

СИНТЕЗ ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

БЕСКОРОВАЙНЫЙ В. В.

Анализируется множество задач проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем. Определяются состав и схема взаимосвязи по входным и выходным данным задач их системного проектирования. Предлагается рациональная последовательность решения задач проблемы, составляющая основу логической схемы проектирования подобных объектов.

В процессах проектирования антропогенных систем, при реорганизации или планировании их развития, неизбежно возникают задачи синтеза структуры. При этом синтезируются организационная, топологическая, функциональная, другие виды структур. Особую важность задачи структурного синтеза приобретают для территориально распределенных (крупномасштабных) систем (ТРС). Это связано с тем, что выбор топологии объекта во многом определяет его стоимостные и функциональные свойства [1, 2].

При реализации системного подхода в задачах проектирования подобных объектов одной из основных проблем является формализованное представление процесса решения совокупности взаимосвязанных задач проектирования. Такую формализацию удобно представлять в виде логической схемы построения глобального проектного решения [3,4]. Предлагаемая технология решения задачи структурного синтеза ТРС базируется на идеях агрегативно-декомпозиционного подхода, системного анализа и системного проектирования сложных систем [3-5].

На основе формализации целей ТРС и их декомпозиции на комплексы взаимосвязанных задач [6] предлагается сетевая математическая модель базовой задачи ее структурного синтеза – задачи системного проектирования [7]. Множество возможных путей на сети построенной таким образом модели представляет множество подмоделей, которые можно сформировать из ее элементарных составляющих. Степень агрегации моделей в процессе структурного синтеза определяется эффективностью используемых методов оптимизации и мощностью применяемых средств вычислительной техники. На основе полученной сетевой модели может быть построена логическая схема системного проектирования, определяющая очередность решения задач синтеза ТРС. Для задания схемы проектирования ТРС *CirDes* (от *Circuit of designing*) необходимо определить пятерку множеств [3,4]

$$CirDes = (Tasks, InDat, Res, DesDec, ProcDec), \quad (1)$$

где $Tasks = \{Task_i^l\}$ – (от *Tasks of designing*) упорядоченное множество задач проектирования; $Task_i^l$

– i -я задача l -го уровня; *InDat* (от *Initial data*) – множество исходных данных; *Res* (от *Restrictions*) – множество ограничений; *DesDec* (от *Design decisions*) – множество проектных решений; *ProcDec* (от *Procedures of the decision*) – отображение, имеющее смысл решающей процедуры и ставящее каждой паре $(InDat_i^l, Res_i^l)$ непустое подмножество *DesDec*, обозначаемое через $ProcDec(InDat_i^l, Res_i^l)$.

Все множество задач проектирования *Tasks* является полностью разрешимым, если для всех задач $Task_i^l$ существуют проектные процедуры $ProcDec_i^l$ и каждое проектное решение является единственным $|ProcDec(InDat_i^l, Res_i^l)| = 1$.

Основными задачами, связанными с решением вопросов системного проектирования ТРС, являются [6]: $Task_1^2$ – выбор принципов построения ТРС; $Task_2^2$ – выбор структуры системы; $Task_3^2$ – определение топологии элементов и связей; $Task_4^2$ – выбор технологии функционирования; $Task_5^2$ – определение параметров элементов и связей; $Task_6^2$ – оценка эффективности вариантов и выбор решений.

В процессе анализа взаимосвязей моделей в комплексе выделенных задач системного проектирования каждую из моделей удобно представлять в виде

$$ModTask_i^2 : \{InDat_{iE}^2, InDat_{iI}^2, Res_i^2\} \rightarrow \\ \rightarrow DesDec_i^2, \quad i = \overline{1, 6}, \quad (2)$$

где $ModTask_i^2$ (от *Model of a task*) – модель i -й задачи 2-го уровня; $InDat_{iE}^2$ – множество формализованных внешних (по отношению к комплексу задач) исходных данных; $InDat_{iI}^2$ – множество формализованных внутренних (по отношению к комплексу задач) исходных данных; Res_i^2 – множество формализованных ограничений; $DesDec_i^2$ – проектное решение.

