

68.5
A32

АВТОМАТИЗИ- РОВАННЫЕ СИСТЕ- МЫ УПРАВЛЕНИЯ

И ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ

70|84



681.2
A22

Министерство высшего и среднего
специального образования УССР

Харьковский ордена Трудового
Красного Знамени институт
радиоэлектроники имени М. К. Янгеля

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ

ВЫПУСК 70

Республиканский
межведомственный
научно-технический
сборник

Основан в 1965 г.



ХАРЬКОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ „ВИЩА ШКОЛА”
1984

Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Респ. междувед. науч.-техн. сб. Вып. 70.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. — 137 с.

В сборнике рассматриваются методические, теоретические и прикладные вопросы построения автоматизированных систем управления организационными и технологическими системами, а также систем автоматизированного проектирования. Описаны алгоритмы проектирования сложных сетевых систем, сетей ВЦ, печатных плат, идентификации, принятия решений.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1984 г.

Для научных работников и специалистов в области проектирования и эксплуатации АСУ организационными системами, технологическими процессами и САПР.

Редакционная коллегия: Е. П. Путятин (отв. ред.), В. Ф. Шостах (зам. отв. ред.), Н. А. Лысенко (отв. секр.), В. И. Васильев, Э. А. Дедиков, В. В. Дубровский, А. Г. Евдокимов, С. Ф. Кацазан, К. Д. Коноваленко, И. В. Кузьмин, Е. Н. Лазаренко, В. И. Мелешко, В. М. Михайленко, И. Ф. Огороднейчук, Э. Г. Петров, Л. А. Растрини, В. В. Свиридов, Ю. Г. Стоян, И. М. Шмырев

Адрес редакционной коллегии: 310059, Харьков-59, пр. Ленин, 14, институт радиоэлектроники, тел. 40-43-66
Редакция естественнонаучной литературы

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ

Выпуск 70

Редактор Н. Н. Верховская

Художественный редактор Т. П. Воробийко

Технический редактор Л. Т. Ена

Корректоры Е. В. Сергина, В. Л. Светличная

ИБ № 5240

Сдано в набор 26.08.83. Подп. в печать 09.04.84. Бл 09123. Формат 60×90¹⁶. Бумага типогр. № 3. Лит. гарн. Вмс. печать. 8,5 печ. л. 8,75 кр.-отт. 10 уч.-изд. л. Тираж 600 экз. Изд. № 1158. Зам. 3-315. Цена 1 р. 40 к.

Издательство при Харьковском государственном университете издательского объединения «Вища школа», 310003, Харьков-3, ул. Университетская, 16.

Харьковская книжная фабрика «Коммунист», 310012, Харьков-12, ул. Энгельса, 11.

В. В. СВИРИДОВ, д-р техн. наук, Б. В. ШАМША,
канд. техн. наук, С. В. ВАСИЛЬЦОВА

ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ В АСУ ТП

Любая система управления технологическим процессом (ТП) содержит информационную, оптимизационную и исполнительную составляющие [1]. Проектирование каждой из них требует реализации алгоритмического обеспечения собственно системы проектирования и проектируемой системы управления. С точки зрения функционирования АСУ ТП наибольшей универсальностью обладает информационная составляющая, применимая к различным объектам. Оптимизационная, включающая алгоритмы обработки информации, моделирования, управления, принятия решения, неинвариантна по отношению к объекту и потому требует проектирования в интерактивном режиме при активном участии проектировщика.

Естественным развитием АСУ в направлении автоматизированного проектирования является создание модульных систем обработки данных (СОД) [2]. Их отличает возможность свести проектирование к автоматизированному синтезу функционально независимых блоков (модулей), совместно выполняющих заданные функции системы с требуемой эффективностью, и значительно сократить затраты на разработку и внедрение систем.

