

В. В. БЕСКОРОВАЙНИЙ, д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ, Харьков;
Е. В. СОБОЛЕВА, асп. ХНУРЭ, Харьков

КОМПОЗИЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Роботу присвячено розвитку методологічних основ системного проектування територіально розподілених об'єктів. Набули подальшого розвитку формальні подання понять «система», «територіально розподілена система». Розроблено композиційну модель динамічної розподіленої задачі структурного синтезу територіально розосереджених систем. Удосконалено технологію розв'язання задач структурного синтезу об'єктів з використанням процедур моделювання системної динаміки.

Ключові слова: система, територіально розподілена система, принципи організації, класифікація, структурний синтез, моделювання, системна динаміка.

Работа посвящена развитию методологических основ проектирования территориально распределенных объектов. Нашли дальнейшее развитие формальные представления понятий «система», «территориально распределенная система». Разработана композиционная модель динамической распределенной задачи структурного синтеза территориально распределенных систем. Усовершенствована технология решения задач структурного синтеза объектов с использованием процедур моделирования системной динамики.

Ключевые слова: система, территориально распределенная система, принципы организации, классификация, структурный синтез, моделирование, системная динамика.

This work is devoted to methodological bases of distributed object's design. There are revised terms "system", "geographically distributed system". It's presented a compositional model of dynamic distributed problem of distributed system's structural synthesis. It's improved the solving technology of object's structural synthesis problem by using system dynamics simulation procedures.

Keywords: system, geographically distributed system, principles of organization, classification, structural synthesis, simulation, system dynamic.

Введение. Современные территориально распределенные объекты мониторинга, транспорта, связи, производства и сбыта товаров, как правило, состоят из большого количества элементов со сложной схемой взаимосвязей между ними. Создание для них единого формального описания в процессах их структурного синтеза является достаточно сложной задачей [1, 2]. Традиционно проблема структурного синтеза систем рассматривается состоящей из совокупности не полностью определенных задач проектирования, для которых не сконструированы схемы проектирования и не синтезированы модели проектирования, что позволяет отнести их к числу слабоструктурированных [3–5]. В процессе решения проблем синтеза подобных объектов производится их декомпозиция на задачи нескольких иерархических уровней [6, 7]. Однако в задачах нижних уровней не удается учесть все системные свойства сложных объектов, представленные на

верхних уровнях иерархии. Во избежание недопустимых упрощений в постановках задач нижних уровней требуется дальнейшее развитие методологии системного синтеза подобных объектов, в частности, путем дополнения применяемого в системологии декомпозиционного подхода формальными методами композиции.

Современные подходы к проектированию, созданию и управлению подобными объектами на основе технологий автоматизированного проектирования, управления проектами и планирования развития предусматривают возможность участия в таких процессах групп территориально удаленных исполнителей (организаций). С учетом этого задачи системного синтеза, в процессе решения которых во времени необходимо учитывать топологию материальных, трудовых, вычислительных и информационных ресурсов следует рассматривать в качестве динамических распределенных.

Объект исследования – задача синтеза территориально распределенных объектов.

Предмет исследования – формализация общей задачи синтеза территориально распределенных объектов.

Целью работы является разработка композиционной модели динамической распределенной задачи структурного синтеза территориально распределенных объектов.

Формальное представление понятия «система». В зависимости от целей анализа и уровня абстрагирования известны различные определения понятия «система». Наиболее общим является его теоретико-множественное описание, дающее определение системы как «множества взаимосвязанных элементов». Формально система представляется посредством минимально необходимой пары множеств элементов и их связей:

$$s = \langle E, R \rangle, \quad (1)$$

где s – система (структура); E – множество элементов; R – множество отношений между элементами.

При этом в рамках системотехнического подхода лишь вербально формулируется постулат: система есть нечто большее, чем просто множество взаимосвязанных элементов – «нечто целое, представляющее собой единство закономерно расположенных и находящихся во взаимной связи частей» [8].

Понятие «система» часто употребляется вместе с понятием «структура», которое также определяется через множество взаимодействующих элементов. Причем, по толкованию, система обладает свойством целостности, а структура отражает строение чего-либо, обладающего или не обладающего таким свойством.

В дальнейшем будем использовать следующую иерархию определений:
– множество элементов – это среда;

– множество взаимодействующих элементов, не обладающее свойством целостности – это структура;

– множество взаимодействующих элементов, обладающее свойством целостности – это система.

С учетом этого будем считать, что: определение понятия «система» неразрывно связано с необходимостью определения понятия «целое»; категория целостности определяется степенью взаимодействия множества элементов; необходимое и достаточное условие целостности – это наличие пространственно-временных границ взаимодействия какого-либо рода на множестве элементов.

Таким образом, гносеологическое описание понятия «система» является следующим: путем разделения среды на внешнюю среду (в сложных случаях – структуру) и внутреннюю структуру, т.е. посредством объективизации границ структур в среде организуются целостные объекты – системы.

