

УДК 004.9 : 621.39

В.В. Косенко<sup>1</sup>, Р.В. Артюх<sup>2</sup>, А.И. Роговой<sup>3</sup><sup>1</sup> ГП "Харьковский НИИ технологии машиностроения", Харьков<sup>2</sup> ГП "Южный государственный ПКНИИ авиационной промышленности", Харьков<sup>3</sup> Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

## ВАРИАНТНЫЙ СИНТЕЗ ИЕРАРХИИ СТРУКТУР ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Разработана схема метода вариантного синтеза иерархии структурных моделей инфокоммуникационной сети (ИКС) согласно отображению графовых структур. Формализовано представлена задача выбора оптимальных структур ИКС. Определен комплексный критерий эффективности для решения задачи оптимизации вариантного синтеза иерархии структур. Сформулирована задача оптимального синтеза структуры заданного уровня с учетом ресурсных ограничений.

**Ключевые слова:** инфокоммуникационная сеть, синтез структуры.

### Введение

Несмотря на стремительное развитие технологической физической и канальной уровня, в полном объеме реализовать потенциал инфокоммуникационных сетей ИКС возможно только за счет эффективного управления имеющимися сетевыми ресурсами в условиях растущих требований к оперативности обмена информацией. Это определяет необходимость поиска новых подходов к определению физической и функциональной структур сети.

**Анализ проблемы и постановка задачи.** При построении распределенных и локальных инфокоммуникационных сетей существует ряд нерешенных вопросов, которые представляют собой сложную научно-техническую задачу. Эти вопросы можно разбить на две группы: на базе имеющихся аппаратно-программных средств, состоящих в настоящее время из разрозненных и неравнозначных компонент, создать надежную ИКС; осуществить постепенный переход к перспективным техническим и программным средствам.

Вопросам анализа и синтеза ИКС посвящено множество публикаций [1 - 4]. Математические модели, основанные на использовании результатов теории графов и теории массового обслуживания [5], не учитывают зависимость характеристик структуры сети от параметров прикладных задач, которые решаются в сетевой среде, что приводит к потере точности результатов моделирования.

Анализ литературы показал, что большинство математических моделей, предполагающих функционирование программных комплексов в среде мультисервисной сети, не учитывают гетерогенность базовых аппаратно-программных средств поддержки ИКС [6 - 8].

Поэтому целью данной статьи является разработка формализованной модели и метода синтеза

структур ИКС, позволяющей сформировать оптимальный вариант распределения функциональных задач СКИ и процессов ИКС по узлам базового фрагмента сети.

### Решение задачи

Большое число элементов подсистем СКИ и выполняемых ими функций, высокая степень взаимосвязи элементов, сложность алгоритмов выбора управляющих воздействий на процессы, протекающие в реальном времени, большие объемы информации определяют ИКС, обеспечивающую функционирование СКИ как сложную систему [5]. Синтез структуры сложной системы требует построения таких формализованных моделей;

а) модель структуры управляемой системы для определения оптимального состава и взаимосвязей элементов системы, оптимального разбиения множества управляемых объектов на отдельные подмножества, обладающие заданными характеристиками связей;

б) модель структуры управляющей системы для решения задач вариантного выбора: числа уровней и подсистем, организационной иерархии; определения принципов организации управления и оптимального распределения выполняемых функций между различными системными компонентами;

в) модель структуры систем передачи и обработки информации с учетом состава аппаратно-программных средств телекоммуникационной сети.

При разработке модели структуры аппаратно-программных средств необходимо решить следующие вопросы [3, 7, 8]: определение множества узлов ИКС и связей между ними; распределение задач, возлагаемых на технические средства ИКС, по уровням и узлам системы; выбор технических средств ИКС, обеспечивающих эффективное решение выполняемых задач СКИ.

Для формализации данных задач выбора предлагается использовать графовое и теоретико-множественное представление. Таким образом, альтернативно-графовая модель процесса обработки информации является основой для описания процесса синтеза структуры и программного обеспечения ИКС.