Однако создание таких систем связано с трудоемкостью предпроектного обследования объекта, появлением дополнительной работы по анализу большого числа альтернатив разбиения существующей системы на подсистемы при разработке системы модулей программного обеспечения (ПО), со сложностью разработки интерфейса и увязки модулей ПО и массивов информационного обеспечения модульных СОД. Для оценки качества системы используются различные критерии оптимальности, основные из которых — сложность межмодульного интерфейса и время решения задачи обработки данных [2]. Учет указанных требований к СОД приводит к необходимости унификации модулей, имеющих одно функциональное назначение, по входам и выходам и к выбору наиболее эффективного в конкретной ситуации модуля среди альтернативных вариантов.

Условно проектирование модульной СОД можно представить последовательностью двух этапов.

Первый этап включает получение информации о множествах функциональных задач АСУ ТП, процедур обработки данных, информационных элементов системы и их взаимосвязи с процедурами обработки, о возможных последовательностях выполнения процедур, их характеристиках. На основании полученной информации определяются формальная модель альтернативных вариантов синтезируемой системы и соотношения, позволяющие определить интегральные характеристики вариантов реализации системы на основе информации о составляющих ее элементах.

На втором этапе синтезируется оптимальный вариант модульной СОД на основе анализа интегральных характеристик альтернативных вариантов синтезируемой системы программных модулей, информационных массивов и их взаимосвязей в процессе реализации задачи.

В общем случае структура САПР может быть представлена совокупностью подсистем [3]. Среди них наиболее сложной является подсистема выбора проектных решений (рис. 1). Она

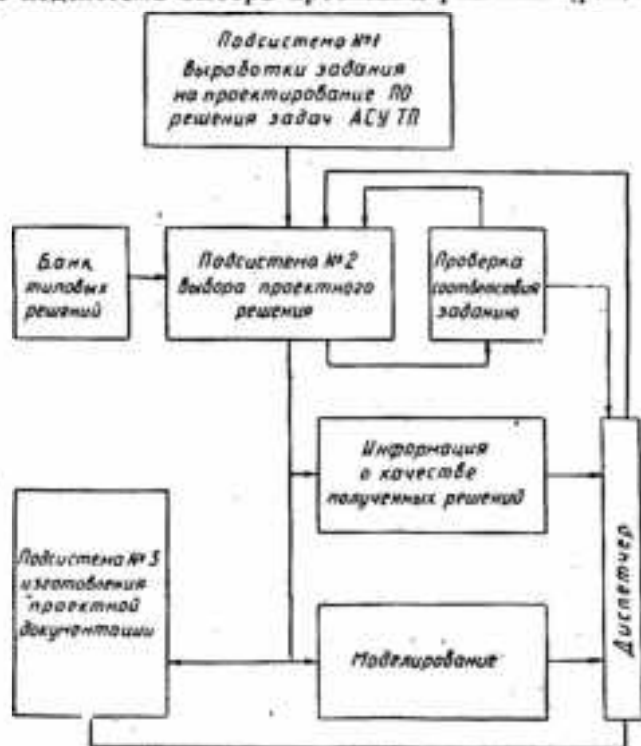


Рис. 1

в большинстве случаев включает большое число вторичных подсистем и для проектирования требует активного диалога проектировщика с ЭВМ.

Первая подсистема формирует задание на проектирование программного обеспечения решения основных функциональных задач АСУ ТП.

Определим перечень решаемых задач в условиях функционирования адаптивной АСУ ТП.

Новым классом адаптивных систем управления [4] являются адаптивные системы с идентификатором (АСИ). Их появление связано с усложнением управляемых объектов и необходимостью уточнения параметров и структуры модели в режиме функционирования объекта вследствие дрейфа его характеристик.

Реализация подсистемы идентификации на этапе предварительного обследования объекта управления (ОУ) оказалась длительной и дорогостоящей, в связи с этим возникла необходимость в автоматизации процесса идентификации путем введения идентификатора в контур управления. Структурная схема АСИ представлена на рис. 2.

