

УДК 621.004.891

Ю. Я. Самохвалов¹, В. Б. Остащевский², С. С. Штаненко¹

¹Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ»
ул. Московская, 45/1, 01011 Киев, Украина

²Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

Методический подход к проектированию структуры автоматизированной системы управления организационного типа

Для решения задачи проектирования структуры автоматизированной системы управления организационного типа предложено использовать агрегативно-декомпозиционный подход. Рассмотрены методические аспекты такого подхода в условиях неполноты и неопределенности исходных данных.

Ключевые слова: проектирование структуры, агрегативно-декомпозиционный подход, структура автоматизированной системы управления.

Введение

Автоматизированные системы управления организационного типа являются сложными человеко-машинными системами, характеризующимися большим числом территориально распределенных элементов и выполняемых функций, высокой степенью связности элементов, сложностью алгоритмов выбора тех или иных управляющих воздействий и большим объемом перерабатываемой при этом информации.

Одной из основных задач при создании сложной системы является проектирование ее структуры, которая определяет внутреннюю организацию и относительно устойчивые взаимосвязи элементов системы. Решение данной задачи представляет собой сложный трудоемкий процесс, так как на ранних стадиях проектирования параметры системы в ряде случаев могут быть известны лишь приблизительно, с некоторым распределением вероятностей их значений или с некоторой степенью принадлежности значений параметров заданным интервалам, что приводит к неоднозначности определения структуры системы. Кроме этого, задача проектирования структуры тесно связана с задачей оптимизации функционирования систем, поскольку организация системы во многом определяет эффективность ее функционирования. Учет динамики функционирования системы на этапе

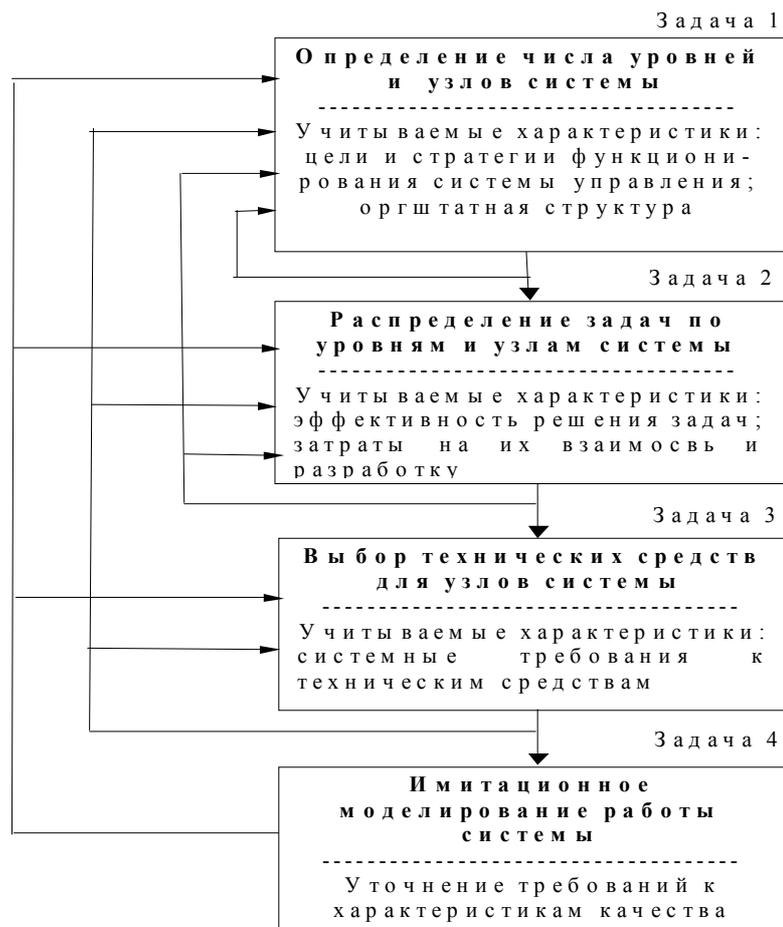
© Ю. Я. Самохвалов, В. Б. Остащевский, С. С. Штаненко

ее проектирования приводит к необходимости совместного использования оптимизационных и имитационных моделей для получения оптимальных (рациональных) вариантов построения системы.

В настоящее время для решения задачи проектирования структуры автоматизированной системы управления (АСУ) организационного типа широко используется агрегативно-декомпозиционный подход [1]. Вместе с тем, методические аспекты такого подхода требуют систематизации и дальнейшего развития в условиях неполноты и неопределенности исходных данных. Это положение определяет цель данной статьи и ее основное содержание.