Относительно объективно ограниченного взаимодействия элементы системы являются однородными, а элементы окружающей среды – разнородными. При этом степень целостности напрямую зависит от устойчивости границ и может быть оценена разностью энтропий внешней среды и системы. Заметим, что если энтропия системы равна энтропии внешней среды, то объект, формализуемый как система, вероятнее всего, не целостен, и необходимо пересмотреть множество его элементов, связей, видов взаимодействия, иначе будут упущены важные системные свойства. Степень целостности – динамически изменяемая величина: до тех пор, пока энтропия системы константна, система остается полной (относительно исходных множеств элементов, связей и видов взаимодействий); и до тех пор, пока энтропия внешней среды не достигает значения энтропии системы, она остается целой.

Выявленные наблюдателем взаимодействия элементов системы, могут быть формализованы, и на завершающей стадии познания – сформулированы в виде законов или принципов организации. Разделим принципы организации на следующие категории:

– принципы организации сред;

– принципы организации целостности.

Принципы организации сред отображают сущность структур, назовем их структурообразующими (они составляют предмет исследований различных наук). Они могут быть представлены как отображение множества элементов среды на множество связей.

Принципы организации целостности отображают сущность различий принципов организации внешней среды и системы, фактически, обозначая область существования границ между внешней и внутренней средами. Систему можно рассматривать как высокоорганизованную среду. Принципы организации целостности актуальны на стыках научного знания, они являются предметом изучения, в частности, для метафизических

исследований отдельных отраслей естествознания и, в общем, для философии. Такие принципы организации назовем системообразующими.

По степени сложности организации целого выделим три системообразующих принципа, соответствующих системам, обладающих следующими свойствами:

– единство организующих причин (при наличии обозначенных границ им может обладать любой набор совместно взятых элементов);

– единство в осуществлении действий (проявляет набор элементов, осуществляющих хотя бы одно совместное действие);

– единство целей организации (организует систему из набора элементов, осуществляющих действия для достижения хотя бы одной совместной цели (здесь «цель» – некоторый сформулированный результат действия).

Таким образом, выражение (1) подходит исключительно для формализации структур. Малоизученную систему целесообразно представлять в виде:

$$S \ll E, R, \bar{s} \gg, \quad (2)$$

где S – система; E – множество элементов; R – множество отношений между элементами; \bar{s} – внешняя среда (или структура);

В этом случае принцип системной организации задан неявно в виде обозначения границ существования системы и внешней среды.

Система, для которой явно сформулированы принципы организации целостности, может быть представлена следующим образом:

$$S = O_{\pi}(E, R), \quad (3)$$

где O_{π} – оператор организации целостности в соответствии с принципами π .

Таким образом, принципы системной организации могут быть заданы явно в виде оператора организации O_{π} , либо неявно в виде обозначения внешней среды. Очевидно, что в случаях, когда внешняя среда отсутствует или ею можно пренебречь, для описания системы в виде (2) достаточно описания структуры в виде (1). Однако, именно в случае явного задания O_{π} , как в (3), можно говорить о полноте знаний о системе и пределах ее существования, т.е. о ее целостности.

На наш взгляд, принципы организации также могут быть сформулированы таким образом, что для описания системы будет достаточно дополнить их либо только множеством элементов, либо только множеством связей: $S = O_{\pi}(E, R) = O_{\pi R}(E) = O_{\pi E}(R)$.

Оператор организации отражает свойство целостности системы – ее свойство представлять собой для наблюдателя или надсистемы одну элементарную единицу. Принципы организации исследуемой системы наблюдатель определяет субъективно. Оператор организации отражает те системные взаи-

мосвязи, которые поняты и интерпретированы наблюдателем при изучении системы либо задаются аналитиком при проектировании. В отличие от чего, множество отношений между элементами R отражает фактические, неинтерпретируемые (в силу ненужности, с целью упрощения формализации, либо из-за чрезмерной сложности) взаимосвязи системных элементов. Формальное отделение принципов системной организации от принципов структурной организации позволит выявлять в ходе системного анализа источники ошибочных суждений, а в ходе синтеза разделить зоны влияния и ответственности проектировщиков различных уровней иерархии.

Формальное описание территориально распределенной системы.

Для территориально распределенных объектов важнейшей составляющей является привязка элементов и их связей к территории (топологии). Поэтому в [7] предлагается включить топологию в теоретико-множественное описание территориально распределенной системы (TPC):

$$s = \langle E, R, G \rangle, G = \{G_E, G_R, G_A\}, \tag{4}$$

где G – топологическая реализация, определяемая кортежем топологии элементов G_E , топологии отношений (связей) G_R и топологии траекторий (перемещений информации, энергии, других ресурсов, определяемых алгоритмами A или технологией функционирования системы) G_A .

Топологию можно рассматривать в качестве аспекта реализации структур. Топологическую реализацию можно поставить в один ряд с технологической и параметрической реализациями, актуальность обособления которых зависит от ракурса исследования объекта.

Различные аспекты реализации (организации) – топология G , технология A , параметрическая организация B , по сути, представляют качественные характеристики системы. Их стоит отделить от формальной материи систем (характеристик формы) – множеств элементов и их отношений (рис. 1).