Пусть граф  $G_S = (S, \Gamma_S)$  задает множество взаимосвязанных функциональных задач распределенной СКИ, где  $S$  – множество вершин графа, соответствующих отдельным задачам,  $\Gamma_S$  – множество дуг, отображающих взаимосвязи между ними. Для  $s_i \in S, i = \overline{1, n}$  строится граф реализации задач информационно-коммуникационного обеспечения  $G_I = (I, \Gamma_I)$ . Таким образом, получаем отображение множества вершин графа  $s_i \in S, i = \overline{1, n}$  в множество вершин  $i_j \in I, j = \overline{1, m}$ ,  $G_S \rightarrow G_I$ . Данное отображение реализует функциональную структуру (FS) комплекса СКИ и ИКС.

Задачи информационно-коммуникационного обеспечения решаются с помощью набора системного и прикладного программного обеспечения. Соответственно, на следующем уровне для каждого элемента  $i \in I$  имеем граф  $G_P = (P, \Gamma_P)$  множества элементов используемого программного обеспечения (ПО)  $p_k \in P, k = \overline{1, l}$ ,  $\Gamma_P$  – множество дуг, отображающих взаимосвязи между ними. Получаем отображение множества вершин графа  $i_j \in I, j = \overline{1, m}$  в множество вершин  $p_k \in P, k = \overline{1, l}$ ,  $G_I \rightarrow G_P$ .

Граф множества элементов информационного обеспечения (специализированных и локальных баз данных) обозначим  $G_B = (B, \Gamma_B)$ , где  $B$  – множество вершин графа, соответствующих элементам информационного обеспечения,  $\Gamma_B$  – множество дуг, отображающих взаимосвязь данных. Получаем отображение множества вершин графа  $p_k \in P, k = \overline{1, l}$  в множество вершин  $b_m \in B, m = \overline{1, f}$ ,  $G_P \rightarrow G_B$  функциональной структуры в информационную структуру ИКС. Указанное отображение реализует информационную структуру (IS) ИКС.

Таким образом, в виде многоуровневой цепочки отображения графов формализовано представление отображение

$$(G_S \rightarrow G_I)_{FS} \rightarrow (G_P \rightarrow G_B)_{IS}$$

Для реализации информационно-коммуникационного задач необходимо сформировать техническую структуру ИКС. Определим графы  $G_U = (U, \Gamma_U)$  – варианты реализации структуры локальных сетей в виде узлов ИКС, где  $U$  – множе-

ство вершин графа, соответствующих узлам сети,  $\Gamma_U$  – множество дуг, отображающих систему коммутации узлов. Получаем отображение множества вершин графа  $i_j \in I, j = \overline{1, m}$  во множество вершин  $u_c \in U, c = \overline{1, d}$ ,  $G_I \rightarrow G_U$ .

Для множества вариантов технической структуры ИТС следует определить множество вариантов передачи данных, то есть организации графика [12]. Определим граф  $G_T = (T, \Gamma_T)$  – варианты реализации потоков передачи данных в виде информационных связей, где  $T$  – множество вершин графа, соответствующих узлам сети, причем  $T \subset U$ ;  $\Gamma_U$  – множество дуг, отображающих систему коммутации узлов,  $\Gamma_T \subset \Gamma_U$ . Получаем отображение множества вершин графа  $u_c \in U, c = \overline{1, d}$  в множество вершин  $t_h \in T, h = \overline{1, z}$ ,  $G_U \rightarrow G_T$ . Указанное отображение реализует техническую структуру (TS) ИКС.

Отображение функциональной структуры ИКС в информационную и техническую представлено в виде многоуровневой цепочки графов

$$(G_S \rightarrow G_I)_{FS} \rightarrow \left\langle \begin{array}{l} (G_P \rightarrow G_B)_{IS} \\ (G_U \rightarrow G_T)_{TS} \end{array} \right\rangle$$

После синтеза вариантов технической структуры ИКС необходимо произвести закрепление программного и информационного обеспечения за узлами сети с учетом каналов информационного взаимодействия. Результат можно представить в виде взаимного отображения следующих множеств:

$G_P \leftrightarrow G_U$  – варианты закрепления прикладных программ за узлами сети для решения конкретных функциональных задач;

$G_B \leftrightarrow G_T$  – определение потоков данных на множестве вариантов информационных взаимосвязей.

