ОБС, ТОБС, ОМ.

Объектная сеть  $G$  отличается тем, что все ее элементы определяются рядом параметров  $q$  из множества  $Q$ . Параметры характеризуют элементы множеств  $I$  и  $U$  количественно и качественно. Соответственно множество параметров сети можно разделить на  $Q^v$  и  $Q^1$ , где  $Q^v$  и  $Q^1$  – соответственно множество количественных и качественных параметров. Каждый параметр  $q$  ТОБС и ОМ имеет наименование  $\pi(q)$  и область значений  $\mu(q)$ . Таким образом, параметр можно задать парой  $q = (\pi(q), \mu(q))$ . Для количественных параметров  $q$  область значений  $\mu(q)$  есть числовой интервал. Для качественных параметров  $q^1$  область значений  $\mu(q^1)$  есть множество качественных характеристик данного элемента сети. В сети ОБС каждый элемент может характеризоваться парой  $(\pi(q), \varphi(q))$ , где  $\varphi(q)$  – значение параметра  $q$ .

Для объектов управления типов ОБС, ТОБС и ОМ общей формой описания является сеть фреймов  $(G, P)$ . Обозначим форму описания ОБС через сеть фреймов  $(G_s, P_s)$ , форму описания ТОБС – через

$(G_t, P_t)$  и форму описания ОМ – через  $(G_0, P_0)$ .

При исследовании СТК выделим типовые проектные решения (ТПР), фреймовая модель которой имеет модульную структуру.

Типовым модулем СТК называется фреймовая модель ТПР типовой задачи, предназначенной для управления объектами из класса, описываемого как типовая объектная система. Типовой модуль СТК задает класс модулей, каждый из которых определяет управление объектной системой из соответствующей типовому модулю ТОБС.

Разделим фреймовую модель СТК на структурные модули. Сеть фреймов СТК содержит иерархическую структуру модулей. Модуль СТК делится на элементарные модули, которые являются элементарными структурными компонентами модели.

Определим элемент СТК как фреймовую модель модулей  $M = (FM, OM, IM, CM, ORM)$ , где  $FM$  – функциональный модуль,  $OM$  – объектный,  $IM$  – информационный,  $CM$  – вычислительный,  $ORM$  – организационный.

Типовой модуль как фреймовая модель типовой функциональной задачи имеет ту же общую структуру:  $TM = (FM, OM, IM, CM, ORM)$ . Поэтому рассматриваемые далее вопросы анализа – общие для модуля и типового модуля СТК. Модели отличаются тем, что в результате анализа типовой задачи получают фреймы знаний и соответствующие протофреймы данных типового модуля СТК.

Объектный модуль (ОМ) определяет объект управления задачи СТК и может быть выражен сетью фреймов  $OM = (G_0, P_0)$ . Объектная сеть  $G_0 = (I_0, U_0, Q_0)$  представляет собой обобщенную структуру объекта управления на уровне ЭОМ, количественные и качественные характеристики сети.

Функциональный анализ объектного модуля показывает, что объект управления  $b$  определяет его как описание в ОМ:  $b_0 \rightarrow OM$ . Каждый класс ТОБС эквивалентен конкретному классу ОМ:  $b_0 \rightarrow p_0$  и имеет свою номенклатуру параметров:  $b_0 \rightarrow p_0 \rightarrow \Pi(p_0)$ .

Модуль СТК на макро уровне задается функциональным модулем, который описывается сетью фреймов  $FM = (T, F, S)$ , где  $T$  – параметрическая форма;  $F$  – функциональная форма;  $S$  – функциональная схема.

Параметрическая форма модуля задается фреймом параметров  $T$ :

$$T = P_0 \cup T_0 \cup T_c,$$

где  $P_0$  – подмножество параметров объектного модуля;

$T_0$  – подмножество общих параметров модулей;

$T_c$  – подмножество собственных параметров данного класса модулей.

Подмножество общих параметров  $T_0$  модуля образуется из параметров submodule. Функциональный модуль имеет свое множество параметров  $T_j \in T_0$ , характеризующих общие функциональные свойства типового модуля СТК.

Функциональная форма отражает функциональные свойства и связи задачи СТК, которые являются объектом изучения соответственно для качественно-го и функционального анализа СТК:

$$F = |c, b, A, H, R, Y, E|,$$

где  $c$  – класс модулей;

$b$  – объект управления;

$A$  – множество атрибутов объектов управления;

$H$  – множество характеристик модуля;

$R$  – множество функциональных отношений между атрибутами;

$Y$  – множество внешних функциональных отношений между атрибутами;

$E$  – множество элементарных модулей.

Объект управления ( $b \in B$ ) обладает рядом существенных (с точки зрения управления) свойств  $A_b$ , называемых атрибутами объекта управления;  $A_b \in A$  – множество атрибутов объекта управления  $b$ .

