

УДК 681.322

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМНЫХ СТРУКТУРНЫХ И СОБЫТИЙНЫХ МОДЕЛЕЙ МЕТАСИСТЕМ

В.М. Илюшко, д-р техн. наук

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Рассмотрены методы построения системных структурных и событийных моделей сложных технических систем в виде графов и формализованного языка регулярных схем системных моделей для задач разработок проектов сложных систем в новой информационной технологии проектирования.

* * *

Розглянуто методи побудови системних структурних і алгоритмічних моделей складних технічних систем у вигляді графів і формалізованої мови регулярних схем системних моделей для задач розробок проектів складних систем у новій інформаційній технології проектування.

* * *

The methods for construction of system structural and eventual models of complex technical systems using graphs and formalized languages of regular schemes of system models for solving the tasks of complex system project design within the framework of new information technologies are considered.

Системная методология проектирования метасистем базируется на нескольких методах и частных методиках проведения проектных решений разработчика по стратам проектирования. Анализируя проектные решения разработчика, можно увидеть определенную закономерность в использовании одних и тех же методов, но для разных страт проектирования. Выделим эти методы.

Первая группа – методы декомпозиции целей, задач, структур, алгоритмов функционирования верхнего уровня на элементы нижнего уровня.

Вторая группа – методы разработки операторов алгоритма функционирования по задачам и структурам объекта, каналов связи по структурам, структурных элементов по задачам, задач по целевым элементам, т.е. методы трансформации цели в задачи, задачи - в структуры, в каналы связи, в алгоритм функционирования объекта.

Третья группа – методы расчета ТТХ: целей, задач, структур, каналов, операторов и т.д.

Четвертая группа – методы построения системных моделей страт проектирования: целевой, функциональной, структурной, инфологической, алгоритма функционирования и т.д.

Пятая группа – методы анализа проектных решений по стратам проектирования.

Применение этих методов для разработчика проектных решений носит обязательный, закономерный характер. Но все эти методы имеют отличия в применении для различных страт проектирования и, тем более, для различных объектов проектирования. Исследование первой группы методов декомпозиции целей, задач, структур позволяет выделить главные положения этих методов:

1) системный анализ объекта (изучение прототипов, аналогов, определение главных свойств, признаков, критериев);

2) определение составных частей объекта по фиксированным свойствам (функциональным, технологическим, предметным, информационным и другим признакам);

3) определение связей между составными частями объекта и внутри составных частей;

4) разделение объекта на составные части по принципу минимума слабых связей "между частями".

Очевидно, что для каждого объекта составные части, их свойства и связи между ними различны и будут описываться разными закономерностями той или иной предметной области знаний, но метод декомпозиции для всех одинаков.

Анализ второй группы методов трансфор-

мации цели в задачу и т.д. показывает, что нахождение изоморфизма $C_i \cong Z_j \cong Str_k \cong Tr_L \cong Y_j$ относится также к той предметной области знаний, где изучаются процессы функционирования объекта. Поэтому частные методики разработки элементов $C_i, Z_j, Str_k, Tr_L, C_L, Y_j$ являются объектом разработки специалистов этой предметной области знаний. Но выделение элементов, групп, подсистем, систем и т.д. объекта и отнесение их к областям знаний является объектом системных исследований.

Третья группа методов расчета ГТХ целей, задач, структур тесно связана со второй группой трансформационных методов и также основана на частных методиках предметной области знаний, ибо там находятся законы, математические методы и способы расчета параметров ГТХ. Эти методики разрабатываются специалистами-прикладниками.

Исследование методов построения системных моделей по результатам проектных решений позволило выявить основные требования к системным моделям, методам их построения и анализа. Во-первых, метод построения системных моделей и все действия над ними должны быть реализованы на компьютере. Это требование к средствам формального описания системных моделей, которые также следует реализовать в компьютерном виде. Синтез модели должен быть простым, в удобной для пользователя форме, в интерактивном режиме, в какой-либо из графических форм для удобства органолептического анализа самой системной модели. Необходимо, чтобы построение, коррекция, анализ были удобными для специалиста в предметной области знаний в режиме "дружественного" интерфейса. Следовательно, процесс построения системных моделей, их преобразование и работа над ними должны быть в наглядной и удобной для пользователя форме, очевидно в графической. С другой стороны, системные модели необходимы для статического и динамического моделирования тактико-технических

характеристик, сравнения их между собой, эквивалентных преобразований, минимизаций, т.е. совершения над ними алгебраических действий. Следует иметь в виду, что системные модели – иерархические и многопараметрические. Это накладывает специфические требования к математическому инструментарию построения и анализа системных моделей. Разработке методов описания и алгебраических преобразований системных моделей и посвящена эта статья.