Основные этапы проектирования структуры

Агрегативно-декомпозиционный подход включает последовательную декомпозицию выполняемых системой целей, функций и задач и их агрегирование на соответствующих уровнях детализации структуры для генерирования вариантов построения системы в целом. Реализация данного подхода требует разработки специальной человеко-машинной процедуры поиска рациональной структуры системы (см. рисунок).



Последовательность задач проектирования структуры АСУ

Таким образом, под проектированием структуры АСУ понимается процесс последовательного решения системно увязанных частных задач выбора основных элементов системы, числа уровней и подсистем управления (иерархия управления), оптимального распределения задач (функций) по уровням и узлам системы, выбора технических средств, обеспечивающих своевременное решение функциональных задач АСУ. Данные задачи решаются итерационно в силу их взаимосвязанности и необходимости корректировки получаемых решений. А это, в свою очередь, предполагает построение базового (опорного) варианта структуры системы, а затем его последовательное уточнение.

Выбор структуры АСУ, как правило, осуществляется на ранних стадиях проектирования, на которых объективно присутствует значительная неполнота и неопределенность исходных данных. Так, например, задача распределения задач по узлам и уровням системы должна решаться практически в условиях отсутствия основных характеристик решаемых задач, так как этот этап осуществляется по времени значительно раньше их разработки. Отсутствие характеристик решаемых задач также усложняет и выбор необходимых технических средств для их эффективного решения. Неполнота и неопределенность исходных данных требуют для решения задач выбора основных элементов и частей системы использования адекватных методов принятия решений, основанных на применении нечетких экспертных оценок для задания исходных данных и представления результатов [6].

Определение числа уровней и узлов системы

Задача определения числа узлов и уровней системы состоит в выборе такой ее топологии, которая при прочих равных условиях обеспечивает эффективную реализацию функций и задач в процессе функционирования системы.

Построение опорного варианта. Топология опорного варианта должна формироваться согласно принципу соответствия структуры АСУ организационно-штатной структуре системы управления. Данный принцип предполагает, что внедрение средств автоматизации не должно повлечь коренной перестройки структуры системы управления [5]. Скорее наоборот, предполагается, что средства автоматизации должны «мягко» вписываться в существующую структуру системы управления без кардинальных изменений последней. Кроме того, организационная структура АСУ должна включать технологические узлы решения задач управления. Исходя из этого, задачу формирования топологии АСУ можно сформулировать следующим образом.

Пусть F — множество уровней системы управления, P — множество должностных лиц, обеспечивающих процесс управления, а Q — множество операционно-технологических схем решения задач АСУ. Требуется построить отображение

$$\aleph: F \times P \times Q \rightarrow M \times N,$$

где M, N — множество уровней и узлов АСУ соответственно.

Это отображение можно разбить на два: $\aleph_1: F \times P \rightarrow M \times N$ и $\aleph_2: Q \rightarrow N$. Выбор организационной структуры в рамках отображения \aleph_1 характерен тем, что

в этом случае отсутствуют достаточно обоснованные формализованные критерии, что обуславливает применение для этих целей экспертных методов анализа соответствия структуры АСУ организационно-штатной структуре системы управления.

Для выбора узлов системы в рамках отображения \aleph_2 может быть использован подход, в основе которого лежит анализ оптимального варианта операционной технологии решения всей совокупности задач АСУ, обеспечивающего при заданных ограничениях по времени и объему информации минимум затрат на ее обработку [2]. В таком варианте выделяются группы функционально связанных технологических операций, которые могут быть распределены по соответствующим узлам системы.

Согласно этому подходу, для каждой задачи АСУ формируется совокупность различных вариантов операционной технологии ее решения. Эти варианты представляются в виде графа, узлы которого соответствуют используемым техническим средствам и носителям информации, а дуги отражают взаимосвязи и последовательности операций. Время выполнения операции задается в виде оценки длины соответствующей дуги. Для любой задачи АСУ, рассматриваемой отдельно, оптимальный вариант технологии находится как путь минимальной длины в вышеуказанном графе.

Взаимосвязь задач АСУ усложняет проблему выбора вариантов и выдвигает требование поиска оптимума для всей совокупности задач системы. Математически такая задача может быть представлена как поиск совокупностей N путей минимальной длины в N графах, взаимосвязанных между собой так, что выбор пути в i -м графе влияет на выбор пути в остальных.