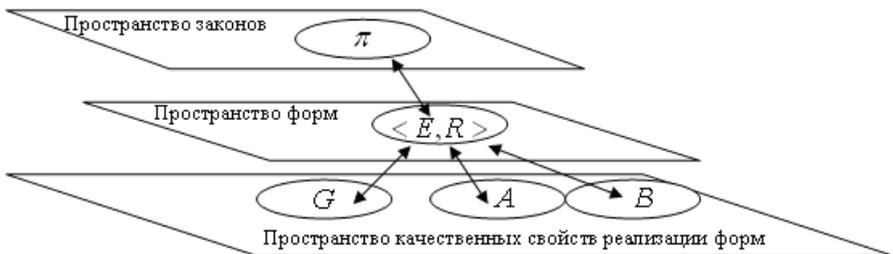


Рис. 1 – Схема взаимодействия пространств, формирующих систему

Принципы организации системы принадлежат пространству законов организации и познаваемы умозрительно (они являются продуктом мыслительной деятельности наблюдателя). Форма системы принадлежит естественным (материальным, энергетическим) пространствам взаимодействующих элементов и познаваема опытным путем. Топология, технология и параметры системы есть аспекты и характеристики организации форм, позволяющие представить вербально категориальное описание системы (они также являются результатом умозаключений наблюдателя).

Система может быть также отображена в пространства количественных характеристик (стоимостных, временных, устойчивости, живучести, эффективности), которые определяются мерами пространств.

TPC, как целостное взаимоотображение элементов трех указанных пространств (рис. 1), можно представить в следующем виде:

$$S = O_{\pi}(E_{ABG}, R_{ABG}), \quad (5)$$

где E_{ABG} – множество элементов, обладающих характеристиками, соответствующими технологии A , обладающих параметрами согласно B и территориально распределенных в соответствии с G ; R_{ABG} – множество отношений между элементами, реализованных технологически, параметрически, топологически в соответствии с A, B, G .

Множество свойств системы – это набор порождаемых ею характеристик $p(S) = p[O_{\pi}(E_{ABG}, R_{ABG})]$. И в первую очередь, свойства системы определяются принципами ее организации. Именно из этого следует возможность получения новых научных знаний (путем выявления общих принципов организации) на стыке совершенно разных наук, изучающих системные свойства объектов совершенно разных элементных базисов.

Формализация задачи структурного синтеза TPC. Проблема структурного синтеза крупномасштабных систем может быть представлена в виде метазадачи, состоящей из множества задач, относящихся к различным иерархическим уровням декомпозиции, с их взаимосвязями по исходным данным и результатам решения (рис. 2) [7].

В [7] предложено представление задач $Task$ уровня декомпозиции m в виде отображений множества их входных данных In во множество выходных данных Out :

$$Task_i^m : In_i^m \rightarrow Out_i^m, \begin{cases} m = 1, i = \overline{1,5}; \\ m = 2, i = \overline{1,6}. \end{cases} \quad (6)$$

Сохранив исходную номенклатуру задач [7], преобразуем их формальную запись в соответствии с предложенным формальным представлением TPC (5).

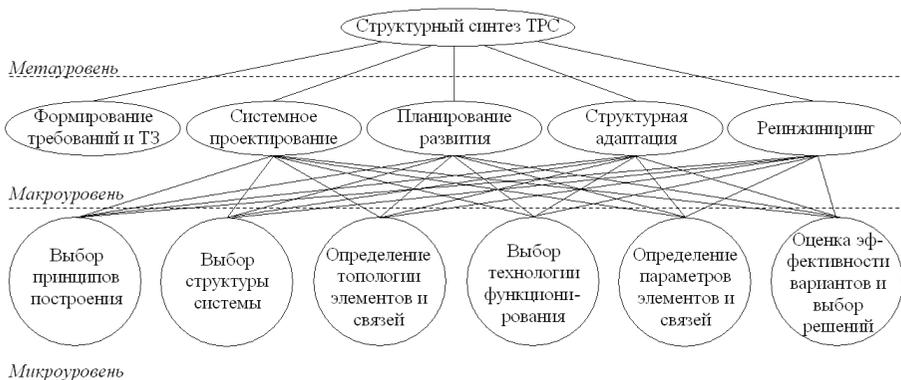


Рис. 2 – Схема декомпозиции проблемы структурного синтеза ТРС

Задачи макроуровня ($m=1$). В связи с тем, что принципы функционирования π в соответствии с (5) заданы областью существования системы, задача формирования требований к системе и разработка технического задания на проектирование может быть представлена в виде [7]:

$$Task_1^1 : \{ObjS, Los, Ben, S^U\} \rightarrow \{K, Q^*, C^*, \pi, S'\},$$

$$Task_1^1 : \{ObjS, Los, Ben, S^U\} \rightarrow \{K, Q^*, C^*, S'\}, \quad (7)$$

где $ObjS$ (от *Object of Service*) – множество характеристик объектов, для обслуживания которых синтезируется система; Los (от *Loses*) – множество потерь, связанных с неудовлетворением спроса объектов из-за отсутствия ТРС; Ben (от *Benefits*) – множество выгод от обслуживания объектов синтезируемой ТРС; S^U – исходное множество вариантов построения ТРС, которые могут быть заданы в виде (2); K – множество критериев для оценки и выбора вариантов построения ТРС; Q^* – требуемый набор качеств системы; C^* – требуемый набор стоимостных характеристик; S' – область существования системы, заданная областью существования A', B', G' , а, следовательно, областью существования E'_{ABG} и R'_{ABG} .