Исследование методов статистического и динамического анализа проектных решений позволило выделить три основных метода: экспертных оценок, анализа тактико-технических характеристик производительности, точности и надежности на всех уровнях и стратах проектных решений в статистическом режиме, анализа нагрузочных характеристик объекта и его системы управления в динамическом режиме.

Анализируя системные модели, используемые для описаний объекта и системы управления метасистем, можно выделить два основных класса моделей. Это структурные модели, которые описывают различные свойства и состав объектов (страты) и его системы управления, и событийные модели, которые описывают функционирование и процессы управления метасистем. К тому же структурные и событийные модели являются взаимосвязанными, одни являются прообразом для других, как по стратам, так и по уровням декомпозиции проектных решений. Это накладывает ограничения на формализацию средств описания модели. Если будут использованы различные средства, то должны быть даны методы адекватных преобразований системных моделей из одного вида в другой (равносильные эквивалентные преобразования). Вероятно, необходимо использовать единый способ описания и структур, а также событий на этих структурах. К тому же необходимо, чтобы этот способ описания модели легко мог быть использован для программирования. Вто-

рое требование к средствам описания - это наличие возможностей (аксиом) эквивалентных преобразований системных моделей (структур и алгоритмов), используемых в виде компьютерных процедур. Таким образом, требование к средствам описания системных моделей можно свести к двум основным:

- наглядность в отображении системной модели, легкость построения компьютерными средствами;

- возможность проведения алгебраических преобразований системных моделей, в том числе компьютерным способом.

Анализ формализованных средств построения и преобразований структур и алгоритмов показал, что для описания структур, удовлетворяющих требованию наглядности, используется аппарат теории графов, но с ограничением в количестве вершин (не более 50).

Для описания событийных процессов используется аппарат регулярных схем алгоритмов. В связи с этим возникла идея: построение структуры системных моделей проводить в компьютерном виде с помощью разного вида графов, а их анализ, преобразование моделей, другие действия над моделями - в модифицированном аппарате регулярных схем и языков. Для этого необходимо было разработать средство трансляции описания системных моделей из граф-схем в регулярный язык.

Методика описания структурных системных моделей на основе теории графов заключается в следующем. Проектные решения разработчика на стратах "целевой", "функциональной", "структурной", "инфологической" как объекта, так и системы управления метасистем представляют собой разработку элементов (системы, подсистемы, группы) заданного уровня проектирования и связей между ними. Поставим в соответствие "элементу" страты "узел" графа, а "связям" между "элементами" - "ребра" графа, получим описание системной модели объекта либо его системы управления в

виде графа.

Методика построения целевой системной модели метасистемы

Анализируем проектные решения "целевой" страты объекта метасистемы. Фиксируем декомпозицию генеральной цели функционирования объекта на подцели $\Gamma_{MetSys_0} = \Omega C_i Sys_0$.

1. Присваиваем каждой декомпозированной подцели системы C_i значение узла графа α_i . Строим систему узлов графа $\Omega \alpha_i$.

2. Анализируем проектные решения "целевой" страты объекта. Определяем связи между декомпозированными подцелями систем для организации генеральной цели.

$$C_1 \rightarrow C_2, \quad C_2 \rightarrow C_4, \quad C_4 \rightarrow C_6, \\ C_1 \rightarrow C_3, \quad C_3 \rightarrow C_5, \quad C_5 \rightarrow C_6.$$

3. Наносим связи между целями $C_1 \rightarrow C_2$ в виде ребер графа на соответствующие узлы графа $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$ (рис.1).

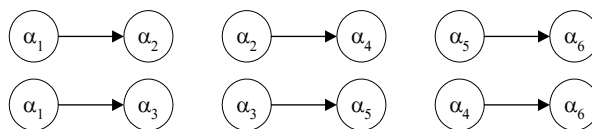


Рис. 1. Связь между узлами графа

Получим графовую целевую системную модель на уровне декомпозиции метасистемы на системы (рис.2).

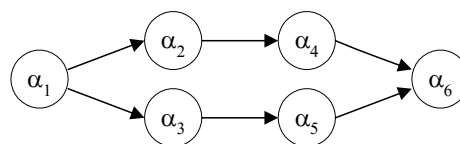


Рис. 2. Граф генеральной целевой модели

Это структура целевой модели, ее частей и связей между ними. Таким образом, генеральная цель метасистемы декомпозируется в граф подцелей составляющих ее систем (рис. 3).

Но так как метасистема - многоуровневая

система, то каждая из подцелей систем $\mathcal{C}_i Sys_0$ на "подсистемном" уровне декомпозиции расчлени-
тся на подцели подсистем $\mathcal{C}_i U_n Sys_0$ и опишется своим графом $\mathcal{C}_i Sys_0 = \Omega \mathcal{C}_i U_n Sys_0 \rightarrow \Gamma \mathcal{C}_i U_n Sys_0$.

