

# **ЗАДАЧА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Р.М. Закирзянов**

Рассмотрена задача синтеза оптимальной структуры автоматизированной системы управления технологическими процессами крупного промышленного объекта. Дано понятие распределенной системы управления (PCY) как программно-технического комплекса. Формализована задача построения оптимальной иерархической структуры PCY. Определены критерии оптимизации и ограничения. Даны направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** распределенная система управления, структурный синтез, структурная оптимизация, иерархическая структура, автоматизированная система управления технологическими процессами.

## **THE TASK OF SYNTHESIS THE OPTIMAL ARCHITECTURE OF THE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX OF A DISTRIBUTED PROCESS CONTROL SYSTEM**

**R.M. Zakirzyanov**

The problem of synthesis the optimal architecture of an automated process control system for a large industrial facility is considered. The concept of a distributed control system (DCS) as a software and hardware complex is given. The formal task of implementing the optimal hierarchical architecture of the DCS is given. Optimization criteria and constraints are defined. Directions for further research are given.

**Keywords:** distributed control system, structural synthesis, structural optimization, hierarchical architecture, process control system.

### **Введение**

Современные системы управления технологическими процессами крупных промышленных предприятий строятся, как правило, на базе программно-технических комплексов. Свойства и функциональные возможности таких распределенных систем управления определяются, как правило, структурой комплекса технических средств. Построение оптимальной структуры является важной задачей, которая в основном решается эмпирически на основании опыта проектировщика. В настоящей статье рассмотрена формализация задачи оптимизации структуры для программно-технического комплекса автоматизированной системы управления технологическими процессами с большим количеством параметров.

### **Особенности распределенных систем управления в нефтегазовой и химической промышленности**

Системы управления крупными промышленными объектами нефтегазовой и химической отраслей имеют свои характерные особенности. Такие объекты, как правило территориально распределены, являются опасными и технически сложными, имеют непрерывные процессы. На таких объектах часто происходят изменения: меняются параметры технологического режима, часть оборудования выводится в ремонт. Ввод в эксплуатацию таких объектов происходит частями (очередями) или этапами.

Серийно выпускаемые промышленностью программно-технические комплексы для построения на их базе АСУТП крупных промышленных предприятий с непрерывными технологическими процессами получили в литературе [1] название DCS – Distributed Control System. В русскоязычной литературе чаще всего применяется термин «PCY» – распределенная система управления.

Особенностью PCY является наличие специальных средств и функций, направленных на решение двух задач: обеспечение безопасности процесса и снижение времени внедрения. Такими

специальными мерами могут быть наличие возможности загрузки прикладного ПО без останова процесса, наличие частичной загрузки прикладного ПО, штатные функции резервирования, наличие единой базы тегов, бессерверная архитектура и др.

Программно-технический комплекс РСУ, как правило, представляет собой иерархическую структуру (рис. 1).

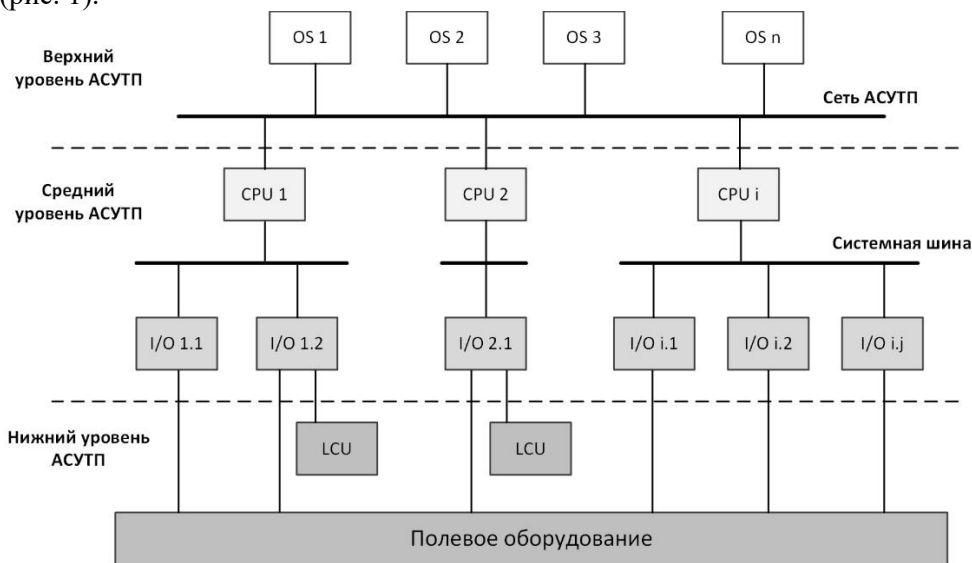


Рис. 1. Типовая структура РСУ

Здесь CPU – процессорные модули станций автоматизации (контроллеров), I/O – станции ввода-вывода, OS – автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов технологического процесса, LCU – локальные системы управления.