Пусть имеется N частных ориентированных сетей, составленных для решения N задач АСУ. Требуется отыскать такие N путей (в каждой сети по одному), общая длина которых T была бы минимальной.

Взаимосвязанная последовательность дуг от начальной до конечной вершины i -й сети образует путь l_{ij} , который будет определять j -й вариант решения i -й задачи, где $j = \overline{1, m_i}$. Множество путей i -й сети определяет множество $E_i = (l_{i1}, \dots, l_{im_i})$ вариантов решения i -й задачи, где $i = \overline{1, N}$.

Поставим в соответствие каждой дуге b_{hk} в i -й задаче время t_{hk} выполнения технологической операции. Тогда сумма $\sum t_{hk}$ для дуг, составляющих j -й путь l_{ij} , в i -й сети, определяет время T_{ij} решения i -й задачи j -м вариантом, т.е.

$$T_{ij} = \sum_{t_{hk} \in l_{ij}} t_{hk} .$$

Таким образом, необходимо найти множество вариантов путей, при которых функция $T = \sum_{i=1}^N T_{ij}$ достигала бы минимума.

Если размерность сети связи задач АСУ незначительная, то для решения этой задачи можно использовать алгоритм полного перебора всех вариантов сети [2]. В

противном случае, более целесообразно применить для ее решения метод «ветвей и границ», позволяющий существенно уменьшить перебор.

В результате работы алгоритма получим множество $L = (l_{1j}, \dots, l_{Nj})$ оптимальных технологических путей решения задач АСУ. Затем, в путях l_{ij} выделяются группы функционально связанных технологических операций, которые могут выполняться на выделенных узлах системы.

Уточнение варианта. В процессе функционирования АСУ с распределенной структурой возможен обмен информацией между его узлами. В этом случае время решения задач непосредственно зависит от количества узлов, поскольку затраты на обмен информацией и конфликты при обмене приводят к тому, что в процессе решения взаимосвязанной совокупности задач производительность системы, как многомашинного вычислительного комплекса, будет меньше суммарной производительности входящих в нее узлов. В связи с этим возникает задача определения такого количества узлов, при котором суммарная производительность АСУ, с учетом затрат на обмен, будет максимальной.

Пусть АСУ состоит из L узлов. Предположим, что одновременно обмен каждым узлом может производиться не более чем с одним узлом. Тогда полное количество возможных связей между узлами равно $L(L - 1)$.

Далее, пусть каждый из двух взаимодействующих узлов тратит на обмен некоторую долю производительности $0 < \delta < 1$. Тогда производительность узлов снижается за счет обмена на величину $2\delta L(L - 1)$ и становится равной $L^* = L - 2\delta L(L - 1) = (1 - 2\delta)L + 2\delta L^2$.

При оценке затрат учитывается, что каждая пара взаимодействующих узлов использует общий ресурс системы (коммуникационную среду), что соответственно увеличивает затраты вдвое, так как в процессе обмена участвуют оба взаимодействующих узла. Зависимость производительности от L^2 приводит к быстрому снижению ее величины при большом количестве узлов. Максимум производительности достигается при количестве узлов, равном ближайшему целому числу к величине $\bar{L} = \frac{L + 2\delta}{4\delta}$. При последующем увеличении количества узлов свыше \bar{L}

время на решение функциональных задач падает, и в пределе каждый из узлов в такой вычислительной системе может быть занят только обменом.

Распределение задач по уровням и узлам АСУ

Распределение задач между уровнями и узлами иерархической системы является достаточно типичной задачей проектирования сложных технических систем. Эффективность функционирования АСУ во многом зависит от того, каким образом задачи будут распределены по ее уровням и узлам. Следовательно, задача состоит в таком распределении множества решаемых задач между уровнями и узлами АСУ, которое удовлетворяло бы некоторому критерию эффективности и заданным ограничениям.

Построение опорного варианта. Множество функциональных задач АСУ включает задачи должностных лиц, обеспечивающих процесс управления (задачи планирования и оперативного управления). Эти задачи в силу своей специфики

должны распределяться по узлам АСУ согласно их функциональной направленности. То есть, в каждом узле АСУ должны решаться только те задачи, которые соответствуют их функциональному назначению. Другими словами, распределение функциональных задач однозначно определяется узлами АСУ.

Кроме этого, согласно принципу построения функциональных подсистем, на каждом уровне АСУ должны быть сосредоточены задачи с максимальной функциональной связностью и минимальной информационной зависимостью между ними. Это позволит, во-первых, наполнить уровни и узлы АСУ необходимым и достаточным функциональным содержанием, а во-вторых, минимизировать время на обмен информацией между уровнями и узлами в процессе функционирования АСУ.