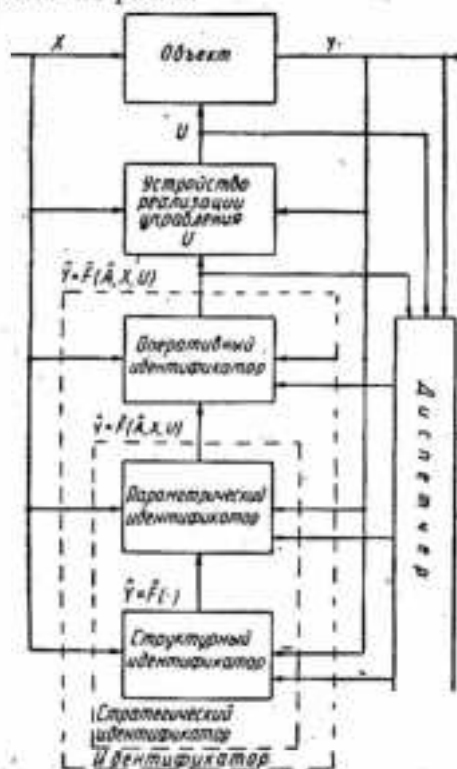


Рис. 2

Идентификатор в такой системе состоит из стратегического и оперативного. Первый функционирует в режиме «off-line» и решает задачу идентификации в широком смысле, т. е. осуществляет выбор информативных переменных, оценку вида и тесноты связи между входными и выходными переменными, выбор структуры $F(\cdot)$ базовой модели и оценку ее параметров A , коррекцию структуры, оценку степени адекватности модели объекту, выбор критерия оптимальности, оценку экономической эффективности системы. Оперативный идентификатор работает в режиме «on-line» и осуществляет адаптивную коррекцию параметров A модели при дрейфе характеристик ОУ. Таким образом, идентификатор реализует решение задачи на всех этапах идентификации объекта [5].

Существует большое число процедур решения перечисленных задач, что создает значительные трудности для проектировщика при синтезе идентификатора. Несмотря на их многообразие, появляются новые методы и их модификации, в связи с этим актуальна разработка стратегии автоматизированного выбора функциональных модулей при проектировании алгоритмического и программного обеспечения подсистемы идентификации в АСУ ТП.

Представим процедуру F выбора метода m^k решения k -й задачи идентификации, приводящую к реализации формализованного подхода к синтезу системы $S = \bigcup_{k=1}^K S_k$ специального математического обеспечения (СМО) идентификации

$$\{M^k\} \xrightarrow{F} S_k \{m^k \in M^k : C = C_{opt}\}, \quad (1)$$

где $k = \overline{1, K}$ — число задач идентификации; $M^k = \{m_i^k, i = \overline{1, I}\}$ — группа методов, позволяющих решить k -ю задачу; C_{opt} — оптимальное значение функционала C , определяющего цель проектирования.

Для разработки стратегии автоматизированного выбора модулей необходимо определить понятие метода, алгоритма и программы. Под методом понимается совокупность математических приемов и средств для получения решения некоторой задачи. Отличительная особенность метода — используемый математический аппарат, исходная информация и критерий, лежащий в его основе. Алгоритм трактуется как предписание, позволяющее по каждому исходному данному из некоторой совокупности возможных исходных данных получить результат в случае, если таковой существует. Иначе говоря, алгоритм — это последовательность процедур переработки исходных данных в требуемый результат. Каждый алгоритм (в первую очередь это относится к вычислительным) может быть реализован программой, т. е. закодированной записью на одном из языков высо-

кого уровня (исходный модуль), позволяющей с помощью ЭВМ получить требуемое решение.

Теперь выражение (1) можно переписать в виде $\{M^k, A^k, P^k, H, C\} \Rightarrow S_k \{m^k \in M^k, a^k \in A^k, p^k \in P^k; C_{opt} = \text{extr}_{i,j,l} C(m_i^k, a_{ij}^k, p_{lj}^k, H)\}$, $k = \overline{1, K}$ (2), а задачу проектирования СМО идентификации в АСУ ТП сформулировать как создание такой системы $S = \bigcup_{k=1}^K S_k$ решения K задач обработки данных, когда с ее помощью достигается оптимальное значение C_{opt} функционала цели.