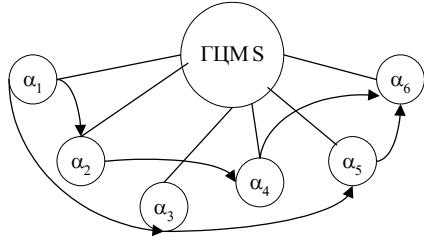


Рис. 3. Граф системной целевой модели

Подставив подграфы каждой цели системы $\Gamma \mathcal{C}_i Sys_0 = \Gamma \Omega \mathcal{C}_i U_n Sys_0$ в базе подцелей подсистем в граф генеральной цели метасистемы, получим двухуровневый граф цели метасистемы в базе подцелей подсистем (рис. 4).

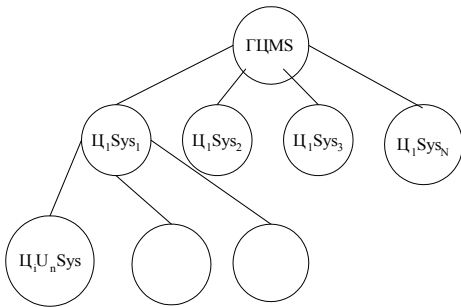


Рис. 4. Граф подсистемной целевой модели

Действуя далее по методологии проектирования метасистем "сверху-вниз", проводим декомпозицию подсистем на группы моделей и в соответствии с методикой построения системной модели строим граф подсистемы в базе групп $\Gamma \mathcal{C}_i U_n Sys_0 = \Gamma \Omega \mathcal{C}_i Gr Sys_0$.

Подставив значения подграфа целей подсистем в подграф целей систем, получим третий уровень декомпозиции генеральной цели в базе подцелей групп (рис. 5).

Далее, анализируя декомпозицию группы на элементы, получаем подграф i-й группы, состоящей из "элементарных" целей

$$\Gamma \mathcal{C}_i Gr Sys_0 = \Omega \Gamma \mathcal{C}_i El Sys_0 .$$

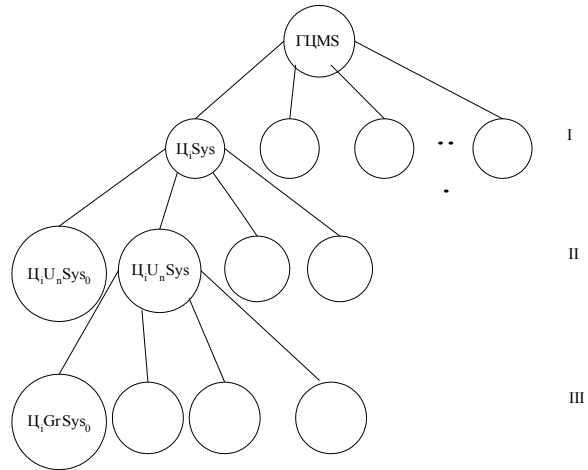


Рис. 5. Граф целевой модели на уровне групп

Подставив значения подграфов группы в подграф подсистем, получим четвертый уровень декомпозиции генеральной цели в базе "элементарных" целей метасистемы (рис.6).

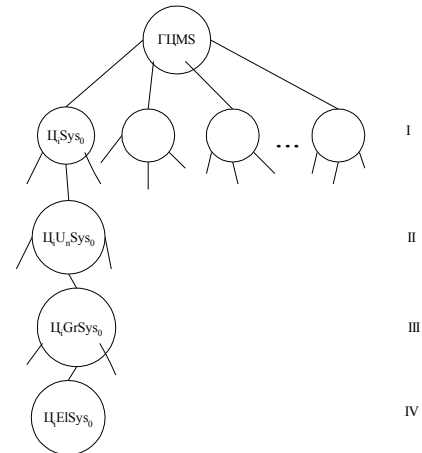


Рис. 6. Граф системной целевой модели на уровне элементов

Действуя по указанной методике, получим набор системных моделей генеральной цели метасистемы "0" ранга в базе систем $\mathcal{C}_i Sys_0$ – I уровень, подсистем $\mathcal{C}_i U_n Sys_0$ – II уровень, групп $\mathcal{C}_i Gr Sys_0$ – III уровень и элементарных целей $\mathcal{C}_i El Sys_0$ – IV уровень. Разметив каждый узел $\alpha_i \rightarrow \mathcal{C}_i$ соответствующими ТТХ \mathcal{C}_i , можно выполнить статическое и динамическое моделирование системной целевой модели объекта и его системы управления.

