

УДК 519.816:658.012.011.56

А.П.Ладанюк, В.Г.Перепечаенко, Н.А.Рыжнин

### МЕТОДОЛОГИИ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ АСУТП

В связи с распространением многоуровневых пространственно и функционально распределенных АСУТП на базе многомашинных и многопроцессорных комплексов возникает задача выбора оптимальной структуры АСУТП с учетом специфических свойств технологического объекта управления и заданных требований к системе.

Предлагается методология выбора структуры АСУТП, в состав которой входят критерии оценки вариантов структуры и модели принятия решений, позволяющих учитывать наиболее существенные свойства системы на всех стадиях принятия решения и ее жизненного цикла; методы целевой декомпозиции управляемого объекта, формирование его технической и функциональной структур; методы оптимальной в определенном смысле структуры АСУТП, в том числе решение задач определения числа станций управления и их размещения, а также распределения функций между ними.

Предположим, что создается автоматизированный технологический комплекс (АТК), состоящий из технологического объекта управления и АСУТП, которые имеют внутреннюю структуру, образованную множествами функциональных элементов определенного типа ( $M, V$ ) и связей между ними ( $A, B$ ). В этом случае оргграф структуры АТК может быть образован следующим образом

$$O(J, Q) = \Gamma(M, A) \cup G(V, B); \quad (1)$$

$$\Gamma(M, A) \cap G(V, B) = \emptyset; \quad M, V \subset J; \quad A, B \subset Q,$$

где  $M$  - множество технологических агрегатов;  $A$  - связи между ними;  $V$  - множество функциональных устройств АСУП;  $B$  - связи между ними;  $J$  - множество функциональных элементов АТК;  $Q$  - связи между ними.

Оптимизация структуры АТК заключается в реализации множества стратегий, обеспечивающих достижение системой заданной целевой функции. Эти стратегии могут основываться на декомпозиции модели структуры АТК на более простые подсистемы (элементы) с последующим их агрегированием по предложенному принципу.

Задача выбора оптимальной структуры АСУП сводится к определению совокупности множеств  $\langle M, A, V, B, F, E \rangle$  и поиску единственного решения в многомерном пространстве, показатели качества которого не могут быть улучшены при заданных условиях ( $F$  и  $E$  - соответственно множество функций, реализуемых системой, и оценок качества структуры АТК).

Исходная задача (1) преобразуется к такому виду, когда множество вариантов структуры АТК можно оценить совокупностью частных критериев  $K \in K$ . Таким образом, задачу поиска оптимальной структуры в допустимой области  $K_0$  можно свести к выбору наилучшей возможной комбинации параметров  $(K_1, K_2, \dots, K_n)$ , т.е. к поиску такого вектора  $K^* \in K_0$ , в котором функция  $W(K)$  достигает экстремального значения:

$$W(K^*) = \text{ext}_K(K), \quad K, K^* \in K_0 \quad (2)$$

Задачу (2) можно отнести к классу векторной оптимизации с дискретными переменными.

Качество вариантов структуры АСУП оценивается системой частных критериев, определяемых качеством управляющих вычислительных комплексов функциональных подсистем и системы в целом. Качество вычислительной техники оценивается по показателям программного обеспечения, состава периферийных устройств, удобства эксплуатации и т.д. Функциональные подсистемы оцениваются на основе показателей надежности, времени реакции, помехоустойчивости, точности управления. Качество системы в целом характеризует я напряженность труда оператора, трудоемкость управления, живучестью систе-

мы, стоимостью эксплуатации и технических средств.

Названные критерии имеют различную физическую природу, могут быть количественными или качественными оценками, поэтому их необходимо нормализовать, т.е. привести к единой шкале измерения с использованием аппарата нечетких множеств путем определения функций принадлежности на основе обработки мнений экспертов. Частные критерии ранжируются на основе метода попарных сравнений критериев и вычисления координат нормализованного собственного вектора матрицы сравнений, соответствующего ее максимальному значению.

Сформулированный подход требует анализа технологического объекта управления и его целенаправленной декомпозиции как совокупности агрегатов и процессов, участвующих в реализации заданной целевой функции.

В составе предприятия выделяются функциональные сферы, группы задач управления по уровням сложности принимаемых решений с разложением их в эталоны с учетом организационной структуры производства. При этом управляемые технологические подсистемы не совпадают, как правило, с очевидными границами производства, цеха, участка, отделения, агрегата. Декомпозиция технологической схемы осуществляется на основе топологического анализа по критерию минимума технологических связей, что обеспечивает максимальную автономность полученных подсистем.

Для технологического объекта управления определяются матрицы связности, характеризующие сильносвязные (охваченные обратными связями) и слабосвязные подсистемы; последовательно рассматриваются все структурные элементы объекта (производство, цех, линия, агрегат) и определяется структура ТОУ, описываемая оргграфом  $\Gamma(M, A)$  и функциональная структура системы управления, описываемая оргграфом  $W(F, U)$ . При таком подходе становятся известными множества технологических агрегатов ( $M$ ), связей между ними ( $A$ ), функций управления ( $F$ ), информационных потоков ( $U$ ), точек контроля и управления ( $\psi$ ). На основании технологического регламента можно сформировать дополнительные требования к функциям АСУТП путем определения границ  $K_0$  для каждого из  $\mathcal{E}$  частных критериев  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_{\mathcal{E}}\}$ , используемых в модели принятия решения.