Здесь $S_k \in S_k$ — спроектированный модуль решения k -й задачи, m, a, p — соответственно метод, алгоритм и программа, A — банк алгоритмов, P — библиотека программ, H — модель ситуации, C — функционал, отражающий цель проектирования.

Структурно процесс проектирования модульной СОД можно представить схемой (рис. 3).



Рис. 3

Рассмотрим подробнее предлагаемую структуру.

В распоряжении проектировщика — библиотека модулей решения отдельных задач. В ее состав входят также альтернативные модули с одним функциональным назначением. Проекти-

ровщику необходимо построить цепочку базовых алгоритмов и пакет программ решения конкретной задачи. Средством проектирования является система имитационного моделирования, работающая в интерактивном режиме [5]. Используя генератор тестовых задач (ГТЗ) и монитор контрольных примеров (МКП), проектировщик задает программу исследования модулей для конкретной ситуации, которая определяется характеристиками объекта и условиями проведения эксперимента. Система имитации предлагает проектировщику сравнительные характеристики программных модулей, которые позволяют по заданному критерию (блок формирования критерия) выбрать наиболее приемлемый. Монитор (управляющая программа) осуществляет выбор требуемого модуля из библиотеки и подключение его к пакету. Алгоритм работы монитора в интерактивном режиме можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 4. Здесь I — количество альтернативных модулей, K — количество решаемых задач идентификации.

Создание подобной системы базируется на решении основных задач: 1) формализация описания модели ситуации; 2) построение системы имитации, ГТЗ и МКП; 3) разработка стратегии автоматизированного выбора модуля по критериям качества.

Характеристики модели ситуации определяются свойствами ОУ и условиями его идентификации, включая и регистрационный эксперимент, прямо или косвенно приводящими к нарушению теоретических предпосылок используемых математических методов [6].

Система имитации в САПР позволяет моделировать различные ситуации для исследования модулей и получения характеристик их качества. С этой целью в [6] осуществлена попытка построения ГТЗ для исследования алгоритмов идентификации непрерывных технологических процессов в установившемся режиме. МКП реализован как блок генерации D -оптимального плана эксперимента. Он позволяет варьировать параметры тестовой задачи в заданных проектировщиком интервалах. Обработка результатов машинного имитационного эксперимента предоставляет проектировщику численные значения показателей качества программы. Анализ качества программного обеспечения [7] показал зависимость эффективности его функционирования от квалификации разработчика (программиста), характеристик решаемой задачи, вычислительных средств, на которых реализована программа.

В данном случае наибольший интерес представляют показатели качества, зависящие от второго фактора: временная сложность $T(N)$, где N — размерность задачи; емкостная сложность $V(N)$; показатель $Q(N)$, характеризующий эффективность решения задачи.

Применительно к задачам АСУ ТП показатель эффективности должен отражать две альтернативные стороны получае-