### Критерии оптимизации

Для постановки задачи поиска оптимальной структуры РСУ представим ее структуру в виде дерева (ациклического графа), пример которого показан на рис. 2. Здесь на уровне 1 расположены «полевые» устройства (датчики и исполнительные механизмы), находящиеся на «нижнем уровне» АСУТП (рис. 1). На уровне 2 расположены устройства связи с объектом (устройства ввода-вывода). На уровне 3 расположены контроллеры (станции автоматизации), отвечающие за реализацию алгоритмов управления объектом. «Верхний уровень» АСУТП в рамках данного дерева не рассматривается. Количество уровней в структуре задается проектировщиком и может варьироваться.

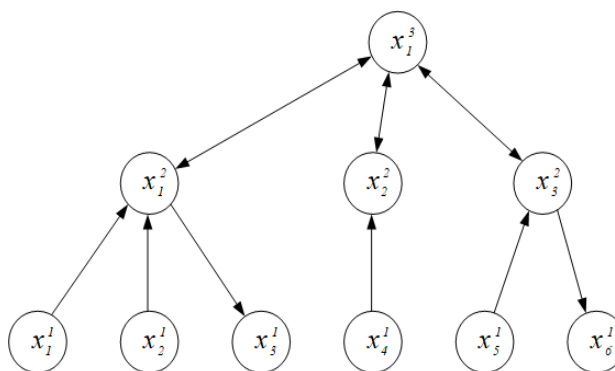


Рис. 2. Иерархическая структура РСУ

Методы оптимизации иерархических структур подробно рассмотрены в [2]. Показано [3], что при определенной функции затрат оптимальной иерархической структурой будет являться однородное дерево, которое можно определить аналитически.

Пусть задано множество  $N_S$  вариантов структур РСУ, имеющих  $S$  уровней:

$$N_S = (S, m_k : k = \overline{1, S}), \quad (1)$$

где  $m_k$  – количество устройств на  $k$ -м уровне иерархии.

Обозначим  $x_i^k$  – устройство, имеющее порядковый номер  $i$  на уровне  $k$  (рис. 2). При этом  $i = \overline{1, m_k}$ .

Примем, что каждый узел структуры выполняет однотипные действия, состоящие из трех фаз цикла работы внутренней программы устройства:

- сбор (чтение) информации от объекта управления, либо от узлов предыдущего уровня иерархии;
- обработка информации (реализация алгоритмов управления);
- выдача информации (запись) на нижестоящий уровень, либо воздействие на объект управления.

Каждый узел структуры характеризуется следующими параметрами:

- количество подключаемых физических каналов  $N_i$ ;
- максимальная память  $R_i$ ;
- надежность (вероятность отказа)  $P_i$ ;
- производительность (время выполнения одной программной инструкции)  $T_i$ ;
- стоимость  $C_i$ .

Пусть также задано множество контуров управления  $A = \{a_1, \dots, a_L\}$ :

$$a_j = (n_j, r_j, v_j), j = \overline{1, L}, \quad (2)$$

где  $n_j$  – количество физических сигналов в контуре,  $r_j$  – количество памяти, требуемое для хранения всех инструкций и переменных контура,  $v_j$  – количество инструкций в программе обработки сигналов данного контура (характеризует сложность программы обработки контура).

Для решения задачи принимаем, что только устройства первого (нижнего) уровня непосредственно соединены с полевым оборудованием технологической установки, то есть могут принимать информацию от объекта управления и выдавать управляющие воздействия для реализации надлежащего управления объектом. Также принимаем, что все устройства однотипны, различаются только величинами указанных выше параметров. Принимаем, что горизонтальные связи между устройствами отсутствуют.

Ранее [4, 5] были определены ключевые критерии оптимизации иерархической структуры распределенной системы управления.

Определяющим фактором при создании системы является ее стоимость. Стоимость системы складывается из капитальных и операционных затрат. Если принять, что затраты на создание одного узла системы являются постоянными, суммарные финансовые затраты на реализацию системы определяются как сумма затрат на каждый узел:

$$C_{sum} = \sum_{k=1}^S \sum_{i=1}^{m_k} C_i, \quad (3)$$

где  $C_i$  – затраты на приобретение и ввод в эксплуатацию  $i$ -го устройства и организацию канала связи с ним.

