

УДК 004.728 : 519.87

А.А. Коваленко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

*В статье рассмотрены подходы к синтезу организационной структуры систем управления, а также произведена постановка задач синтеза информационной структуры системы управления объектом критического применения. Предложена таксономическая схема взаимосвязи образующих информационную структуру системы управления и концептуально рассмотрена последовательность как этапов синтеза структуры системы управления, так и этапов синтеза логики такой системы.*

**Ключевые слова:** синтез, управление, структура, система, сеть, компонент, формализация, связь.

### Введение

Задача синтеза современных систем управления (СУ) различными объектами представляет собой комплексную проблему, решение которой невозможно без предварительной декомпозиции, структуризации и формализации.

До настоящего времени многими авторами описан ряд возможных подходов и решений как к синтезу структур вычислительных сетей для иерархических систем управления, так и к синтезу структур информационно-телекоммуникационных сетей, а также многоуровневых информационных структур интеграционных компонентов их гетерогенных составляющих [1 – 8].

К основным этапам синтеза СУ можно отнести такие как:

- синтез организационной структуры СУ объектом;
- синтез (включая решение задач стратификации) информационной структуры компьютерной системы (КС), обеспечивающей функционирование СУ;
- синтез технической структуры КС.

Основной задачей синтеза организационной структуры СУ объектом является разработка логической структуры организации такой СУ, включая ее основные компоненты и взаимосвязи между ними.

Результатом синтеза информационной структуры является структура КС, посредством которой реализуется управление процессом функционирования СУ, направленной на решение задач определенных классов.

Такая структура представляет собой логическую совокупность необходимых управляющих компонентов, стратифицированных по соответствующим уровням, а также связей между компонентами и уровнями, обеспечивающих обмен, как служебной информацией, так и данными, что особенно важно для СУ объектом критического применения.

Синтез технической структуры КС подразумевает разработку физической структуры для полу-

ченной на предыдущем этапе информационной структуры КС.

Кроме того, в процессе синтеза СУ, на каждом из этапов, распределение совокупности решаемых задач по совокупности используемых компонентов КС должно стремиться к экстремуму по заданному критерию качества при обязательном учете всех применимых ограничений.

**Целью данной статьи** является разработка формализованных описаний задач, возникающих при синтезе организационной структуры СУ, а также задач выбора оптимальной структуры и логики КС, обеспечивающей функционирование СУ (включая ее подсистемы) в том числе, применимых к объектам критического применения (КП).

### Подходы к синтезу организационной структуры СУ

В процессе синтеза структуры системы управления объектом критического применения основными высокоуровневыми задачами являются следующие:

- формализация структуры и компонентов СУ, включая определение требуемого количества компонентов и необходимого количества уровней, по которым они должны быть распределены;
- формализация взаимосвязей между компонентами СУ, включая определение принципов управления и выработку необходимых связей в общей иерархии уровней управления;
- формализация задач, реализуемых такими СУ, включая их оптимальное распределение по компонентам.

Организационная структура СУ должна давать однозначный ответ на неразрывные вопросы распределения процессов по подсистемам различных уровней и распределения всей совокупности возможных функций управления и методов их реализации по необходимым подсистемам.

При решении задачи синтеза организационной структуры СУ требуется определение:

- множества принципов и методов управления, которые должны реализовываться синтезируемой СУ;
- достаточного множества взаимосвязанных функций, реализуемых СУ;
- множества компонентов СУ, взаимосвязанных между собой и стратифицированных по уровням;
- отображение элементов множества взаимосвязанных функций, реализуемых СУ на множество компонентов СУ.

Важной задачей начального этапа синтеза является определение и формализация требований к СУ. Реализация требований системой управления возможна множеством способов, что наиболее удобно формализуется аппаратом графов.

Таким образом, становится возможной формализация взаимосвязей для синтезируемой СУ логического и временного типов, а также описание сбора, преобразования, обработки и вывода информации.

При построении таких графов возможно решение задач распределения определенных элементов по множеству доступных ресурсов. При отображении множества взаимосвязанных функций и задач СУ объектом КП, которые заданы в виде соответствующих графов, на множество компонентов СУ, можно получить ориентированный мультиграф, отдельные части которого соответствуют возможным вариантам распределения функций по компонентам СУ, а дуги отражают взаимосвязи между компонентами.

Оптимальным вариантом реализации организационной структуры СУ объектом КП будет являться подграф ориентированного мультиграфа, который одновременно является допустимым вариантом реализации организационной структуры СУ и реализованная на его основе СУ удовлетворяет спецификацию к характеристикам качества.