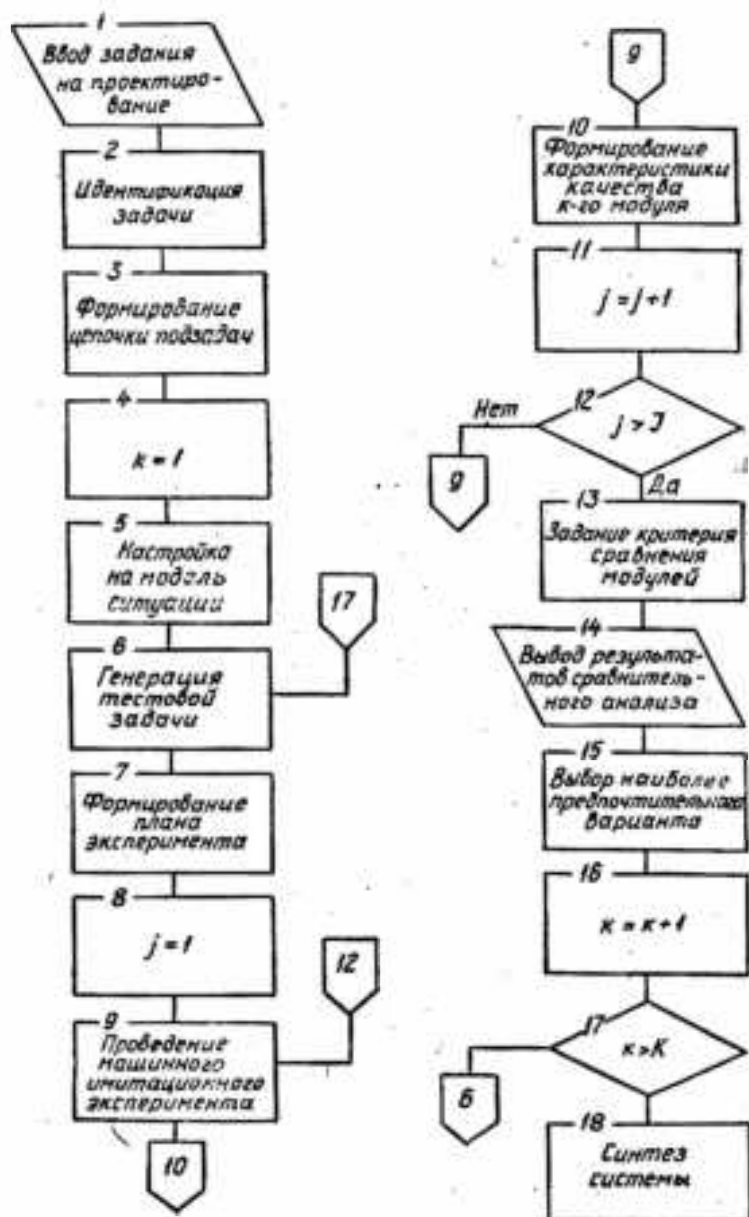


Рис. 4

мого решения: качество и сложность. Так, в задаче идентификации качество решения определяется точностью или ошибкой синтезируемой модели, а сложность — пригодностью ее для целей управления, т. е. простотой ее реализации.

Аналогичные показатели существуют и для алгоритмов [7]. Комплексный учет перечисленных характеристик позволяет сформировать показатель, отражающий эффективность функционирования модуля.

В [8] в качестве такой комплексной характеристики программы предложен показатель

$$I(p_i) = \frac{Q(N)}{d_1 T(N) + d_2 V(N)}, \quad i = \overline{1, J}, \quad (3)$$

где d_1 и d_2 — весовые коэффициенты.

Для показателя (3) критерием выбора модуля p из $p_i (i = \overline{1, J})$ служит максимальное значение $J_{opt}(p) = \max_i J(p_i)$.

Возможен и другой подход к выбору. Если в системе проектирования реализован имитационный подход, то по методу, приведенному в [6], можно получить модели эффективности модулей e_p как функции характеристик модели ситуации $h_i \in H$, т. е. $e(p_i) = f_i(h_i)$ (4).

Подставлением в (4) оценки характеристик h_i реальной ситуации осуществляется сравнительный анализ и выбор модуля из группы альтернативных.

Рассмотренная структура системы и вариант реализации автоматизированного проектирования модульной СОД могут служить базой для разработки САПР с широкими функциональными возможностями.