С учетом указанных отображений, которые в общем виде могут быть представлены функциями  $\varphi_1 \dots \varphi_6$ , графовая модель синтеза структур ИТС выглядит следующим образом:

$$(G_S \xrightarrow{\varphi_1} G_I)_{FS} \xrightarrow{\varphi_2} \left\langle \begin{array}{l} (G_P \xrightarrow{\varphi_3} G_B)_{IS} \\ \varphi_5 \updownarrow \quad \updownarrow \varphi_6 \\ (G_U \xrightarrow{\varphi_4} G_T)_{TS} \end{array} \right\rangle$$

В соответствии с системным подходом схема метода вариантного синтеза структурных моделей ИТС согласно отображению графовых структур (рис. 2.1) схематично представлена на рис. 1.

Заметим, что при формализации взаимосвязей между задачами или этапами учитываются те связи, которые отражают порядок следования, объемы или потоки передаваемой информации.

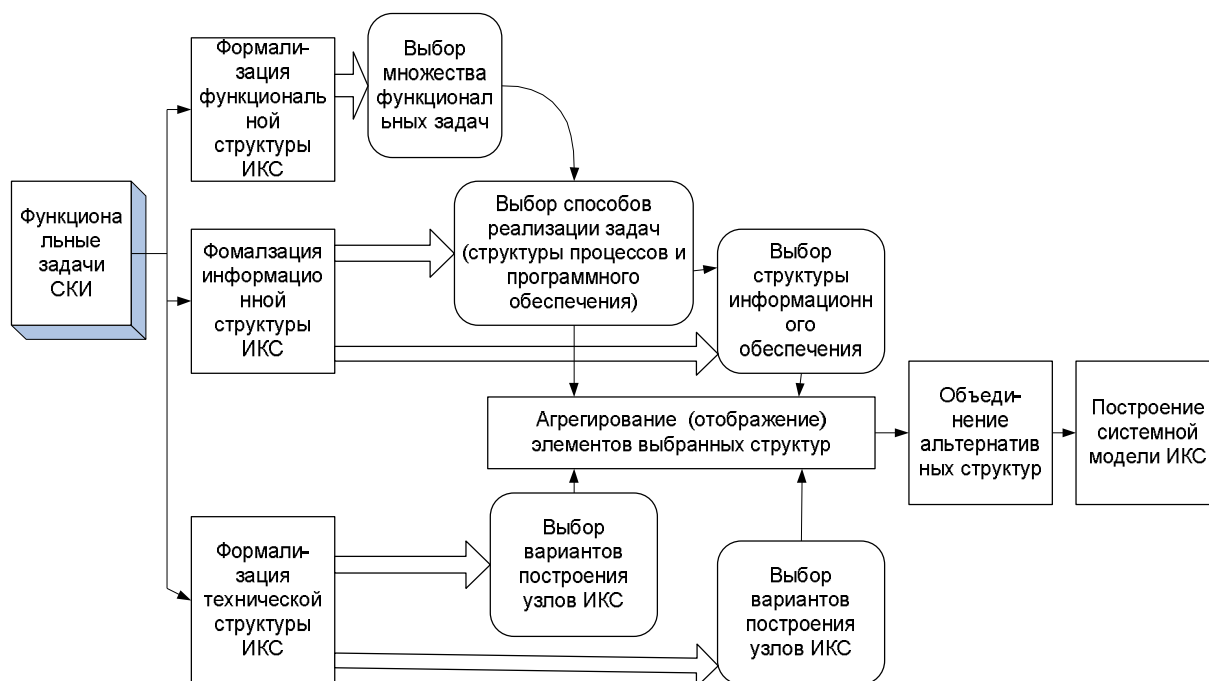


Рис. 1. Схема метода вариантного синтеза структурных моделей ИТС

Системный подход предполагает при переходе от формализации процесса обработки информации в сложной системе к модели ее функционирования обязательное выполнение следующих этапов:

- моделирование всех допустимых вариантов размещения исходных данных;
- моделирование вариантов размещения задач по узлам системы;
- выделение и анализ частично изолированных компонент системы и построение соответствующих моделей.