В результате анализа комплекса задач установлено, что внешние (по отношению к комплексу задач) исходные данные моделей всех задач являются одинаковыми:

$$InDat_{iE}^2 = \{ObjS, K\}, \quad i = \overline{1, 6}, \quad (3)$$

здесь *ObjS* – множество формализованных характеристик обслуживаемых объектов; *K* – множество критериев для оценки и выбора вариантов построения ТРС.

В модели задачи выбора принципов построения ТРС внутренние исходные данные не используются, т.е. $InDat_{iI}^2 = \emptyset$. Система ограничений и выходные данные модели этой задачи имеют вид

$$Res_i^2 = \{Q^*, C^*, \Pi, S^*\}, \quad DesDec_i^2 = \{\pi, S^*\}, \quad (4)$$

где Q^* – требуемый уровень эффекта системы; C^* – ограничения на ресурсы (стоимость) системы; Π – множество допустимых принципов построения системы; $S^* = \{s\}$ – область существования системы, определяемая множествами элементов E' , отношений R' и топологий G' ; $\pi \in \Pi$ – выбранные прин-

ципы построения системы; $S^* = \{s\}$ – область допустимых вариантов построения системы, задаваемая множествами элементов E^* , отношений R^* и топологий G^* исходя из выбранных принципов построения $\pi \in \Pi^*$.

Системы ограничений в моделях задач $Task_2^2$ – $Task_6^2$ совпадают и имеют вид

$$Res_i^2 = \{Q^*, C^*, S^*\}, i = \overline{2, 6}. \quad (5)$$

Множества формализованных входных (внутренних) и выходных данных задачи выбора структуры системы $Task_2^2$ имеют вид

$$InDat_{2I}^2 = \{A, B\}, DesDec_2^2 = \{|E|, R, s_{ER}, K(s_{ER})\}, (6)$$

где A – технология функционирования ТРС; B – множество параметров элементов и отношений; $|E|$ – количество элементов системы; R – множество связей между элементами системы; $s_{ER}, K(s_{ER})$ – вариант построения ТРС, полученный путем оптимизации количества элементов $|E|$ и связей между ними R , а также оценка его свойств по множеству критериев K .

Множества формализованных входных (внутренних) и выходных данных задачи определения топологии элементов и связей ТРС $Task_3^2$ включают в себя

$$InDat_{3I}^2 = \{E, R, A, B\}, DesDec_3^2 = \{G, s_G, K(s_G)\}, (7)$$

где $G, s_G, K(s_G)$ – соответственно множество топологических характеристик системы, вариант ее построения с оптимизированной топологией и его покритеиальная оценка.

Множества формализованных входных (внутренних) и выходных данных задачи выбора технологии функционирования ТРС $Task_4^2$ могут быть представлены в виде

$$InDat_{4I}^2 = \{E, R, G, B\}, DesDec_4^2 = \{A, s_A, K(s_A)\}. (8)$$

Здесь $A, s_A, K(s_A)$ – соответственно множество алгоритмов, определяющих технологию функционирования системы, вариант ее построения с оптимизированной технологией и его многокритериальная оценка.

Множества формализованных входных (внутренних) и выходных данных задачи определения параметров элементов и связей $Task_5^2$ могут быть представлены в виде

$$InDat_{5I}^2 = \{|E|, R, G, A\}, DesDec_5^2 = \{B, s_B, K(s_B)\}, (9)$$

где $B, s_B, K(s_B)$ – соответственно множество параметров элементов и связей системы, вариант ее построения с оптимизированными значениями параметров и его покритеиальная оценка.

Множества формализованных ограничений, входных (внутренних) и выходных данных задачи оценки эффективности вариантов и выбора решений $Task_6^2$ могут быть представлены в виде

$$InDat_{6I}^2 = \{E, R, G, A, S^*\}, DesDec_6^2 = \{s^o, K(s^o)\}, (10)$$

здесь $s^o, K(s^o)$ – соответственно лучший вариант построения ТРС (глобальное проектное решение) и его покритеиальная оценка.