Атрибут объекта управления  $A_b$  является качественной переменной, значения которой для данной задачи СТК формируются при качественном анализе. Множество  $H$  содержит область значений функ-

циональных характеристик задачи, задающих уровень, функции и временные интервалы управления, и режим функционирования задачи. Обобщенные функциональные отношения  $R$  между атрибутами образуют алгоритмическую основу для расчетов и определяют необходимые внешние связи  $Y$  данного модуля с другими.

Элементарной частью фреймовой модели СТК является элементарный модуль (ЭМ), который описывается фреймом

$$m = |b_k, A_k, H_k, R_k, S_k, Y|,$$

где  $k$  – индекс элементарного модуля;

$S_k$  – множество внешних связей элементарного модуля внутри модуля СТК.

Элементарный модуль определяется атрибутом объекта управления

$$A_b \rightarrow m_k, A_b \in A_k.$$

Модуль СТК состоит из элементарных модулей, а функциональная форма получается путем их сборки:  $\{m_k\} r_3 F$ .

Атрибуту  $A_k$  в элементарном модуле соответствует множество элементарных атрибутов  $a_k \in A_k$ , связанных функциональными отношениями  $r_k \in R_k$ .

Характеристиками ЭМ являются  $H_k \subset H$ .

Множество внешних отношений элементарного модуля  $S_k$  отражает связи между ЭМ внутри модуля, а их совокупность образует функциональную схему  $S$  модуля:  $\{S_k\} r_3 S$ .

Таким образом, структура СТК может быть выражена сетью вида  $M = (E, S)$ , где  $E$  – множество вершин, отображающих элементарные модули  $m_k$ ;  $S$  – множество дуг, отражающих функциональные связи  $S$  между ЭМ.

Множество внешних функциональных связей модуля получается путем проектирования внешних связей элементарных модулей и последующей сборки их в  $Y$ :  $(m_k |r_4| Y_k) r_3 Y$ .

Синтез модели конкретного объекта моделирования осуществляется путем преобразования прототипов.

Первая стадия синтеза системной модели СТК состоит из следующих макропроцедур:

- выделение и описание всех объектных систем из данного объекта;
- классификация объектных систем;
- синтез объектной сети.

В результате процедур этой стадии синтеза СТК последовательно получим модель объектной сети  $u$ -го объекта, содержащую следующие подмножества:

- экзфреймов ОБС  $L_u = ((G_{cy}, P_{cy}), y \in Y_u)$ ;
- экзфреймов ТООБС  $L_u = ((G_{tx}, P_{tx}), x \in X_u)$ ;
- подсетей экзфреймов КОУ  $L_u = (L_{mu})$ .

Вторая стадия синтеза системной модели СТК – синтез моделей задач, необходимых для функционирования СТК. Синтез фреймовой модели задачи СТК рассматривается как синтез модуля и содержит синтез объектного, функционального, информационного, вычислительного и организационного модулей.

Функциональный синтез – это макропроцедура синтеза функционального модуля (ФМ) по полученному на предыдущей стадии объектному модулю. Синтез ФМ состоит из следующих процедур:

1) определение класса модулей СТК и функциональной формы модуля  $F$  по заданному в объектном модуле  $b_x \in P_{0x}$ ;

2) синтез функционального модуля

$$FM_x = |T_x, F_x, S_x|$$

по функциональной форме  $F_x$ .

Синтез информационного модуля (ИМ) является макропроцедурой синтеза экзфреймов ИМ из полученных ранее моделей ОМ и ФМ.

Синтез ИМ состоит из макропроцедур синтеза: базы данных ИМ, внешних сообщений ИМ, структуры ИМ.

Исходные данные для синтеза экзфреймов получают из экзфреймов ОМ и ФМ.

Синтез организационного модуля – это определение модели ОРМ соответственно ранее полученным моделям ОБС, ФМ, ИМ, а синтез вычислительного модуля (ВМ) – макро процедура формирования

модели ВМ на основе ранее полученных моделей ОБС, ФМ, ИМ и ОРМ.

Заключительной стадией синтеза является синтез модели СТК, т.е. определение всей совокупности данных необходимых для управления заданным объектом и их взаимосвязей. Синтез модели СТК содержит синтез моделей функциональной структуры, информационного и организационного обеспечения, управляющего комплекса СТК. Исходными данными для синтеза модели СТК являются модель объекта управления и модели всех ранее определенных задач.

В результате процедур структурного синтеза получается системная модель СТК в виде сети экзфреймов, используемая в дальнейшем для имитационного моделирования основных характеристик СТК.

## Заключение

Предложенный подход целесообразно использовать для создания системных моделей анализа и исследования основных характеристик СТК для которых требования технического задания постоянно контролируются и проверяются на всех этапах жизненного цикла начиная с ранних стадий проектирования.

## Литература

1. Мессарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
2. Нечипуренко В.И. Структурный анализ систем (эффективность и надежность). – М.: Наука, 1977. – 216 с.
3. Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.
4. Минский М. Фреймы для представления знаний. – М.: Энергия, 1989. – 253 с.

*Поступила в редакцию 28.10.2004*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.