Методика построения системных структурных моделей в регулярных схемах системных моделей

В связи с необходимостью эквивалентных преобразований системных моделей компьютерными средствами необходимо представить их в языке регулярных схем системных моделей (РССМ) [1]. Опишем методику представления структуры целевой, функциональной, организационно-технической, инфологической, комплекса технических средств, физической и математической системных моделей в РССМ. Для этого поставим в соответствие оператору РССМ Y_j элемент декомпозированной структуры системной модели

$$C_i, Z_j, Str_k, C_L, Tr_L, f_t, M_p, T_n. \quad (1)$$

Для связи между элементами модели используем базовые операции "процесс умножения" и "процесс конъюнкции" из сигнатуры базовых операций РССМ, так как в структурных моделях нет условных переходов. Следовательно, структурные модели метасистем в РССМ запишутся в виде

$$R = f(y_j, e, \emptyset, \dot{y}, \hat{y}). \quad (2)$$

Системная целевая модель в РССМ строится следующим образом. Анализируем проектные решения по декомпозиции генеральной цели $\Gamma_{\Pi} MetSys_0$ на подцели $\Pi_i Sys_0$ систем. Ставим в соответствие каждой подцели $\Pi_1 Sys \rightarrow y_1$ свой элемент y_1 из алфавита РССМ:

$$\Pi_1 Sys_0 \dots \Pi_n Sys_0 \subset \Pi_i Sys_0; y_1 \dots y_n \subset Y_i.$$

Исследуем связи между декомпозированными целями метасистемы:

$$\begin{aligned} \Pi_1 Sys_0 &\rightarrow \Pi_2 Sys_0, & \Pi_2 Sys_0 &\rightarrow \Pi_4 Sys_0, \\ \Pi_1 Sys_0 &\rightarrow \Pi_2 Sys_0, & \Pi_6 Sys_0 &\rightarrow \Pi_5 Sys_0, \\ \Pi_4 Sys_0 &\rightarrow \Pi_6 Sys_0, & \Pi_5 Sys_0 &\rightarrow \Pi_6 Sys_0. \end{aligned} \quad (3)$$

Опосредствуем связи между $\Pi_i Sys_0 \rightarrow \Pi_{i+1} Sys_0$ на операторы $y_i^s \rightarrow y_{i+1}^s$ РССМ следующим образом. Если из одной Π_i существует только одна связь с

Π_{i+1} , то эту конструкцию в РССМ описываем с помощью базовой операции \dot{y} умножения операторов, т.е. $\Pi_i \rightarrow \Pi_{i+1}$ ставим в соответствие

$$y_i^s \cdot y_{i+1}^s. \quad (4)$$

Если из одной цели Π_i существует несколько выходов по $\Pi_{i+1}, \Pi_{i+2}, \dots, \Pi_{i+n}$, то используем базовую операцию (\hat{y}) (процесс конъюнкции операторов), которую и запишем в виде

$$y_i^s [y_{i+1}^s \wedge y_{i+2}^s \wedge \dots \wedge y_{i+n}^s]. \quad (5)$$

Закрывающаяся квадратная скобка $]$ ставится перед тем оператором y_{i+n+1}^s , к которому сходятся все пути от операторов, стоящих после открывающейся квадратной скобки $[$ и значков \wedge . Таким образом, системная целевая модель метасистемы "верхнего" уровня декомпозиции в РССМ запишется в виде

$$\begin{aligned} \Gamma_{\Pi} MetSys_0 = &\Pi_1 Sys_0 [\Pi_2 Sys_0 \Pi_4 Sys_0 \wedge \\ &\wedge \Pi_3 Sys_0 \Pi_5 Sys_0] \cdot \Pi_6 Sys_0, \end{aligned} \quad (6)$$

или через закодированные операторы РССМ:

$$R_{\Gamma_{\Pi} MetSys_0} = y_1^s [y_2^s \cdot y_4^s \wedge y_3^s \cdot y_5^s] y_6^s. \quad (7)$$

Так как, в свою очередь, подцели систем декомпозируются на подцели подсистем

$$\Pi_i Sys_0 = \Omega \Pi_i U_n Sys_0, \quad (8)$$

действуя в соответствии с описанной выше методикой, опишем каждую подцель $\Pi_i Sys_0$ через свои декомпозированные элементы в виде подмодели цели системы.

$$\begin{aligned} \Pi_i Sys_0 = &\Pi_{i+1} U_n Sys_0 [\Pi_{i-2} U_n Sys_0 \wedge \\ &\wedge \Pi_{i-3} U_n Sys_0 \wedge \dots \wedge \Pi_{i-n-1} U_n Sys_0] \Pi_{i-n} U_n Sys_0, \end{aligned} \quad (9)$$

или в операторах РССМ:

$$R_{y_i Sys_0} = y_{i-1}^U [y_{i-2}^U \wedge y_{i-3}^U \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^U] y_{i-n}^U. \quad (10)$$

Следовательно, получим целевые модели для каждой декомпозированной системы в базе подцелей подсистем. Используя правило подстановки в РССМ, вместо операторов Y_i в модели генеральной цели $\Gamma_{\Pi} MetSys_0$ (6) подставим их модели в базе