Задача системного проектирования может быть представлена в виде [7]:

$$Task_2^1 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, \pi, S'\} \rightarrow \{S^o, K(S^o)\},$$

$$Task_2^1 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S'\} \rightarrow \{S^o = O_\pi(E^o_{ABG}, R^o_{ABG}), K(S^o)\}, \quad (8)$$

где S^o – эффективный вариант построения ТРС; $K(S^o)$ – множество оценок критериев варианта построения ТРС.

Задача планирования развития [7]:

$$Task_3^1 : \{T, ObjS_t, K, Q_t^*, C_t^*, S'\} \rightarrow \{S_t^o, K(S_t^o)\},$$

$$Task_3^1 : \{T, ObjS_t, K, Q_t^*, C_t^*, S'\} \rightarrow \{S_t^o = O_\pi[E_{ABG}^o(t), R_{ABG}^o(t)], K(S_t^o)\}, \quad (9)$$

где T – множество моментов времени, на котором должна быть задана функция развития ТРС S_t^o ; $ObjS_t$ – функция развития множества характеристик объектов, для обслуживания которых синтезируется система; Q_t^* – функция развития требуемого набора качеств ТРС; C_t^* – функция развития требуемого набора стоимостных характеристик.

Задача структурной адаптации может быть представлена в следующем виде [7]:

$$Task_4^1 : \{Obj\tilde{S}, S^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}'\} \rightarrow \{\tilde{S}^o, K(\tilde{S}^o)\},$$

$$Task_4^1 : \{Obj\tilde{S}, S^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}'\} \rightarrow \{\tilde{S}^o = O_\pi(\tilde{E}_{ABG}^o, \tilde{R}_{ABG}^o), K(\tilde{S}^o)\}, \quad (10)$$

где $Obj\tilde{S}$ – изменения множества характеристик обслуживаемых объектов; \tilde{Q}^* – изменения требуемого набора качеств ТРС; \tilde{C}^* – изменения требуемого набора стоимостных характеристик.

Задача реинжиниринга ТРС [9] может быть представлена в виде с явным обозначением возможности модернизации принципов организации [7]:

$$Task_5^1 : \{Obj\tilde{S}, S^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}', \Delta_{ER}\} \rightarrow \{\tilde{S}^o, K(\tilde{S}^o)\},$$

$$Task_5^1 : \{Obj\tilde{S}, S^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}', \Delta_{ER}\} \rightarrow \{\tilde{S}^o = \tilde{O}_\pi(\tilde{E}_{ABG}^o, \tilde{R}_{ABG}^o), K(\tilde{S}^o)\}, \quad (11)$$

где Δ_{ER} – допустимые пределы модернизации элементной базы, модернизации связей ТРС с допустимым изменением их стоимостных и функциональных характеристик.

Задачи микроуровня ($m=2$). Задача выбора принципов построения системы в соответствии с (5) [7]:

$$Task_1^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, \pi, S'\} \rightarrow \{\pi^*, S^*\},$$

$$Task_1^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S'\} \rightarrow \{S^* = O_{\pi^*}(E_{ABG}^*, R_{ABG}^*)\}, \quad (12)$$

где π^* – выбранные принципы построения ТРС, S^* – допустимое множество вариантов построения ТРС в соответствии с выбранными принципами

(заданное на допустимых множествах A^*, B^*, G^* , а, следовательно, на допустимых E_{ABG}^* и R_{ABG}^*).

Задача выбора структуры системы в отличие от постановки в [7] (где она формулируется как доопределение варианта построения системы количеством элементов и связями между ними) формулируется нами как отображение допустимого варианта построения системы на некоторый аспект абстрагирования в виде структуры (1) (функциональной, параметрической или топологической) [7]:

$$\begin{aligned}
 Task_2^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, A, B, S^*\} &\rightarrow \{|E|, R, S_{ER}, K(S_{ER})\}, \\
 Task_2^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} &\rightarrow \begin{cases} \{s_A^* \leq E_A^*, R_A^* >, K(s_A^*)\}, \\ \{s_B^* \leq E_B^*, R_B^* >, K(s_B^*)\}, \\ \{s_G^* \leq E_G^*, R_G^* >, K(s_G^*)\}. \end{cases} \quad (13)
 \end{aligned}$$

Задача определения системной топологии элементов и связей может быть представлена в виде [7]:

$$\begin{aligned}
 Task_3^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, A, B, S^*, E, R\} &\rightarrow \{G, S_G, K(S_G)\}, \\
 Task_3^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} &\rightarrow \{S^* = O_\pi(E_{ABG^*}, R_{ABG^*}), K(S^*)\}. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Задача выбора системной технологии функционирования [7]:

$$\begin{aligned}
 Task_4^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, A, B, S^*, E, R\} &\rightarrow \{A, S_A, K(S_A)\}, \\
 Task_4^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} &\rightarrow \{S^* = O_\pi(E_{A^*BG^*}, R_{A^*BG^*}), K(S^*)\}. \quad (15)
 \end{aligned}$$