Список литературы: 1. Солодовников В. В. Автоматизация проектирования АСУ ТП (автоматизированный синтез). — В кн.: Автоматизация проектирования систем управления. М.: Финансы и статистика, 1981, с. 34—50. 2. Модели и методы автоматизации проектирования модульных систем обработки данных / А. Г. Мамяконов, А. А. Ашимов, В. В. Кульба и др. — В кн.: Автоматизация проектирования систем управления. М.: Финансы и статистика, 1981, с. 63—79. 3. Гаврилов М. А. Интегрированные системы автоматизации проектирования. — В кн.: Автоматизация проектирования систем управления. — М.: Статистика, 1978, с. 39—67. 4. Раббан Н. С. О концепции АСИ. — В кн.: VIII Всесоюз. совещание по проблемам управления: Тез. докл. Таллин, 1980, с. 198—200. 5. Васильцова С. В., Шамина Б. В. Диалоговый имитационный подход к выбору алгоритмов идентификации в АСУ. — В кн.: Интерактивные системы: Тез. докл. и сообщ. четвертой школы-семинара. Тбилиси, 1982, с. 145—147. 6. Васильцова С. В., Шамина Б. В. Использование имитационной модели при синтезе системы идентификации. — Депон. ВИНТИ, 1982, № 2197. — 29 с. 7. Шамина Б. В., Васильцова С. В. Оценка качества алгоритмического и программного обеспечения АСУ ТП. — Депон. ВИНТИ, 1982, № 3806. — 23 с. 8. Гридин В. Н. Структура и алгоритм работы системного программного обеспечения комплексной САПР МЭА. — В кн.: Автоматизация проектирования систем управления. М.: Финансы и статистика, 1982, с. 124—144.

Поступила в редколлегию 24.02.82.

**СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В последнее время разрабатываются новые подходы к решению задач конструирования, которые концептуально отличаются от традиционных. Современная вычислительная машина из вспомогательного устройства, облегчающего труд конструктора, превращается в равноправного участника сложнейшего творческого акта — оптимального проектирования. При разработке новых методов конструирования следует учесть, что только сейчас с применением вычислительных машин третьего поколения возможна практическая реализация основных принципов системного подхода, предусматривающих всесторонний анализ последствий решений, принимаемых инженерами. Ниже приводится одна из версий системного подхода для решения задачи конструкторских и плановых работ, ориентированная на максимальное использование возможностей ЦВМ.

Приступая к изложению основных принципов разрабатываемой концепции, сделаем несколько предварительных замечаний.

Для принятия обоснованных оптимальных решений, в том числе и связанных с задачами конструирования, следует прийти к соглашению о критерии, на основе которого будет производиться сравнение конкурирующих вариантов.

Так как машиностроительное оборудование предназначено в основном для повышения результативности труда, критерий эффективности, по которому следует произвести оценку возможных решений, должен быть построен так, чтобы она позволяла определить эффективность общественного труда, затраченного на создание и эксплуатацию оборудования.

Исчерпывающей оценкой технико-экономической эффективности любого народнохозяйственного объекта является эффективность абстрактного труда, определяемая как отношение труда, сэкономленного в результате применения оборудования, к труду, затраченному для достижения с помощью этого оборудования соответствующего народнохозяйственного эффекта.

Оценка затраченного труда производится путем определения суммарных величин издержек, связанных с проектированием оборудования, организацией его производства, производством, экспедицией, организацией эксплуатации, эксплуатацией и поставкой ресурсов, необходимых для производства и эксплуатации оцениваемого оборудования.

Значительно труднее произвести оценку труда сэкономленного. Его качественной оценкой может служить величина дохода, полученного в результате эксплуатации оборудования. Однако произвести экономическую оценку использования оборудования

не всегда возможно с помощью универсального эквивалента общественно полезного труда — денег.

Оценка эффективности машиностроительного оборудования не может быть произведена без учета его назначения. В этой связи необходимо уточнить основной критерий.

В теории принятия решений уточнение критерия производится за счет учета ограничений. Ограничения для каждой задачи определяются ее содержанием.

При оценке качества машиностроительного оборудования глобальный критерий — эффективность затраченного труда — легко адаптировать к конкретным условиям, если для каждого типа оборудования ввести две группы ограничений. Одну — характеризующую объем и качество работ, возлагаемых на оцениваемую систему оборудования, вторую — количество и качество ресурсов, которые могут быть выделены для его создания и эксплуатации.