В качестве критерия надежности системы используем вероятность отказа. Методика расчета надежности иерархических автоматизированных систем управления технологическими процессами приведена в [6]. Результирующая надежность системы описывается выражением (4).

$$P_{sys} = \prod_{k=1}^S \prod_{i=1}^{m_k} P_i, \quad (4)$$

где  $P_i$  – вероятность отказа  $i$ -го устройства. Считаем, что  $P_i = const$ . В реальных системах вероятность отказа является функцией времени:  $P_i = f(t)$ .

Поскольку проектируемая структура является структурой системы управления динамическим объектом, важно при синтезе учесть динамические свойства системы. На практике это является довольно сложной задачей [7]. В качестве критерия, характеризующего качество системы управления, примем время цикла работы программы (период квантования) для одного контура управления. При нехватке памяти или слишком большом времени цикла программы функции обработки информации могут передаваться на вышестоящий уровень иерархии. При этом контуры управления могут быть подключены только к устройствам уровня 1.

Пусть к  $i$ -му устройству уровня 1 подключено  $l$  контуров управления, тогда время цикла  $j$ -го контура составляет:

$$T_{sum j} = t_{read} + \sum_{z=1}^l (t_i v_z) + t_{write}, j = \overline{1, L} \quad (5)$$

где  $t_{read}$  – среднее время чтения информации,  $t_{write}$  – среднее время записи информации. Суммарная требуемая память для  $i$ -го устройства:

$$R_{sum i} = \sum_{z=1}^l r_z \cdot \quad (6)$$

Суммарное количество сигналов для  $i$ -го устройства:

$$N_{sum i} = \sum_{z=1}^l n_z \cdot \quad (7)$$

Оптимальная иерархическая структура должна минимизировать стоимость системы при ограничениях на время цикла в контуре, количество контуров, подключенных к одному устройству, размер памяти устройства и вероятность отказа системы. Таким образом, оптимальная структура может быть определена в результате решения задачи дискретной оптимизации:

$$C_0 = \min_{S(m_k)} C_{sum}(S(m_k)) \quad (8)$$

при

$$T_{sum j} \leq T_{max}, j = \overline{1, L}, \quad (9)$$

$$N_{sum i} \leq N_i, i = \overline{1, m_1}, \quad (10)$$

$$R_{sum i} \leq R_i, \quad (11)$$

$$P_{sys}(S(m_k)) \leq P_{max}, \quad (12)$$

где  $C_0$  – оптимальная суммарная величина затрат на создание и эксплуатацию системы,  $T_{max}$  – верхнее ограничение на быстродействие системы (максимальное время цикла контура),  $P_{max}$  – максимальная допустимая вероятность отказа системы.

Совокупность выражений (8)...(12) составляют постановку задачи структурной оптимизации. Для решения задачи могут быть применены эвристические алгоритмы. Примечательно, что полученная система будет являться системой управления с телекоммуникационными каналами связи.

### Заключение

Таким образом, задача синтеза оптимальной структуры распределенной системы управления крупным промышленным объектом, построенной на базе программно-технического комплекса, может быть представлена как задача дискретной оптимизации, которая может быть решена одним из известных методов. Качество полученной системы может быть проверено путем имитационного моделирования системы с конкретным объектом управления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ицкович, Э. Л.* Термины автоматизации и цифровизации предприятий технологических отраслей: Их пояснение, содержание и практическое значение / Э. Л. Ицкович // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 4. – С. 3-11.
2. *Воронин, А. А.* Оптимальные иерархические структуры / А. А. Воронин, С. П. Мишин. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2003. – 214 с.
3. *Губко, М. В.* Модель выбора оптимальной древовидной иерархии / М. В. Губко, А. И. Даниленко, М. И. Сапико // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. – 2006. – № 1-1. – С. 46-50.
4. *Закирзянов, Р. М.* Критерии выбора оптимальной структуры распределенной системы управления технологическими процессами крупных промышленных предприятий / Р. М. Закирзянов // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 10. – С. 17-23.
5. *Риттер, А. В.* К вопросу выбора критериев оценки средств промышленной автоматизации для тепловой и атомной промышленности / А. В. Риттер, С. Б. Чебышов // Ядерная физика и инжиниринг. – 2013. – Т. 4, № 7. – С. 648.
6. *Акимова, Г. П.* Методология оценки надежности иерархических информационных систем / Г. П. Акимова, А. В. Соловьев // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2006. – Т. 23. – С. 18-47.
7. *Цвиркун, А. Д.* Основы синтеза структуры сложных систем / А. Д. Цвиркун // М.: Наука, 1982. – 200 с.