Задача определения системных параметров элементов и связей [7]:

$$\begin{aligned}
 Task_5^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, A, B, S^*, E, R\} &\rightarrow \{B, S_B, K(S_B)\}, \\
 Task_5^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} &\rightarrow \{S^* = O_\pi(E_{AB^*G}, R_{AB^*G}), K(S^*)\}. \quad (16)
 \end{aligned}$$

Задача определения эффективности вариантов ТРС и выбора оптимального решения может быть представлена в виде [7]:

$$\begin{aligned}
 Task_6^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} &\rightarrow \{S^o, K(S^o)\}, \\
 Task_6^2 : \{ObjS, K, Q^*, C^*, S^*\} &\rightarrow \{S^o = O_{\pi^o}(E_{A^oB^oG^o}, R_{A^oB^oG^o}), K(S^o)\}. \quad (17)
 \end{aligned}$$

Композиционная модель динамической распределенной задачи синтеза ТРС. На основе анализа взаимосвязи задач микроуровня по входным и выходным данным, можно сделать такие выводы:

а) результаты решения задачи $Task_1^2$ (выбора принципов построения) наследуются задачами $Task_2^2 - Task_5^2$, т.е. всегда являются для них входными данными;

б) решение задачи $Task_6^2$ (определения эффективности вариантов и выбора решений) осуществляется совместно с решением задач $Task_2^2 - Task_5^2$ (выбора структуры системы, выбора топологии, выбора технологии, определения параметров) по окончании отдельных итераций выполнения процедур их решения;

в) решение задач $Task_2^2 - Task_5^2$ может быть осуществлено в произвольном порядке, параллельно или комплексно [2, 7] в зависимости от ситуации решения общей задачи структурного синтеза.

На наш взгляд, представление проблемы структурного синтеза систем должно основываться на предпосылке целостности процесса поиска решения. Следующей стадией решения проблемы структурного синтеза ТРС должна являться композиция проблемы в единое представление. На основе анализа взаимосвязи задач по входным и выходным данным декомпозиционная схема системного проектирования ТРС (рис. 2) была преобразована в следующую композиционную схему, представленную в виде целевой диаграммы (рис. 3).

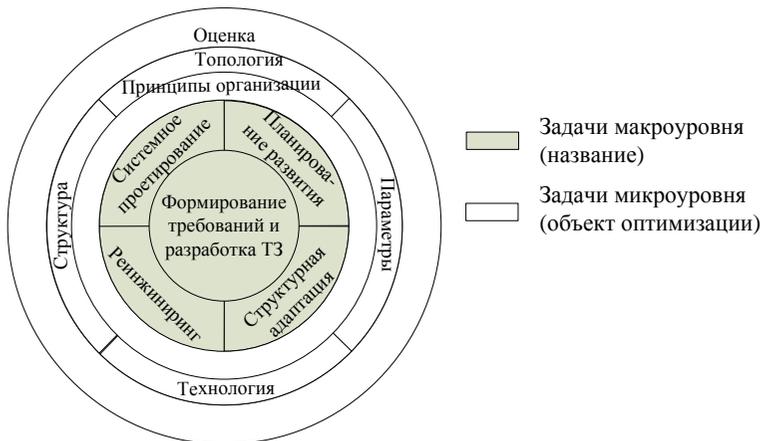


Рис. 3 – Композиционная схема решения задачи структурного синтеза в виде целевой диаграммы

Композиционная схема позволяет более наглядно представить взаимосвязь задач единой проблемы структурного синтеза сложных систем.

Распределенная динамическая задача структурного синтеза является многомерной, а процесс ее решения – мультиитерационным. Схематичное представление многомерности процесса решения общей задачи структурного синтеза приведено на рис. 4, где оси смены задач на макро- и микроуровнях дополнены осью декомпозиции объекта и осью иерархии исполнителей, осуществляющих решение задач.

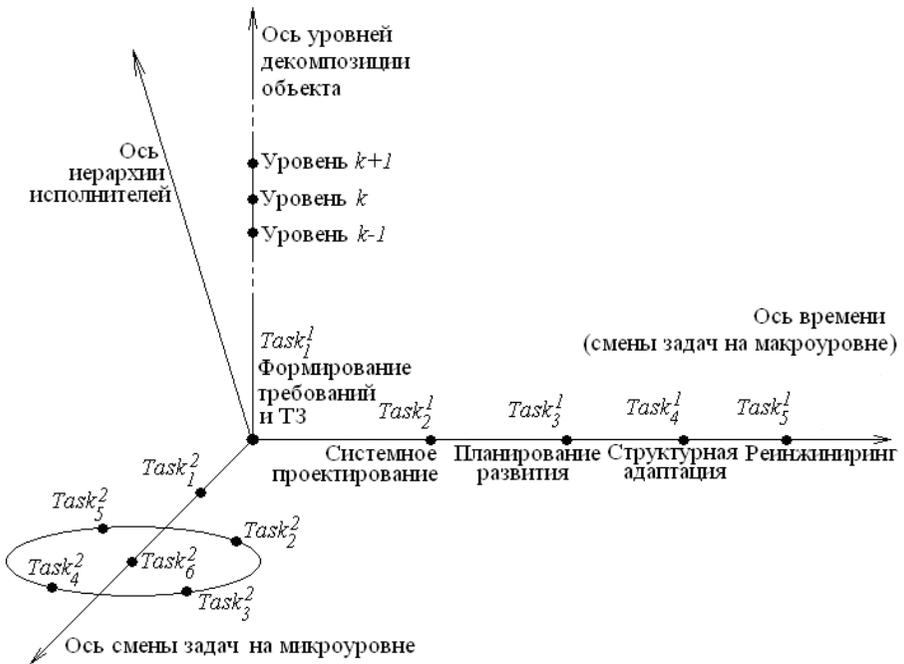


Рис. 4 – Пространство состояний для процесса решения общей задачи структурного синтеза