целей подсистем $\Pi_i Sys_0$. Тогда системная модель генеральной цели в базисе подцелей подсистем будет иметь вид

$$R_{\Gamma_{\Pi}} MetSys_0 = y_{i-1}^{U_n Sys_1} [y_{i-2}^{U_n Sys_1} \wedge y_{i-3}^{U_n Sys_1} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{U_n Sys_1}] y_{i-n}^{U_n Sys_1} \cdot [y_{i-1}^{U_n Sys_2} [y_{i-2}^{U_n Sys_2} \wedge y_{i-3}^{U_n Sys_2} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{U_n Sys_2}] y_{i-n}^{U_n Sys_2} \cdot y_{i-1}^{U_n Sys_4} [y_{i-2}^{U_n Sys_4} \wedge y_{i-3}^{U_n Sys_4} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{U_n Sys_4}] y_{i-n}^{U_n Sys_4} \wedge y_{i-1}^{U_n Sys_3} [y_{i-2}^{U_n Sys_3} \wedge y_{i-3}^{U_n Sys_3} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{U_n Sys_3}] y_{i-n}^{U_n Sys_3} \cdot y_{i-1}^{U_n Sys_5} [y_{i-2}^{U_n Sys_5} \wedge y_{i-3}^{U_n Sys_5} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{U_n Sys_5}] y_{i-n}^{U_n Sys_5} \cdot y_{i-1}^{U_n Sys_6} x [y_{i-2}^{U_n Sys_6} \wedge y_{i-3}^{U_n Sys_6} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{U_n Sys_6}] y_{i-n}^{U_n Sys_6} \cdot x$$
 (11)

В свою очередь, подцели подсистем $\Pi_i U_n Sys_0$ будут декомпозированы из подцели групп $\Pi_i G_r Sys_0$. Строим для каждой $\Pi_i U_n Sys_0$ системную целевую модель в алфавите групп по указанной методике и получим для нее выражение аналогично (3):

$$\Pi_i U_n Sys_0 = \Pi_{i-1} G_r Sys_0 [\Pi_{i-2} G_r Sys_0 x x \Pi_{i-3} G_r Sys_0 \wedge \dots \wedge \Pi_{i-n-1} G_r Sys_0] \cdot \Pi_{i-n} G_r Sys_0, \quad (12)$$

или в РССМ

$$R_{\Pi_i} U_n Sys_0 = y_{i-1}^{G_r U_n 1} [y_{i-2}^{G_r U_n 1} \wedge y_{i-3}^{G_r U_n 1} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_n 1}] y_{i-n}^{G_r U_n 1} \cdot [y_{i-1}^{G_r U_n 2} [y_{i-2}^{G_r U_n 2} \wedge y_{i-3}^{G_r U_n 2} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_n 2}] y_{i-n}^{G_r U_n 2} \wedge [y_{i-1}^{G_r U_n 3} [y_{i-2}^{G_r U_n 3} \wedge y_{i-3}^{G_r U_n 3} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_n 3}] y_{i-n}^{G_r U_n 3} \dots \wedge y_{i-1}^{G_r U_{i-n-1}} [y_{i-2}^{G_r U_{i-n-1}} \wedge y_{i-3}^{G_r U_{i-n-1}} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_{i-n-1}}] y_{i-n}^{G_r U_{i-n-1}} \wedge y_{i-1}^{G_r U_{i-n}} [y_{i-2}^{G_r U_{i-n}} \wedge y_{i-3}^{G_r U_{i-n}} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_{i-n}}] y_{i-n}^{G_r U_{i-n}} \dots \wedge \dots$$
 (13)

Подставив целевую модель $R_{\Pi_i} U_n Sys_0$ (13) в модель генеральной цели базиса подсистем (11), получим системную модель генеральной цели в базисе целей групп

$$R_{\Gamma_{\Pi}} MetSys_0 = y_{i-1}^{G_r U_n 1} [y_{i-2}^{G_r U_n 1} \wedge y_{i-3}^{G_r U_n 1} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_n 1}] y_{i-n}^{G_r U_n 1} \cdot [y_{i-1}^{G_r U_n 2} [y_{i-2}^{G_r U_n 2} \wedge y_{i-3}^{G_r U_n 2} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_n 2}] y_{i-n}^{G_r U_n 2} \wedge [y_{i-1}^{G_r U_n 3} [y_{i-2}^{G_r U_n 3} \wedge y_{i-3}^{G_r U_n 3} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_n 3}] y_{i-n}^{G_r U_n 3} \dots \wedge y_{i-1}^{G_r U_{i-n-1}} [y_{i-2}^{G_r U_{i-n-1}} \wedge y_{i-3}^{G_r U_{i-n-1}} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_{i-n-1}}] y_{i-n}^{G_r U_{i-n-1}} \wedge y_{i-1}^{G_r U_{i-n}} [y_{i-2}^{G_r U_{i-n}} \wedge y_{i-3}^{G_r U_{i-n}} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{G_r U_{i-n}}] y_{i-n}^{G_r U_{i-n}} \dots \wedge \dots$$
 (14)

(такие же фрагменты для каждой системы $Sys_2, Sys_3, Sys_4, Sys_5, Sys_6$).