Введем следующие обозначения:

$i = \overline{1, I}$ — множество функциональных задач АСУ;

$j = \overline{1, J}$ — множество узлов АСУ;

$k = \overline{1, K_j}$ — множество функций j -го узла;

$|\alpha_{i' i}|$ — матрица связи между задачами. Задачи i и i' считаются связанными, если для решения i' -й задачи используется информация, являющаяся выходной для i -й задачи, при этом $\alpha_{i' i}$ имеет смысл степени связности. Если задачи не связаны, то $\alpha_{i' i} = 0$;

S_{kj} — семантика k -й функции j -го узла;

Ψ_i — семантика i -й задачи.

Тогда:

а) i -я задача распределяется на j -й узел тогда и только тогда, когда $(S_{1j} \cup \dots \cup S_{K_j j}) \mid \Psi_i$, где \mid — знак логической выводимости;

б) если $\alpha_{i' i} \geq p$, где p — некоторый порог, то задачи i и i' не разрешается распределять на различные узлы.

Далее, кроме функциональных задач, АСУ может включать также задачи общего назначения (вспомогательные задачи). Это задачи могут решаться на различных уровнях и узлах, поэтому их требуется распределить по узлам системы таким образом, чтобы удовлетворить некоторому критерию эффективности и заданным ограничениям. В качестве критерия эффективности целесообразно использовать минимум временных затрат, связанных с обменом информацией между уровнями и узлами системы. С целью минимизации таких временных затрат в каждом узле должны быть сконцентрированы те задачи, которые имеют максимальную взаимосвязь. Для формализации задачи в такой постановке введем следующие обозначения:

$i = \overline{1, I}$ — множество вспомогательных задач системы;

$j = \overline{1, J}$ — множество узлов системы;

a_{ij} — относительная частота выполнения i -й задачи после j -й (алгоритмическая связность i -й задачи с j -й);

k_{ij} — затраты на реализацию i -й задачи в j -м узле.

При приведенных обозначениях распределения задач можно представить в виде следующей задачи целочисленного линейного программирования.

Найти:

$$\min \sum_j \sum_I a_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

где $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я задача решается в } j\text{-м узле,} \\ 0 & \text{– в противном случае} \end{cases}$

при ограничениях:

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, I}, \quad (2)$$

$$\sum_{i,j} k_{ij} x_{ij} \leq b_j. \quad (3)$$

Критерий (1) указывает на то, что задачи в узлах будут максимально взаимосвязаны. Ограничение (2) не допускает решения i -й задачи в различных узлах, а (3) ограничивает затраты на реализацию задач в узлах.

Уточнение варианта. Уточнение варианта осуществляется с целью минимизации временных затрат на решение задач с учетом затрат на обмен информацией между узлами.

Введем следующие обозначения:

$i = \overline{1, I}$ — множество задач системы;

$j = \overline{1, J}$ — множество узлов системы;

$|\alpha_{ii'}|$ — матрица связи между задачами. Задачи i и i' считаются связанными, если для решения i' -й задачи используется информация, являющаяся выходной для i -й задачи, при этом $\alpha_{ii'}$ имеет смысл среднего потока информации от i -й задачи к задаче i' ; если задачи не связаны, то $\alpha_{ii'} = 0$;

$|\gamma_{jj'}|$ — матрица затрат на передачу единицы информации из j -го узла в j' -й; для несвязанных узлов $\gamma_{jj'} = \infty$;

t_{ij} — время решения i -й задачи в j -м узле;

k_{ij} — затраты на реализацию i -й задачи в j -м узле.

Тогда задачу распределения можно представить в виде следующей задачи целочисленного линейного программирования.

Найти:

$$\max \sum_I \sum_J \delta_{ij} x_{ij}, \quad (4)$$

где $\delta_{ij} = t_{ij} - \sum_{i'j'} \alpha_{ii'} \gamma_{jj'}$;

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я задача решается в } j\text{-м узле,} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

при ограничениях:

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, I}, \quad (5)$$

$$\sum_{i,j} k_{ij} x_{ij} \leq b_j. \quad (6)$$

Критерий (4) имеет смысл общего времени решения всей совокупности задач с учетом затрат на обмен информацией между узлами. Ограничение (5) не допускает решения i -й задачи в различных узлах, а (6) ограничивает затраты на реализацию задач в узлах.