Синтез структуры АСУТП выполняется в несколько стадий:

$$\Gamma(M, A) \Rightarrow W(F, U) \Rightarrow G(V, B), \quad (3)$$

где оргграф  $G(V, B)$  объединяет множество функциональных устройств

АСУТП ( $V$ ) и связей между ними ( $B$ ). Запись (3) наглядно показывает, что функции определяют структуру системы управления, а последняя, в свою очередь, — возможности системы в реализации функций.

В общем случае задача оптимизации структуры АСУТП имеет столь высокую размерность, что ее практически решить в полном объеме не представляется возможным. Как обычно, решение ищется в более узкой области, ограниченной заданной системой критериев и принятыми допущениями. Немаловажным является тот факт, что решение необходимо получить на начальных стадиях проектирования системы, когда имеются единственные неопределенности в исходной информации и нечеткости используемых критериев.

Если предположить, что известны  $\psi$ ,  $\Gamma(M, A)$ ,  $W(F, U)$  и  $K_0$ , то задачу синтеза оптимальной структуры можно решить в три стадии:

- 1) определение типа управляющей вычислительной техники в соответствии с принятыми требованиями;
- 2) определение структуры функциональных подсистем, участвующих в реализации каждой из  $m$  функций;
- 3) определение структуры АСУТП в целом как оптимального числа станций управления и распределения между ними функций контроля и управления.

Получение наилучшего решения на каждой стадии гарантирует оптимальную структуру АСУТП при последовательном решении задачи с использованием интерактивных методов, когда отсутствие решения на любой стадии требует перехода к началу задачи и повторения всех процедур с меньшим количеством вариантов.

Управляющая вычислительная техника выбирается по  $W(F, U)$ -орграфу, описывающему функциональную структуру системы управления с учетом принятых критериев качества.

Структура функциональных подсистем АСУТП определяется на основе матрицы связей, получаемых из графовых моделей структуры функциональных подсистем, станций управления и системы в целом. На таких матрицах хорошо просматриваются маршруты преобразования информации  $m_i(x, y)$ , образующие подсистему, станцию управления и систему в целом. Каждую из  $m$  функций системы можно представить отображением по  $n$  маршрутам  $\{m_i(x, y) / i = 1, \dots, n\}$  показателей входящей информации  $X$  в показатели выходящей информации  $Y$ . Тогда модель структуры функциональной подсистемы АСУТП можно представить следующим образом:

$$G_j(V_j; B_j) = \bigcup_{m,n} m_j^i(x, y); \quad (4)$$

$$\bigcap_n m_i(x, y) = \Phi; \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m;$$

$$x \in X; \quad y \in Y$$

Оценка вариантов структур функциональных подсистем осуществляется по набору частных критериев.

Простейшим решением при определении структуры системы в целом является объединение функциональных подсистем в одну систему.

$$G(V, B) = \bigcup_m \bigcup_n G_j(V_j, B_j) = \bigcup_m \bigcup_n m_j^i(x, y); \quad (5)$$

$$\bigcap_m \bigcap_n G_j(V_j, B_j) = \bigcap_m \bigcap_n m_j^i(x, y) = \Phi;$$

$$V = \bigcup_m V_j; \quad B = \bigcup_m B_j; \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m.$$

Выражение (5) описывает структуру централизованных систем, недостатки которых общеизвестны. Для получения оптимальной структуры пространственно и функционально распределенных АСУТП на базе микропроцессорной управляющей техники предлагается критерий

$$\min L = \min_{i, j \leftarrow I} \ell(i, j); \quad (6)$$

$$S^T \leq S_{\text{дон}}^T; \quad \ell(i, j) \leq \ell(i, j)_{\text{дон}}; \quad V \geq V_{\text{дон}}; \quad R_g \leq R_g^{\max},$$

где  $\ell(i, j)$  — длина линий связи между  $i$  и  $j$ -м элементами системы;  $S^T$  — стоимость технических средств;  $V$  — структурная живучесть системы;  $R_g$  — загрузка  $g$ -го элемента системы.

В обычной постановке задача (6) сводится к назначению объектов на  $\omega$  мест и число возможных вариантов решения задачи составляет  $\omega!$  Число вариантов может быть сокращено введением дополнительных условий и ограничений. В результате решения задач (6) минимизируется длина линий связи в системе, что дает существенную экономию кабельной продукции; определяется место размещения станций управления на минимальном расстоянии от объекта; повышается помехоустойчивость системы.

Для реализации предложенного подхода разработаны тексты прикладных программ, ориентированные на персональные ЭМ. Разработаны и переданы в отраслевой фонд алгоритмов и программ пакеты прикладных программ STR и STR-T.

Предположим, что система состоит из четырех подсистем и на объекте имеется три места, подходящих для размещения узлов управления. Число линий связи в каждой подсистеме управления соответственно равно 4, 5, 2, 6. Используя предлагаемый подход с учетом требований минимизации линии связи в системе, получены от ЭМ рекомендации по размещению каждой подсистемы:

подсистема 1 - место 1, подсистема 2 - место 2, подсистема 3 - место 3, подсистема 4 - место 4.

Далее проверяется соответствие системы (при полученных рекомендациях по размещению подсистем) заданным ограничениям. Если ограничения не удовлетворяются, ликвидируется один из узлов управления, сумма расстояний до которого наибольшая. Предположим, что ликвидирован узел 3. Тогда получаем рекомендуемое размещение подсистем:

подсистема 1 - место 1, подсистема 2 - место 2, подсистема 3 - место 2, подсистема 4 - место 1.

Полученная система удовлетворяет критерию (6).