Процессы проектирования строятся по параллельной, последовательной или комбинированной схеме.

В параллельной схеме проектирования все множество задач $Task_i^2, i = \overline{1, 6}$ должно быть полностью определено заданием множеств входных данных $InDat_i^2$, ограничений Res_i^2 и решающих процедур $ProcDec_i^2$ на исходном этапе проектирования. При этом полностью параллельная схема допускает любую упорядоченность задач [3,4].

Проведенный анализ входных и выходных данных моделей комплекса задач системного проектирования показал, что все они теснейшим образом связаны между собой по внутренним входным и выходным данным [6]. Установленная схема их взаимосвязи позволяет сделать вывод о неприменимости параллельной схемы системного проектирования ТРС. Решение этой задачи целесообразно строить на основе последовательной итерационной схемы системного проектирования [3-4]. При этом из полученного проектного решения $DesDec_i^1$ очередной задачи $Task_i^1$ формируются исходные данные $InDat_{i+1}^1$ или ограничения Res_{i+1}^1 в решающей процедуре $ProcDec_{i+1}^1$ для следующей задачи $Task_{i+1}^1$. Таким образом осуществляется “закрывание” задач последовательной схемы

$$\exists DesDec_i^1 \in DesDec \text{ Tr}(InDat_{i+1}^1 \vee Res_{i+1}^1 \in DesDec_i^1), \quad (11)$$

где $DesDec$ – множество проектных решений; Tr (от *True*) – истинность высказывания

$$(InDat_{i+1}^1 \vee Res_{i+1}^1 \in DesDec_i^1).$$

При определении очередности решения задач системного проектирования ТРС $Task_i^2, i = \overline{1, 6}$ в рамках последовательной схемы следует стремиться к минимизации степени их неразрешимости по исходным данным и минимизации сложности создаваемой процедуры.

Таким образом, задача выбора принципов построения ТРС $Task_1^2$, определяющая ограничения на множество допустимых вариантов ее построения S^* для всех задач, должна решаться прежде других.

Задача оценки эффективности вариантов и выбора глобального решения $Task_6^2$ использует выходные данные (проектные решения) всех других задач комплекса, поэтому должна решаться в последнюю очередь.

Определение топологии ТРС (задача $Task_3^2$) невозможно без знания ее организационной или функциональной структуры, определяемой в результате решения задачи $Task_2^2$. Следовательно, решение этой задачи должно предшествовать решению задачи $Task_3^2$.

Ввиду того, что система может быть построена на разнотипных элементах и связях между ними, а элементы могут использовать различные алгоритмы функционирования, задачи их определения $Task_3^2$ и $Task_4^2$ должны решаться после задачи $Task_2^2$, в рамках которой определяется их количество.

Так как окончательный выбор технологии функционирования может быть осуществлен только с учетом траекторий территориальных перемещений обслуживающих каналов, информации или заявок, то решение задачи выбора технологии $Task_4^2$ должно следовать за решением соответствующей задачи $Task_3^2$.

Решение задачи выбора технологии функционирования $Task_4^2$ можно получать как до, так и после выбора параметров элементов и связей системы ($Task_3^2$). Однако в последнем случае могут чаще возникать ситуации невыполнения ограничений при заданных значениях параметров элементов и связей, требующие изменений ранее полученных проектных решений (повторных решений предыдущих задач). Поэтому предлагается решать задачу параметрического синтеза $Task_3^2$ после решения задачи технологического синтеза $Task_4^2$, полученного в условиях максимальных (наименее жестких ограничений) значений параметров.