Эффективное решение задач в постановках (1)–(3) и (4)–(6) можно осуществить методом ветвей и границ.

Выбор технических средств узлов системы

Данная задача решается с целью выделения из множества возможных вариантов организации технических средств (ТС) тех, которые наиболее полно удовлетворяют техническим требованиям к АСУ, имеющимся к моменту решения задачи.

Выбор ТС конкретного применения является наименее решенной из многочисленных проблем проектирования структуры системы. Это обусловливается трудностью установления взаимосвязи параметров ТС с эффективностью решения задач АСУ, отсутствием стандартной методики выбора, постоянным расширением номенклатуры ТС. Кроме того, сложность выбора ТС обусловлена также тем, что он характеризуется значительным количеством системных требований как количественных, так и качественных. Все это позволяет охарактеризовать задачу выбора ТС как многокритериальную и многопараметрическую.

Под системными требованиями, предъявляемыми к ТС, будем понимать совокупность требований к решению задач АСУ, требований к ее техническим характеристикам, а также концептуально-системных требований [3].

Задачу выбора ТС, которые наилучшим образом соответствуют системным требованиям, можно сформулировать следующим образом.

Пусть $C_l = \{c_i^l \mid i = \overline{1, n_l}\}$ — множество технических средств l -го типа, а $T_j^l = \{t_{ij}^l \mid i = \overline{1, k_j}\}$ — множество системных требований, предъявляемых к техническим средствам l -го типа j -го узла. Требования могут носить как количественный, так и качественный характер.

Далее, пусть $Q(c_i^l) = (q_1^l(t_{1j}^l), \dots, q_{k_j}^l(t_{k_j j}^l))$ — вектор показателей соответствия средства c_i^l системным требованиям, которые предъявляются к техническим средствам l -го типа j -го узла. В этом векторе $q_i^l(t_{ij}^l)$ — степень соответствия i -го средств l -го типа требованию t_{ij}^l . Требуется выбрать такое средство $c_{i_0}^l \in C_l$, кото-

рое обеспечивает оптимальное в некотором смысле значение векторного критерия $Q(c'_i)$, т.е. $i_0 = \arg \underset{I}{opt} Q(c'_i)$.

Как отмечалось выше, на этапе выбора ТС объективно отсутствуют точные характеристики решаемых задач, что обуславливает использование нечетких экспертных оценок для задания требований к техническим средствам. Учитывая этот факт, эффективное решение данной задачи, как на этапе построения опорного варианта, так и на этапе его уточнения, можно осуществить методом анализа иерархий [4]. Данный метод обладает достаточной степенью общности и может быть использован при выборе как аппаратных, так и программных средств.

Выводы

Решение задачи проектирования структуры сложной технической системы в условиях неполноты и неопределенности исходных данных затрудняется тем обстоятельством, что параметры системы на ранних этапах проектирования могут быть известны лишь приблизительно. Учет этого обстоятельства приводит к необходимости совершенствования существующих методик проектирования.

Процесс проектирования структуры АСУ предложено представлять в виде последовательности системно увязанных частных задач выбора основных элементов системы, числа уровней и подсистем управления (иерархия управления), оптимального распределения задач (функций) по уровням и узлам системы, выбора технических средств, обеспечивающих своевременное решение функциональных задач АСУ.

Для каждого этапа предложены подходы и методы решения задач проектирования, увязанные в единую процедуру выбора рациональных решений. В основу предложенных решений положены методы нечетких экспертных оценок и процедуры обработки экспертной информации.

1. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем / Цвиркун А.Д. — М.: Наука, 1982. — 197 с.
2. Хазанович Э.С. Определение оптимальной структуры технических средств и технологии обработки информации / Э.С. Хазанович, И.К. Жабин. — В кн.: Экономика и математические методы. — М.: Наука, 1969. — Т. 5. — Вып. 2.
3. Скурихин В.И. О формулировании концепций. Концепция «четырёх И» / В.И. Скурихин // Управляющие системы и машины. — 1989. — № 2. — С. 7–12.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — М.: Радио и связь, 1993. — 311 с.
5. Герасимов Б.М. Проектирование организационных структур: Методы и алгоритмы / Герасимов Б.М., Глуцкий В.И., Рабчун А.А. — К.: БФ «Миротворец», 2000. — 206 с.
6. Самохвалов Ю.Я. Построение технического облика автоматизированных систем / Самохвалов Ю.Я., Науменко Е.М. // Захист інформації. — Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій. — 2005. — № 2. — С. 13–19.

Поступила в редакцию 02.03.2009