Первая группа ограничений отражает народнохозяйственную полезность создаваемого или функционирующего оборудования, определяемую множеством единичных требований, предъявляемых к обслуживающим устройствам, совокупность которых образует поле заявок.

Для удобства изложения введем несколько терминологических определений. Термином «требование» (или требованием на обслуживание) в дальнейшем обозначается работа, которая должна быть выполнена на оборудовании за один рабочий цикл, в течение которого полностью обслуживается один объект.

Требование определяется рядом параметров. Например, требование на токарную обработку одной детали определяется количеством металла, которое следует обработать в стружку классом чистоты поверхности, формой детали, особенностью обрабатываемого профиля, классом точности и т. д.

Все множество разнообразных задач, возлагаемых на оборудование одного и того же назначения, например на токарные станки, называется полем требований.

Множества требований, параметры которых совпадают, называются заявками. Так как заявку составляют много однородных требований, образующих поток переменной интенсивности, они, в отличие от отдельных требований, относятся к категории величин динамических и в совокупности образуют динамическое поле.

Следовательно, каждая заявка отличается от требования двумя параметрами: общим числом подлежащих обслуживанию требований и порядком их поступления.

Соответственно размерность поля заявок отличается от размерности поля требований наличием этих двух составляющих.

Заявки, как и образующие их требования, имеют различные приоритеты. Составляя перечень работ, возлагаемых на проектируемое оборудование, нельзя не учитывать этой особенности

народнохозяйственных потребностей, поэтому, кроме перечисленных выше технико-экономических параметров, для исчерпывающего описания задач, возлагаемых на данный тип оборудования, необходимо увеличить размерность поля заявок еще на одну составляющую с целью фиксации их приоритетности.

Проектируемое оборудование может быть ориентировано не только на внутреннее потребление. Большинство изделий производится и на экспорт. Поэтому к параметрам поля необходимо присоединить параметры, генерируемые на внешнем рынке. Предпочтительность удовлетворения внутренних или экспортных потребностей следует решить методом экспертных оценок путем констатации их приоритетности при построении поля заявок.

Составленное таким образом поле заявок является исчерпывающей моделью народнохозяйственной потребности, учитывающей «...потребности общества, постоянно порождаемые самим общественным производством и уровнем этого производства, постоянно стимулируемого порождениями им новыми потребностями» [1].

Не менее важно формализованное представление ограничений, вызванных наличными ресурсами.

В процессе подготовки решения о годности оборудования необходимо учесть весь объем ресурсов, выделяемый для его производства и эксплуатации.

В условиях хронического недостатка ресурсов, оценивая ограничения, нельзя пренебрегать возможностью эффективного использования функционирующего и частично устаревшего оборудования.

Часто диапазон требований бывает настолько широк, что покрыть все поле заявок оборудованием одного типоразмера невозможно. Поэтому возникает необходимость вместо одного типа машины производить целый ряд типоразмеров.

Параметры ряда должны быть выбраны таким образом, чтобы совокупность типоразмеров обеспечивала своевременное обслуживание всех требований, включенных в поле заявок, и одновременно доставляла бы оптимум глобальному функционалу качества при условии соблюдения всех ограничений.

Следует отметить, что перечисленные ограничения не исчерпывают проблемы. Достижение оптимума функционала не может быть выполнено без реализации рационально отобранных управлений, выработанных многолетней практикой производства технического оборудования.

Таковыми управлениями являются физико-химические принципы функционирования оборудования, технологические принципы его производства, комплектность, гарантирующая бесперебойность функционирования, унификация, модульный принцип построения, преемственность технических решений, рационально организованный жизненный цикл.

Жизненный цикл должен быть построен так, чтобы проектируемое оборудование быстро внедрялось в народное хозяйство и его своевременная замена более совершенным минимизировала возможный ущерб от морального старения.

Весьма важным этапом управления является рациональное распределение наличного и вновь создаваемого оборудования, обеспечивающее такую замену устаревшего оборудования, при котором эффективность использования технической системы непрерывно возрастает.

С учетом перечисленных факторов сформулируем критерий оптимума проектируемой системы машин.