В зависимости от организационной структуры предприятия, осуществляющего проектирование системы, иерархия исполнителей может определяться:

- иерархией уровней декомпозиции синтезируемого объекта;
- иерархией задач макроуровня структурного синтеза.

Проектировщики и (или) машина (*Processor*), осуществляющие решение задачи на своем уровне иерархии и соответствующем уровне декомпозиции объекта, в качестве входных данных решения частной задачи может иметь лишь часть входных данных решения общей задачи и не иметь доступа к информации о непосредственно проектируемом объекте, работая с моделью

(формализованной в каком-либо виде) и (или) технической проектной документацией. При этом исполнитель может иметь различные права доступа к синтезируемому объекту, его модели или к технической документации (рис. 5).

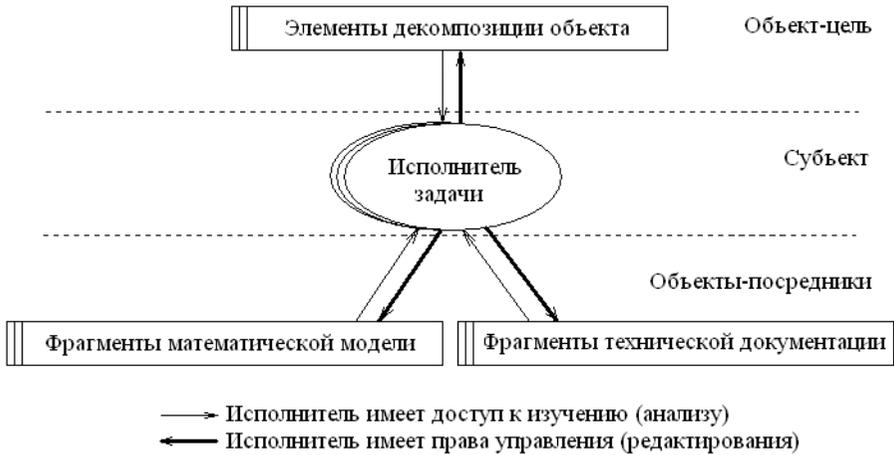


Рис. 5 – Схема информационного взаимодействия объекта и субъекта проектирования

Задача, находящаяся в состоянии решения, может быть представлена следующим набором данных:

$$TaskInProcess \Leftarrow \langle Timing, Task, Processor \rangle, \quad (18)$$

где *Timing* – набор данных, содержащий значение текущего времени, информацию о предполагаемых и реальных датах начала и окончания решения задачи; *Task: In → Out* – задача, входные и выходные данные которой представлены в разрезе *Timing*; *Processor = {ID, Mission, Permission}* – набор идентификационных данных для множества исполнителей с обозначением их обязанностей и прав в рамках выполнения проекта, представленные в разрезе *Timing*.

Объединив представление пространства состояний для процесса решения общей задачи структурного синтеза (рис. 4) и представление информационного взаимодействия объекта и субъекта проектирования (рис. 5), с учетом типового маршрута проектирования [4, 5], распределенная динамическая задача структурного синтеза может быть представлена следующим образом (рис. 6). Математическая модель проектируемого объекта и техническая документация по проекту выделены как особые данные, доступные на всех этапах маршрута решения задачи структурного синтеза ТРС.

Такой маршрут решения задачи структурного синтеза ТРС подразумевает применение блочно-иерархической декомпозиции объекта

проектирования. При этом могут использоваться каскадная, спиральная, итеративная технологии процесса решения общей задачи структурного синтеза.