Согласно приведенной выше схеме метода, в указанных моделях исходные множества представлены элементами графовых структур  $S, I, P, B, U, T$ , а отображения, определяющие взаимосвязи структур

$$\begin{aligned} \varphi_1 &: G_S \rightarrow G_I; \\ \varphi_2 &: G_I \rightarrow (G_P, G_U); \\ \varphi_3 &: G_P \rightarrow G_B; \\ \varphi_4 &: G_U \rightarrow G_T; \\ \varphi_5 &: G_P \leftrightarrow G_U; \\ \varphi_6 &: G_B \leftrightarrow G_T. \end{aligned}$$

С учетом указанных отображений представим формализовано задачу выбора оптимальных структур ИКС.

Рассмотренные множества элементы графовых структур  $I, J, L, M, P$  имеют большую размерность и включают задачи, программные средства, данные, технические объекты, средства связи и т.д. Однако предложенный выше граф альтернативных структур предполагает такую иерархическую упорядоченность элементов структур, где на одном уровне иерархии выделяются подмножества однородных объектов.

При этом между ними должно быть установлено соответствие, являющееся важным для синтеза структур, в одной из двух форм;

- зная набор требуемых свойств структуры, выделить среди множества допустимых такой вариант, который обеспечит достижение этих свойств с точки зрения заданных критериев оптимальности;
- зная характеристики структуры, проанализировать возможность достижения требуемых свойств ИКС.

Учитывая вышесказанное, формализуем задачу выбора оптимальной структуры распределенной КСИ, в среде которой функционирует ИКС. Обозначим множество вариантов представления ИКС

$$S = (S^0, S^1), S^1 = \{s_{ik}\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, m},$$

где  $S^0$  – исходное состояние модели, которое определяется функциональными задачами всей системы;  $s_{ik}$  – состояние модели структуры ИКС на  $k$ -ом уровне иерархии после решения  $i$ -й задачи выбора.

Обозначим множество шагов моделирования

$$H = (H^0, H^1), H^1 = \{h_{ik}\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, m},$$

где  $H^0$  – действие, необходимое для перехода от решения задач всей СКИ к задачам функционирования КСИ;  $h_{ik}$  – множество шагов моделирования решения  $i$ -й задачи на  $k$ -м уровне, представляющих такую совокупность действий, в результате которой произойдет переход на  $(k+1)$ -й уровень иерархии моделируемой структуры объекта.

Для выбора шага  $h_{ik}$  необходимо построить все состояния модели комплекса  $\{s_{ik}\}$ .

Обозначим процедуру выбора шага на  $k$ -м уровне через  $V_k$ . Тогда  $s_k \xrightarrow{V_k} h_k$ , где  $s_k \in S$  – множество допустимых состояний модели на уровне  $k$ . Если выполнение шага  $h_k$  нецелесообразно, то необходима процедура переопределения выбора. Обозначим ее  $V_k^*$ . Тогда  $s_k \xrightarrow{V_k^*} h_j$ , где  $j = \overline{1, k}$ ,  $k \leq m$ . Совмещая полученные выражения, можем выразить процесс выбора шага выражением

$$h_j = \begin{cases} V_j(s_j), & \text{если } V_k^*(s_k) = j, j < k; \\ V_k(s_k), & \text{если } V_k^*(s_k) = k. \end{cases}$$

Тогда вариантный синтез структур заключается в последовательном переходе от решения задачи  $Z_0$  к решению некоторой задачи  $Z_m$ , при котором модель переходит в состояние  $S^m \in S^n$ . При этом, если  $S^m \in S^+_n$ , то выполнение последовательности состояний  $S^0, S^1, \dots, S^m$  является глобальной задачей синтеза структур рассматриваемой сети.