Далее подцели $\Pi_i G_r U_n Sys_0$, в свою оче-

редь, декомпозируются на подцели элементов $\Pi_i G_r U_n Sys_0 = \Omega \Pi_i ELSys_0$. Строим аналогично модель подцели группы в базисе подцелей элементов

$$\Pi_i G_r U_n Sys_0 = \Pi_{i-1} EL^{G_r U_n Sys_0} \Pi_{i-2} EL^{G_r U_n Sys_0} \wedge \Pi_{i-3} EL^{G_r U_n Sys_0} \wedge \dots \wedge \Pi_{i-n-1} EL^{G_r U_n Sys_0} \Pi_{i-n} EL^{G_r U_n Sys_0}$$

или в РССМ

$$R_{\Pi_i} G_r U_n Sys_0 = y_{i-1}^{E_L G_r U_n Sys_0} [y_{i-2}^{E_L G_r U_n Sys_0} \wedge y_{i-3}^{E_L G_r U_n Sys_0} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{E_L G_r U_n Sys_0}] y_{i-n}^{E_L G_r U_n Sys_0} \cdot x$$
 (15)

Также проводим подстановку модели каждой подцели группы (15) в подцели своей подсистемы в выражение (13) и получим модель глобальной цели метасистем в базисе элементарных целей. На примере выпишем часть системной целевой модели для одной группы и остальные выражения в алфавите групп:

$$R_{\Gamma_{\Pi}} MetSys_0 = y_{i-1}^{E_L G_r U_n Sys_1} [y_{i-2}^{E_L G_r U_n Sys_1} \wedge y_{i-3}^{E_L G_r U_n Sys_1} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{E_L G_r U_n Sys_1}] y_{i-n}^{E_L G_r U_n Sys_1} \cdot [y_{i-1}^{E_L G_r U_n Sys_2} [y_{i-2}^{E_L G_r U_n Sys_2} \wedge y_{i-3}^{E_L G_r U_n Sys_2} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{E_L G_r U_n Sys_2}] y_{i-n}^{E_L G_r U_n Sys_2} \wedge [y_{i-1}^{E_L G_r U_n Sys_3} [y_{i-2}^{E_L G_r U_n Sys_3} \wedge y_{i-3}^{E_L G_r U_n Sys_3} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{E_L G_r U_n Sys_3}] y_{i-n}^{E_L G_r U_n Sys_3} \dots \wedge y_{i-1}^{E_L G_r U_{i-n-1}} [y_{i-2}^{E_L G_r U_{i-n-1}} \wedge y_{i-3}^{E_L G_r U_{i-n-1}} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{E_L G_r U_{i-n-1}}] y_{i-n}^{E_L G_r U_{i-n-1}} \wedge y_{i-1}^{E_L G_r U_{i-n}} [y_{i-2}^{E_L G_r U_{i-n}} \wedge y_{i-3}^{E_L G_r U_{i-n}} \wedge \dots \wedge y_{i-n-1}^{E_L G_r U_{i-n}}] y_{i-n}^{E_L G_r U_{i-n}} \dots \wedge \dots$$
 (16)

Таким образом, полученные системные целевые модели метасистемы в языке РССМ в базисе систем, подсистем, групп, элементов позволяют в ходе проектирования построить на их основе компьютерные модели (программные макеты метасистем), присвоить каждой цели Π_i количественные значения ТТТ и затем выполнить моделирование ТТТ целей метасистем на соответствие требований технического задания на разработку метасистемы.

Очевидно, что такое моделирование будет означать правильность декомпозиции генеральной цели на подцели систем, целей систем на подцели подсистем, целей подсистем на подцели групп, целей групп на подцели элементов метасистемы. Правильность декомпозиции - это системное соответ-

вие ТТТ подцелей целям системы, что проверяется в результате моделирования, поскольку системное моделирование можно проводить как в базе "верхнего уровня" через "нижний", так и любого уровня с любым "сверху - вниз". Если результаты моделирования ТТТ целевых моделей будут соответствовать ТТТ генеральной цели, то будем считать проектные решения разработчиков данного уровня проектирования соответствующими ТТЗ на разработку метасистем.