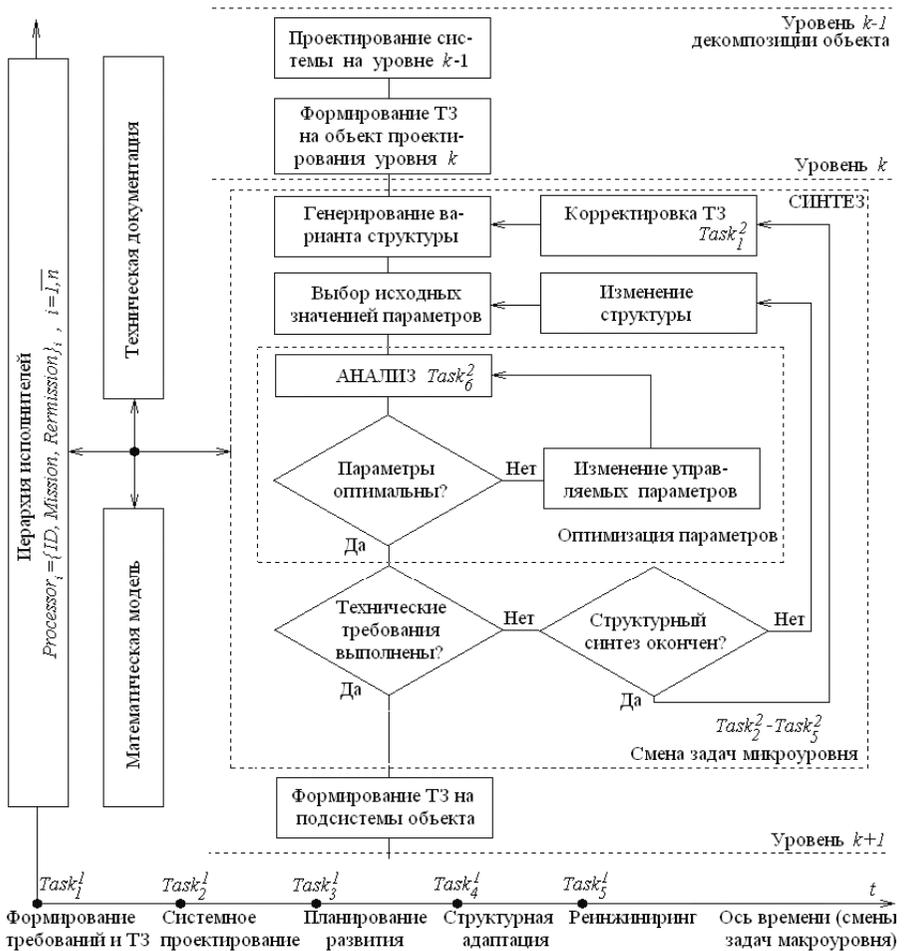


Рис. 6 – Схема маршрута решения распределенной динамической задачи структурного синтеза ТРС

Решение задачи синтеза ТРС на основе моделирования системной динамики. Задачи структурного синтеза ТРС в настоящее время чаще всего решаются независимо друг от друга, причем объект синтеза и критерии оптимизации для каждой из частных задач формализуются отдельно и часто

независимо друг от друга. Вследствие этого возникают противоречивость решений отдельных задач и проблемы получения общего решения. В задачах синтеза крупномасштабных систем данная проблема может быть ликвидирована существованием единого их системного представления для различных постановок задач и подзадач проектирования. Таким единым представлением объекта может стать модель, построенная по методологии системной динамики [10], целостно описывающая все интересующие исследователя аспекты функционирования. Тогда частные критерии оптимизации отдельных задач могут быть основаны на результатах имитации модели целостного объекта.

Преимуществом подхода с использованием моделирования системной динамики является возможность моделирования реорганизации отдельных подсистем на модели всей системы в целом. Описание сложной ТРС с помощью формального аппарата системной динамики представляет собой единую модель требуемой сложности и позволяет осуществить поиск единого эффективного проектного решения в рамках единой проектной процедуры. На невозможность получения эффективных решений в рамках иных способов формализации указано в [2].

Анализ проблемы структурного синтеза показывает, что основными автоматизируемыми его задачами являются задачи выбора структуры системы, определения топологии элементов и связей, выбора технологии функционирования и определения параметров элементов и связей $Task_2^2$ – $Task_5^2$. При первом входе в процедуру решения каждой задачи, как правило, создаются частичные модели, описывающие ТРС с точки зрения особенностей текущей задачи. Такие модели являются сравнительно простыми, использование их упрощает процесс решения частных задач, но затрудняет поиск решения метазадачи структурного синтеза в целом.

Предлагаемая схема проектирования основана на идее выбора проектного решения по результатам моделирования системной динамики объекта, когда до момента начала решения какой-либо из задач $Task_2^2$ – $Task_5^2$ синтезируется общая для них модель. Предполагается, что предварительное трудоемкое создание целостной модели системной динамики проектируемого объекта невозможно в самом начале проектных работ, поэтому выходом из данной ситуации является использование на начальной стадии проектирования обобщенной типовой макромоделли с возможностью ее уточнения при переходе между этапами проектирования. Синтез такой единой модели сложен в виду высокой сложности структур ТРС, однако гарантирует получение решения общей задачи структурного синтеза.

Схема решения задач $Task_2^2$ – $Task_5^2$ с помощью моделирования (с учетом типового маршрута проектирования в среде САПР, представленного на рис. 6) может быть изображена следующим образом (рис. 7).



Рис. 7 – Схема решения задач структурного синтеза с использованием процедур моделирования системной динамики (микроуровень)

Суть настройки такой модели системной динамики при решении задач макроуровня заключается в следующем.

1. Для задачи формирования требований к системе и разработки технического задания на проектирование ($Task_1^1$) – определение требований к структуре модели проектируемого объекта.

2. Для задачи системного проектирования ($Task_2^1$) – дополнение модели перечнем параметров и законов регулирования (кинетически эквивалентных правилам функционирования проектируемого объекта).

3. Для задачи планирования развития ($Task_3^1$) осуществляется моделирование с измененными параметрами или динамически изменяющимися параметрами вместо ранее идентифицированных параметров.