Таким образом, модель структуры СУ может быть представлена ориентированным графом

$$G_s = (V_D, R_F, \Theta),$$

где  $V_D = \{v_d; d = \overline{1, d_0}\}$  – множество возможных вариантов организации данных;  $R_F = \{r_f; f = \overline{1, f_0}\}$  – множество возможных вариантов реализации функций;  $\Theta = (\theta_{df}), d = \overline{1, d_0}; f = \overline{1, f_0}; \dim \Theta = d_0 \times f_0$  – матрица, отражающая взаимосвязь данных и функций. При этом  $\theta_{df} = 1$ , если для формирования множества данных  $v_d$  используется функция  $r_f$  и  $\theta_{df} = 0$  иначе.

На графе  $G$  возможно задание вариантов реализации данных и способов их формирования, посредством функций, из других данных СУ, что позволяет отображать варианты преобразования входных данных в выходные данные с целью выбора оптимального варианта при заданных критериях оптимальности и существующих ограничениях.

## Постановка задач синтеза информационной структуры КС, обеспечивающей функционирование СУ объектом КП

Исходная информация для синтеза информационной структуры КС представлена требованиями к характеристикам ее качества. Последовательность частных задач, решаемых при синтезе СУ объектом КП, выглядит следующим образом:

- разработка модели информационной структуры КС с описанием входов и выходов, а также соответствующими процедурами обработки данных;
- анализ вариантов обработки и представления данных применительно к используемой реализации компонентов КС на основе аппарата графов;
- детальный анализ, включая анализ допустимых вариантов построения, синтезированного графа в аспекте реализации входов-выходов и обработки данных КС;
- определение оптимального варианта информационной структуры КС.

Одной из наиболее актуальных научных задач этапа синтеза СУ является формализация задачи выбора оптимального варианта информационной структуры.

Рассмотрим общий подход, когда множество задач  $i = \overline{1, I}$ , имеющих множество вариантов решения  $v_i = \overline{1, V_i}$ , возможно разбитых на множество этапов  $\ell_{iv_i} = \overline{1, L_{iv_i}}$ , которые могут выполняться множеством возможных вариантов  $v_{\ell_{iv_i}} = \overline{1, V_{\ell_{iv_i}}}$  во множестве доступных компонентов  $j = \overline{1, J}$  системы, имеющих множество вариантов построения  $w_j = \overline{1, W_j}$ . Кроме того, посредством  $n_{ij}$  обозначим максимальное число этапов выбранного варианта  $i$ -й задачи, решаемой в  $j$ -м компоненте КС. При такой нотации становится возможным сформулировать задачу синтеза информационной структуры КС следующим образом:

$$P_{iv_{\ell_{iv_i}}} \left( x_{iv_{\ell_{iv_i}}}, x_{i\ell_{iv_i}}, x_{i\ell_{iv_i}j}, x_{jw_j} \right) \rightarrow \text{opt},$$

где  $P$  – оптимизируемые показатели качества;  $x_{iv_{\ell_{iv_i}}}, x_{i\ell_{iv_i}}, x_{i\ell_{iv_i}j}$  и  $x_{jw_j}$  представляют собой булевы переменные, принимающие единичные значения только в случае выбора соответствующих этапов или вариантов; при следующих  $\eta_0$  ограничениях на искомое отображение множества взаимосвязанных функций на множество компонентов системы:

$$P_{\eta} \left( x_{iv_{\ell_{iv_i}}}, x_{i\ell_{iv_i}}, x_{i\ell_{iv_i}j}, x_{jw_j} \right) \leq P_{\eta}^{(\text{треб})}, \eta = \overline{1, \eta_0}.$$

Таксономия введенных нотаций представлена на рис. 1.

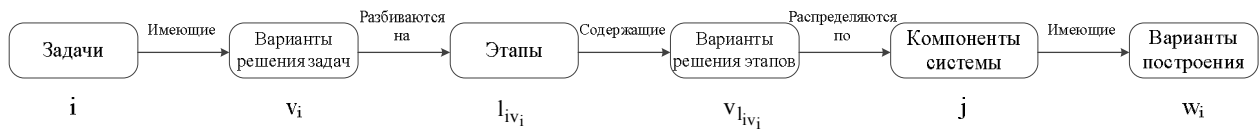


Рис. 1. Таксономическая схема взаимосвязи образующих информационной структуры КС

С точки зрения детализации возможных ограничений задачи синтеза информационной структуры системы, каждая задача из множества задач может иметь множество ограничений различных типов, основные из которых приведены ниже.

Ограничение на однозначность выбора из представленного числа возможных вариантов решения задач может быть представлено в виде следующего выражения:

$$\sum_{v_{l_{iv_i}}=1}^{V_{l_{iv_i}}} x_{iv_{l_{iv_i}}} = 1,$$

где  $i = \overline{1, I}$  – множество задач.