Пусть  $Z'_n$  – ее решение, тогда множество всех таких решений

$$Z' = \{Z'_n\}, n = \overline{1, m}.$$

Указанное множество должно оцениваться по комплексному критерию эффективности ИКС. Тогда формальную модель задачи оптимизации вариантного синтеза структур представим кортежем

$$\Psi = \langle Z_0, Z, Z', F \rangle,$$

здесь  $F$  – комплексный критерий эффективности.

Выполненная формализация выбора оптимальной структуры многоуровневой ИКС, обеспечивающей функционирование СКИ, позволяет построить соответствующие модели ИКС и провести синтеза иерархии структурных моделей.

## Выводы

Для формализации процесса обработки информации в СКИ обосновано применение системного подхода. Данный подход позволил построить

иерархический граф альтернативной формализации, учитывающий основные связи, отражающие порядок следования, объемы и потоки обрабатываемой информации между различными уровнями структур. Построение данного графа является базой при разработке метода формирования оптимальной структуры ИКС. Разработан новый метод формирования оптимальной структуры ИКС, который в отличие от существующих предполагает вариантный синтез иерархии структур и формализацию задач выбора на основе теоретико-множественных моделей, что позволяет обеспечить эффективность использования информационных и технических ресурсов сети.

## Список литературы

1. Gelenbe E., Pujolle G *Analysis and synthesis of computer systems (2nd Edition)* [Text] // *Advances in Computer Science and Engineering: Texts – Vol.4 – 2010 – 309p.*
2. RFC 1122 — Требования к хостам Internet — Коммуникационные уровни [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rfc2.ru/1122.rfc>.
3. Кучук, Г.А. Управление ресурсами инфокоммуникаций [Текст] / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Паишев. — М.: Физматлит, 2006. — 220 с.
4. Pepelnjak, I. *EIGRP Network Design Solutions: The Definitive Resource for EIGRP Design, Deployment, and Operation* [Text] / Pepelnjak I. — CiscoPress. — 2000. — 384 p.
5. Paulsen, S. *Summary of the Workshop on information and communication technologies supply chain risk management* / Paulsen S., Boens J. — 2012. — 21 p.
6. Кучук Г.А. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / І. В. Рубан, Г. А. Кучук, О. П. Давікоза // Системи обробки інформації. — 2013. — № 7. — С. 106-112.
7. Косенко, В.В. Моделирование технической структуры информационно-телекоммуникационной сети на основе конкретной реализации информационной структуры / В.В. Косенко, Н.Г. Кучук // Системи обробки інформації. — Х.: ХУПС, 2016. — №9(146). — С. 167-171.
8. Косенко, В.В. Взаємодія технічних і програмних засобів при управлінні розподілом трафіка / В.В. Косенко, Н.Г. Кучук // Системи озброєння і військова техніка. Випуск 3(47) — 2016. — С. 72-75.

Надійшла до редколегії 2.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ВАРИАНТНИЙ СИНТЕЗУ ІЄРАХІЇ СТРУКТУР ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

В.В. Косенко, Р.В. Артюх, А.І. Роговий

*Розроблено схему методу варіантного синтезу структурних моделей ІКМ згідно відображенню графових структур. Формалізовано представлено завдання вибору оптимальних структур ІКМ. Визначено комплексний критерій ефективності для вирішення завдання оптимізації варіантного синтезу структур. Сформульоване завдання оптимального синтезу структури заданого рівня з урахуванням ресурсних обмежень.*

**Ключові слова:** інфокомунікаційна мережа, синтез структури.

## VARIANT STRUCTURE HIERARCHY SYNTHESIS INFOCOMMUNICATION NETWORK

V.V. Kosenko, R.V. Artyukh, A.I. Rogovoi

*The scheme of the method of variant synthesis of structural models of ICS according to the mapping of graph structures is developed. The problem of the choice of optimal structures of ICS is formally presented. A complex efficiency criterion for solving the problem of optimization of variant synthesis of structures is determined. The problem of optimal synthesis of the structure of a given level is formulated with allowance for resource constraints.*

**Keywords:** infocommunication network, synthesis structure.