4. Для задачи структурной адаптации ($Task_4^1$) – добавление в модель переменных, соответствующих новым внешним условиям функционирования объекта и осуществление моделирования с оптимизацией параметров модели.

5. Для задачи реинжиниринга ($Task_5^1$) – оптимизация параметров модели, констант, законов регулирования, а также структуры модели.

Суть настройки модели системной динамики при решении задач микроуровня заключается в следующем.

1. Для задачи выбора принципов построения системы ($Task_1^2$) – определение структуры модели проектируемого объекта.

2. Для задачи выбора структуры системы ($Task_2^2$) – дополнение модели идентифицированными параметрами и уточненными законами регулирования.

3. Для задачи определения топологии элементов и связей ($Task_3^2$) – идентификация транспортных запаздываний.

4. Для задачи выбора технологии функционирования ($Task_4^2$) – уточнение точек истока и стока потоков информации и ресурсов.

5. Для задачи определения параметров элементов и связей ($Task_5^2$) – идентификация констант организационных запаздываний.

6. Для задачи оценки эффективности вариантов и выбор оптимального решения ($Task_6^2$) – ввод в модель дополнительных переменных, соответствующих критериям оптимизации, осуществление оптимизации.

На примере решения задачи структурно-топологической оптимизации трехуровневой иерархической ТРС определим требования, предъявляемые к САПР на каждом этапе решения задачи структурного синтеза ТРС (по рис. 7), использующей для анализа проектных вариантов модель системной динамики объекта (таблица).

Требования, предъявляемые к САПР в ходе решения задачи структурно-топологической оптимизации ТРС

Этап решения задачи	Требования
Синтез модели	Наличие библиотеки типовых макромоделей ТРС, интерактивная параметризация модели
Генерация текущего проектного варианта и соответствующая настройка модели	Наличие библиотеки интерактивных процедур генерации топологических структур, библиотеки методов идентификации параметров транспортных запаздываний
Моделирование	Возможность интерактивного выбора возмущающего воздействия на объект, шага и длительности моделирования
Анализ вариантов и оптимизация	Возможность интерактивного выбора формы представления результатов моделирования, выбора набора частных критериев оптимизации, наличие библиотеки функций полезности частных критериев, библиотеки моделей обобщенных критериев оптимизации

Задача структурно-топологической оптимизации – это комплексная задача, объединяющая решение задач $Task_2^2$ и $Task_3^2$. Настройка модели системной динамики для ее решения осуществляется в соответствии со сгенерированным вариантом топологии системы после идентификации

топологических параметров модели (порядок и постоянная запаздывания транспортировки ресурсов обслуживания из центрального пункта в узловые элементы, порядок и постоянная запаздывания транспортировки ресурсов от узловых элементов к обслуживающим элементам).

Выводы. На основе анализа современного состояния проблемы структурного синтеза территориально распределенных объектов получило дальнейшее развитие их формальное представление, разработана композиционная модель динамической распределенной задачи их структурного синтеза, усовершенствована технология ее решения с использованием процедур моделирования системной динамики. На основе предложенной модели и технологии структурного синтеза территориально распределенных объектов разработано программное средство, предназначенное для использования в составе системы их автоматизированного проектирования. Его эффективность апробирована в процессе решения задач структурно-топологической оптимизации трехуровневых сервисных систем с подвижными обслуживающими устройствами. Практическое применение полученных результатов позволяет сформировать структуру базы данных проекта, эффективно распределить зоны ответственности его исполнителей, сформировать систему управления проектом. Реализация предложенной схемы решения задачи структурного синтеза на основе анализа проектных вариантов с помощью модели системной динамики объекта позволяет использовать для решения частных задач общий критерий оптимизации, сформулированный в постановке исходной задачи синтеза, и на этой основе повысить эффективность получаемых проектных решений.

Список литературы: 1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович; пер. с англ.; под ред. И.Ф. Шахнова; предисл. чл.-кор. АН СССР Г.С. Поспелова. – М.: Мир, 1973. – 344 с. 2. Петров Э.Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескоровайный. – К.: Техника, 1992. – 208 с. 3. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара; пер. с англ. Э. Л. Наппельбаума; под ред. В. С. Емельянова. – М.: Мир, 1978. – 312 с. 4. Норенков И.П. Основы теории и проектирования САПР / И.П. Норенков, В.Б. Маничев – М.: Высш. шк., 1991. – 355 с. 5. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: / В.П. Тарасик. – М.: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.: ил. 6. Тимченко А.А. Основы системного проектирования та аналізу складних об'єктів: У 2-х кн. Кн. 1. Основы САПР та системного проектування складних об'єктів / А.А. Тимченко; за ред. В.І. Бикова. – К.: Либідь, 2000. – 272 с. 7. Бескоровайный В.В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем / В.В. Бескоровайный // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2002. – Вып. 120. – С. 29-37. 8. Денисов А.А. Иерархические системы / А.А. Денисов, В.Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989. – 88 с. 9. Хаммер М. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Д. Чампи; пер. с англ. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. – 332 с. 10. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика) / Дж. Форрестер; пер. с англ.; под общ. ред. Д.М. Гвишиани. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.

Надійшла до редколегії 30.11.2012