Ограничение на отсутствие дублирования этапов непосредственного решения задачи, каждый из которых может быть реализован только одним определенным компонентом системы, может быть представлено как

$$\sum_{j=1}^J x_{l_{iv_i}j} = 1,$$

где  $i = \overline{1, I}$  – множество задач;  $l_{iv_i} = \overline{1, L_{iv_i}}$  – допустимое множество этапов решения каждой из задач.

Ограничение на максимальное количество задач  $M$ , которое допустимо реализацией системы, имеет вид:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{v_{l_{iv_i}}=1}^{V_{l_{iv_i}}} x_{iv_{l_{iv_i}}} \leq M.$$

Таким образом, декомпозиция этапов синтеза СУ объектом КП может быть представлена в виде рис. 2 и 3, для иерархии СУ и ее логики соответственно.

Ограничение на минимально требуемое количество компонентов системы, реализующих ее функциональность, в процессе выбора компонентов СУ для решения этапов задачи, можно записать в виде следующего неравенства:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{w_j=1}^{W_j} x_{jw_j} \geq \overline{M}.$$

При этом возникают два ограничения. Первое из них является ограничением на максимальное число этапов одной задачи ( $n_{ij}$ ), решаемой в любом из компонентов системы, которое представляется как

$$\sum_{l_{iv_i}=1}^{L_{iv_i}} x_{il_{iv_i}j} \leq n_{ij},$$

где  $j = \overline{1, J}$  – все множество компонентов системы.

Второе ограничение представляет собой ограничение на максимальное число этапов различных задач ( $n_j$ ), решаемых любым из компонентов системы:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{l_{iv_i}=1}^{L_{iv_i}} x_{il_{iv_i}j} \leq n_j.$$

Поскольку, в общем случае, каждая задача из множества задач, реализуемых синтезируемой системой, может реализовываться некоторой совокупностью компонент такой системы, справедливо следующее ограничение:

$$\sum_{j=1}^J x_{il_{iv_i}j} = 1.$$

Таким образом, становится возможным задание условия типа логического «И» между некоторыми компонентами  $j$ , реализующими определенные задачи  $i$  либо этапы  $j \in N_{jw_j} \left( N_{iv_{l_{iv_i}}}, N_{il_{iv_i}j} \right)$ , и связанным с ними множеством компонентов, задач либо этапов: если  $x_{iw_j} = 1$ , то  $x_{j'w_j} = 1$  для всех  $j'w_j \in N_{jw_j}$ . Такое условие имеет следующий вид:

$$\left( \prod_{j'w_j \in N_{jw_j}} x_{j'w_j} - 1 \right) x_{jw_j} = 0.$$

Как следствие из вышеприведенного условия, возможно условие типа логического «ИЛИ», которое формулируется для случая, когда необходимо выполнение равенства  $x_{j'w_j} = 1$  только для единственного  $j'w_j$  из заданного множества  $M_{jw_j}$  при  $x_{jw_j} = 1$ :

$$\left( \sum_{j'w_j \in M_{jw_j}} x_{j'w_j} - 1 \right) x_{jw_j} = 0.$$

Ограничение на недопущение решения в непосредственно не связанных компонентах взаимосвязанных этапов  $l_{iv_i}$  и  $l'_{iv_i}$  одной задачи:

$$\sum_{i, l_{iv_i}, j} \theta_{jj'} x_{il_{iv_i}j} x_{i'l'_{iv_i}j'} = 1,$$

где  $\theta_{jj'} = 1$  при наличии непосредственной связи между компонентами  $j$  и  $j'$  КС.