В качестве элементарного звена, на базе которого будем производить упорядочение задач системного проектирования ТРС, используется ячейка проектирования. Она описывает принципиально разрешимую с помощью определенной решающей процедуры $ProcDec_i^1$ задачу $Task_i^1$ по ее исходным данным $InDat_i^1$ и ограничениям Res_i^1 . При этом проектные решения задачи $DesDec_i^1$ представляются в категориях модели $ModTask_i^1$ и допускают сравнение по множеству критериев K [3]. Ячейка может рассматриваться в качестве схемы представления проектной процедуры в виде

$$Task_i^1: ProcDec_i^1 \{InDat_i^1, Res_i^1\} \rightarrow DesDec_i^1 / ModTask_i^1. \quad (12)$$

На основании результатов проведенного анализа сетевой модели задачи системного проектирования ТРС (2)-(10) по ограничениям, входным и выходным данным [6] предлагается следующая цепочка ячеек в схеме решения задачи проектирования ТРС:

$$Task_1^2 \rightarrow Task_2^2 \rightarrow Task_3^2 \rightarrow Task_4^2 \rightarrow Task_5^2 \rightarrow Task_6^2. \quad (13)$$

На основании полученной последовательности задач (13) может быть построена последовательная схема системного проектирования ТРС. Для ее реализации требуется доопределение исходных данных задач $Task_2^2$, $Task_3^2$ и $Task_4^2$. Решения этих задач в предложенной схеме могут быть получены только исходя из прогнозных или экспертных

исходных данных $InDat_i^2$ и ограничений Res_i^2 , $i = 2, 4$. Следовательно, на ее основе могут быть получены только локально-оптимальные проектные решения.

Для практического применения предложенной схемы системного проектирования ТРС (13) целесообразно преобразовать предложенную схему в итерационную схему получения общего проектного решения $DesDec_1^2$, позволяющую формировать недостающие исходные данные по результатам решений предыдущей итерации. При этом может быть существенно повышено качество решений частных и общей задач системного проектирования ТРС.

Предложенный вариант логической схемы системного проектирования территориально распределенных объектов использован при проектировании информационных систем и систем обслуживания [1, 8-10]. Практическое применение полученных результатов позволяет сократить сроки решения задач проектирования и планирования развития объектов, сократить затраты на их создание и эксплуатацию, путем совместного решения задач повысить качество решений и на этой основе улучшать функциональные характеристики создаваемых объектов.

Литература: 1. Петров Э.Г., Писклакова В.П., Бескоровайный В.В. Территориально распределенные системы обслуживания. Киев: Техника, 1992. 208 с. 2. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития. М.: Наука, 1993. 160 с. 3. Построение современных систем автоматизированного проектирования /Жук К.Д., Тимченко А.А., Родионов А.А. и др. К.: Наук. думка, 1983. 248 с. 4. Тимченко А.А. Основы системного проектирования та аналізу складних об'єктів: У 2-х кн. Кн. 1. Основы САПР та системного проектирования складних об'єктів /За ред. В.І.Бикова. К.: Либідь, 2000. 272 с. 5. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Филипов В.А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем. Оптимизационно-имитационный подход. М.: Наука, 1985. 174 с. 6. Бескоровайный В.В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем // АСУ и приборы автоматики. 2002. Вып. 120. С. 29-37. 7. Смирнов О.Л., Падалко С.Н., Пиявский С.А. САПР: формирование и функционирование проектных модулей. М.: Машиностроение, 1987. 272 с. 8. Бескоровайный В.В., Имангулова З.А., Стадник И.А. Комплекс интерактивного проектирования топологических структур ИВС // Вестник ХГТУ. 1999. № 1(5). С. 33-36. 9. Бескоровайный В.В., Имангулова З.А. Алгоритмы оптимизации топологии ИВС на множестве радиально-узловых структур // Радиоэлектроника и информатика. 2000. №2. С.100-104. 10. Бескоровайный В.В., Имангулова З.А. Математическая модель задачи синтеза централизованных информационных сетей // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. 2000. Вып. 118. С. 11-14.

Поступила в редколлегию 02.07.2002

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Нефедов Л.И.

Бескоровайный Владимир Валентинович, канд. техн. наук, доцент кафедры системотехники ХНУРЭ. Научные интересы: теория принятия решений; структурный синтез и оптимизация территориально рассредоточенных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, к.277, тел. 40-93-06.