Методика представления событийных моделей метасистем в регулярных схемах системных моделей

Алгоритмы функционирования метасистем и алгоритмы управления каждого уровня декомпозиции метасистем по определению представляют собой последовательность выполнения задач функционирования (управления) на структурных элементах и системных каналах для реализации целей функционирования метасистем. Поэтому для представления алгоритма функционирования в регулярной схеме необходимо поступить следующим образом:

1) анализируем проектные решения разработчика по «целевой», «функциональной», «структурной» и «инфологической» стратах. Фиксируем задачи функционирования $\Omega_j Sys_0$;

2) ставим в соответствие с каждой $Z_j Sys_0$ оператор РССМ y_j $Z_j \cong y_j$; получаем множество $y_j \subset Y$;

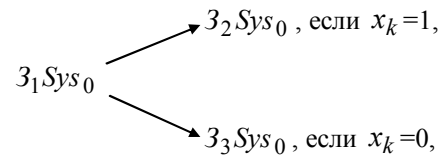
3) анализируем $C_i Sys_0$, $Z_j Sys_0$, $Str_k Sys_0$, $T_{rL} Sys_0$, $C_L Sys_0$, связи между $Z_j Sys_0$, последовательность выполнения $Z_j Sys_0$ для каждой $C_i Sys_0$; отождествляем связи между $Z_j Sys_0$ на связи между операторами y_j регулярных схем системных моделей.

Рассмотрим четыре типа связей.

Первый тип. Последовательное выполнение $Z_j Sys_0$ одна за другой. Это соответствует «логическому» умножению операторов и «процессу» умножения операторов в регулярных схемах системных моделей (y).

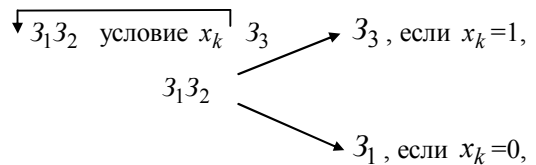
$$R = y_1 \cdot y_2 \cdot \dots \cdot y_j$$

Второй тип. Связи между $Z_j Sys_0$ осуществляются с разветвлением, вперед по условию. Анализируется условие, вводится его обозначение через условный оператор РССМ x_k , и эта связанная конструкция заменяется «X-дизъюнктивным процессом» в РССМ.



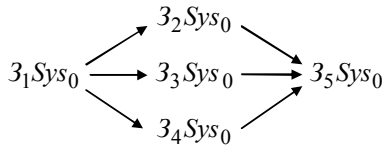
это соответствует $R = y_i (y_2 \vee y_3)^{x_k}$

Третий тип. Связи между $Z_j Sys_0$ разветвлены по условию, но одна ветвь связи идет вперед, а другая – с возвратом к выполненным задачам, т.е. определяется условный цикл. Этот тип связи соответствует базовому «X- итеративному процессу» в РССМ и данный тип связи в РССМ, запишется в виде



Это соответствует $R = \{ y_1 \cdot y_2 \}^{x_k} y_3$

Четвертый тип. От одной задачи $Z_j Sys_0$ осуществляется разветвление связей на несколько других задач, но безусловное и одновременное. Такой тип связи называется параллельным, и для него в РССМ есть базовый процесс «конъюнкции алгоритмов». Запишется эта конструкция в виде



$$R = y_1[y_2 \wedge y_3 \wedge y_4]y_5.$$

Таким образом, используя вместо $3_j Sys_0$ оператор y_j , тождественно-эквивалентный оператор e , пустой \emptyset , условия x_k , тождественное условие 0, тождественное условие 1, сигнатуру базовых «процесов» модифицированных РССМ, сможем описать любой алгоритм функционирования либо управления метасистем в таком виде:

$$AF = f(y_j, x_k, e, \emptyset, 0, 1, y, x, x, y). \quad (17)$$

Рассмотрим пример построения алгоритма функционирования метасистем на системном уровне. Определяем полный набор $3_i Sys_i$ этого уровня и присваиваем каждой $3_i Sys_i$ значение оператора $y_i^{S_i}$ в РССМ. Запишем алгоритм функционирования метасистем на системном уровне для общего случая

$$R_{AFS} MetSys_0 = y_1^{S_1} \{ y_2^{S_2} ((y_3^{S_3} \vee y_4^{S_4}) \times y_5^{S_5} \cdot y_6^{S_6} \vee y_7^{S_7}) \cdot y_8^{S_8} \} \dots y_k^{S_k}, \quad (18)$$

где $y_k^{S_i}$ – k-й оператор (задача) i-й системы, x_3^S – третий условный оператор системного уровня цикла, $\}$ - место начала цикла от x_3^S , $\{$ - место возврата в цикл от оператора x_3^S , $($ - место начала разветвления алгоритма от оператора x_1^S , $)$ – место схождения путей алгоритма от оператора x_1^S .