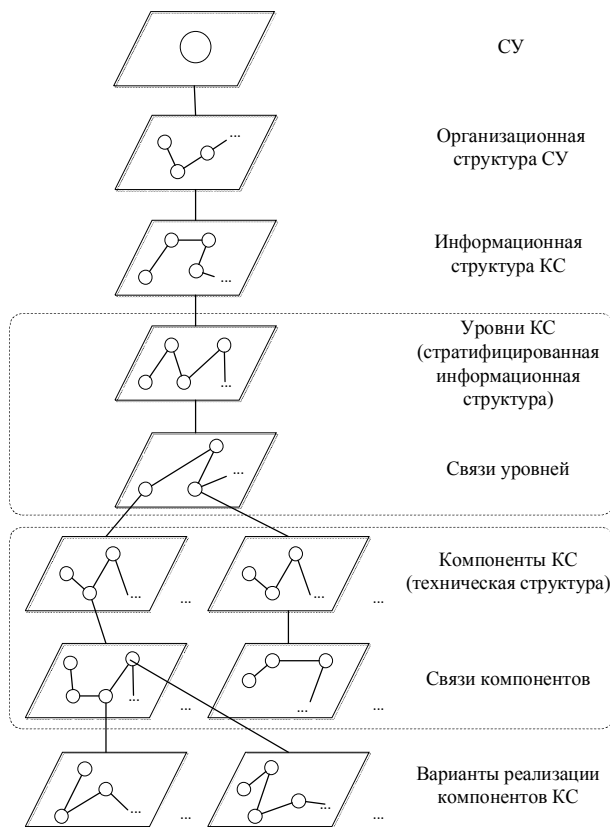


Рис. 2. Иерархическая схема этапов синтеза структуры СУ

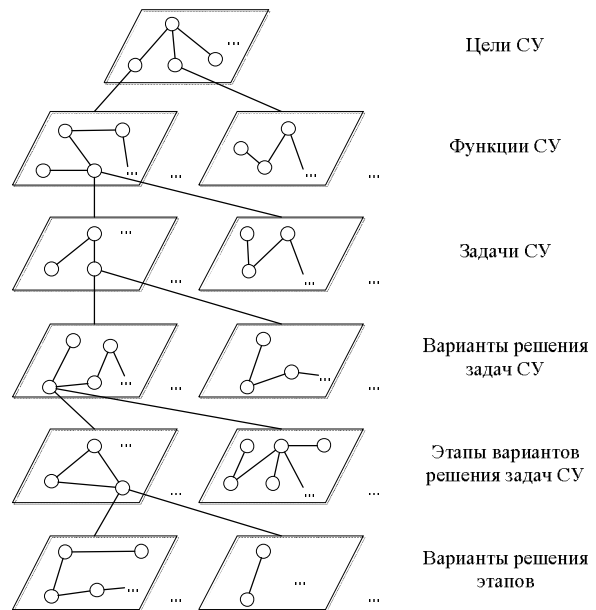


Рис. 3. Иерархическая схема этапов синтеза логики СУ

### Выводы

В работе предложены подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом критического применения, учитывающие выбор задач управления компонентами СУ, реализации алгоритмов и методов решения задач и распределение задач по компонентам в процессе их решения. Сформулирован критерий качества и возможные соответствующие ограничения. Отдельно затронут вопрос синтеза организационной структуры СУ, как являющийся одним из основополагающих.

Ближайшим направлением дальнейших исследований является выработка подходов к синтезу технической структуры КС.

### Список литературы

1. Кучук, Г.А. Синтез структуры вычислительной сети для иерархической системы управления / Г.А. Кучук, А.В. Королев, О.В. Муравьев, О.Ю. Набока // Сб. научн. трудов. Информационные системы. Вып.2. – Х.:НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1994. – С.90 – 93.
2. Кучук, Г.А. Концептуальный підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі /

Г.А. Кучук, І.В. Рубан, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.

3. Кучук, Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України : науково-технічний журнал. – Х.: ХУ ПС, 2013. – № 3(12). – С. 154-158.

4. Мамиконов, А.Г. Проектирование подсистем и звеньев АСУ / А.Г. Мамиконов, В.В. Кульба, А.Д. Цвиркун, С.А. Косяченко. – М.: Высшая школа, 1975, – 248 с.

5. Мамиконов, А.Г. Модели и методы проектирования информационного обеспечения АСУ / А.Г. Мамиконов, А.Н. Пискунов, А.Д. Цвиркун. – М.: Статистика, 1978, – 221 с.

6. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978, – 357 с.

7. Лэдсон, Д. Оптимизация больших систем / Д. Лэдсон. – М.: Наука, 1975, – 432 с.

8. Нечипоренко, В.И. Структурный анализ систем / В.И. Нечипоренко. – М.: Сов. радио, 1977. – 216 с.

Поступила в редакцию 6.01.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### ПІДХОДИ ДО СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

А.А. Коваленко

У статті розглянуто підходи до синтезу інформаційної структури систем управління, а також здійснено постановку задач синтезу інформаційної структури системи управління об'єктом критичного застосування. За-

пропоновано таксономічну схему взаємозв'язку формуючих інформаційну структуру системи управління та концептуально розглянуто послідовність етапів синтезу структури системи управління, так і етапів синтезу логіки такої системи.

**Ключові слова:** синтез, управління, структура, система, мережа, компонент, формалізація, зв'язок.

#### **APPROACHES TO SYNTHESIS OF INFORMATIONAL STRUCTURE OF CONTROL SYSTEM FOR CRITICAL APPLICATION OBJECT**

A.A. Kovalenko

*The paper discusses approaches to synthesis of informational structure of control systems, as well as statements a problem of critical application object control system's informational structure synthesis. Taxonomy for interrelations between elements that form control system's informational structure is proposed; the concepts for sequences of control system's structure synthesis stages and control system's logic synthesis stages are presented.*

**Keywords:** synthesis, control, structure, system, network, component, formalization, connection.