Исследуя проектные решения уровня проектирования подсистем, можем записать алгоритм функционирования каждой системы в базе подсистем. Для этого аналогично предыдущему случаю

поставим в соответствие $3_i U_n Sys_i$ оператор $y_i^{U_n}$ подсистемного уровня, а условным переходам от $3_i U_n Sys_i$ и $3_{i+1} U_n Sys_i$ ставим в соответствие условный оператор $x_k^{U_n}$ - подсистемного уровня. Аналогично можем записать выражения для алгоритма функционирования каждой системы в базе задач подсистемы.

$$R_{AFSys_i} = y_1^{U_{n_i}} \{ y_2^{U_{n_i}} ((y_3^{U_{n_i}} \vee y_4^{U_{n_i}}) y_5^{U_{n_i}} \cdot y_6^{U_{n_i}} \vee y_7^{U_{n_i}}) \cdot y_8^{U_{n_i}} \} \dots y_k^{U_{n_i}}, \quad (19)$$

где $y_k^{U_{n_i}}$ – операторы подсистемного уровня, $x_k^{U_{n_i}}$ – условия подсистемного уровня, $($ - начало условного разветвления алгоритма, $\}$ - схождение разветвления, $\{$ - точка вхождения цикла, $\}$ – начало цикла.

Поступая аналогично, построим алгоритм функционирования для подсистем в базе задач группового уровня и алгоритм функционирования группы в базе элементарных задач.

$$R_{AFU_n Sys_i} = y_1^{G_{r_i}} \{ y_2^{G_{r_i}} ((y_3^{G_{r_i}} \vee y_4^{G_{r_i}}) y_5^{G_{r_i}} \cdot y_6^{G_{r_i}} \vee y_7^{G_{r_i}}) \cdot y_8^{G_{r_i}} \} \dots y_k^{G_{r_i}}, \quad (20)$$

$$R_{AFG_{r_i} U_n Sys_i} = y_1^{E_{L_i}} \{ y_2^{E_{L_i}} ((y_3^{E_{L_i}} \vee y_4^{E_{L_i}}) y_5^{E_{L_i}} \cdot y_6^{E_{L_i}} \vee y_7^{E_{L_i}}) \cdot y_8^{E_{L_i}} \} \dots y_k^{E_{L_i}}, \quad (21)$$

Подставив выражение (21) в (20), получим алгоритм функционирования подсистемы в базисе элементарных задач, (21) и (20) в (19), – алгоритм функционирования системы в базисе элементарных задач, и (21) (20) (19) в (18), – алгоритм функционирования метасистем в базисе элементарных задач.

Присвоив каждому оператору $y_k^{E_{Li}}$, $y_k^{G_{ri}}$, $y_k^{U_{ni}}$, $y_k^{S_{si}}$ разработанные значения ТТХ (время выполнения, точность, надежность) и используя методы динамического анализа метасистемы (имитационное моделирование), получим нагрузочные характеристики на элементы структуры метасистемы и комплекса технических средств, производительность как метасистемы в целом, так и ее отдельных компонентов, общей оценки вероятности безотказной работы метасистемы и ее узлов.

Построение алгоритма управления метасистем по уровням проектирования выполняем аналогично построению алгоритма функционирования метасистемы. Только вместо задач функционирования для операторов РСММ своего уровня проектирования используем задачи управления $Z_{i cy}$ этого уровня проектирования системы управления метасистем. Выражения для алгоритмов управления будут аналогичными выражениям для алгоритма функционирования, естественно, с учетом структуры системы управления и связей между задачами управления. Точно так же присваивая операторам алгоритма управления разработанные значения ТТХ (пространственно-временные характеристики, точность, надежность) проводим имитационное моделирование системы управления для получения динамических характеристик метасистемы.

Заключение

Таким образом, в статье рассмотрены методы построения системных структурных и событийных моделей для создания многоуровневых сложных социотехнических систем. Предложены мате-

матические аппараты теории графов для визуализации компьютерного построения системных моделей и регулярных схем системных моделей для проведения эквивалентных преобразований над системными моделями в процессах синтеза и анализа метасистем. Представление системных моделей метасистем в регулярном виде позволит провести статическое и динамическое моделирование проектных решений на их соответствие тактико-техническим требованиям, заданным в техническом задании на разработку сложной технической системы.

Литература

1. Илюшко В.М., Илюшко Я.В., Нечипорук Н.В. Разработка системных моделей сложных радиоэлектронных систем на основе регулярных языков // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1999. - №11. - С. 69-72.
2. Илюшко В.М., Луханин М.И., Замирец Н.В. Проблемные вопросы управления крупномасштабными проектами и программами развития новой техники // Технология приборостроения. - 2001. – №1-2. – С. 65-71.
3. Илюшко В.М., Жихарев В.Я., Чумаченко И.В. Математические основы проектирования рекурсивных автоматов с программируемой логикой. – Х.: Факт, 1999. – 144 с.
4. Научно-методическое обеспечение управления сложными проектами / Под ред. М. М. Митраховича. - К.: Техника. – 2002. –369 с.
5. Илюшко В.М., Попов В.А. Об одной модификации регулярных схем алгоритмов // Математические методы анализа динамических систем. – 1997. - Вып.1. – С.33-39.

Поступила в редакцию: 02.04.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Федорович О.Е., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.