Оборудование оптимально тогда и только тогда, когда его параметры выбраны так, что минимизируют абстрактный общественно полезный труд, необходимый для обслуживания динамического поля заявок, отражающего всю народнохозяйственную потребность в оцениваемом оборудовании при учете ограничений, определяемых объемом и качеством ресурсов, в состав которых включается существующее работоспособное оборудование аналогичного назначения. Управления, применяемые в процессе оптимизации, перечислены.

В соответствии с этим процесс оптимального проектирования должен учесть следующие особенности системного подхода.

1. Проектирование и оценка системы машин должны производиться с учетом всех факторов, определяющих эффективность проектируемой системы, а также влияния вновь проектируемой системы на другие уже существующие или проектируемые.

2. Оптимальную оценку следует начинать с точного учета, надежного прогнозирования и рациональной систематизации требований на обслуживание, предъявляемых к проектируемой или оцениваемой системе.

3. Существенным фактором, определяющим успех проектных работ и высокое качество оборудования, является прогнозирование возможности применения новых фундаментальных открытий для выбора принципов функционирования основных обслуживающих устройств КТС СО.

4. Оценка качества оборудования следует производить только на основании сформулированного выше критерия с учетом перечисленных ограничений и управлений.

5. Система обслуживания, кроме обобщенного критерия эффективности, характеризуется многими техническими показателями, определяющими качество каждого единичного акта обслуживания. Техническое совершенство работ по обслуживанию, выполняемых машинами при выбранном критерии, гарантируется путем удовлетворения всех ограничений, определяющих существо каждого класса требований.

6. Если в число параметров, характеризующих подлежащее обязательному обслуживанию поле заявок, прямо или косвенно включена полная оценка полезности оборудования, то из гло-

бального критерия оптимальности можно исключить его значение, и оптимум получить за счет минимизации приведенных расходов при условии полного покрытия заявочного поля.

7. Проектирование и оценка основного обслуживаемого устройства, машин, сооружений или любого другого объекта должны выполняться в комплексе со вспомогательными объектами, обеспечивающими максимальную эффективность системы. Так, самолет должен быть оценен в комплексе со взлетно-посадочной полосой, если она необходима; с авиатехнической базой обслуживания; ремонтным заводом; устройствами управления воздушным движением, предприятиями, обеспечивающими своевременную поставку горючесмазочных материалов и т. д.

8. Каждый КТС должен быть либо членом оптимального типоразмерного ряда, либо должен быть синтезирован из модулей, образующих оптимальный типоразмерный ряд, параметры членов которого выбираются из условия максимальной эффективности проектируемой системы. В частности, эти ряды могут быть получены комбинацией относительно небольшого числа стандартных модулей.

9. Расчет эффективности должен быть произведен для полного жизненного цикла системы.

10. Чтобы обеспечить максимальную эффективность системы, нужно учесть, что один и тот же технический результат можно достигнуть различными конкурирующими приемами. Оптимальное решение удастся получить только при условии выявления всех резервов существующих систем, способных выполнить часть или полный объем работ по обслуживанию всего поля заявок на разных этапах своего жизненного цикла и цикла проектируемой версии.

Учитывая, что формирование систем связано с интересами отдельных исполнителей и организаций, оптимальное проектирование и оценка должны предусматривать методику, позволяющую в режиме возможного соперничества установить все скрытые резервы каждой из систем, с тем, чтобы гармонично согласовать их технические возможности на разных этапах жизненного цикла.

11. Для обеспечения оптимальной эффективности системы, кроме рационального выбора области применения каждого типоразмера КТС, при их проектировании следует разработать оптимальный порядок замены физически и морально устаревших КТС; оптимальный порядок модернизации КТС устаревших типоразмеров; оптимальный порядок распределения новых или восстановленных КТС.

12. В ходе принятия решений о построении системы следует также учитывать последствия, связанные с режимом работы других, уже существующих. В частности, необходимо определить взаимное влияние элементов различных систем, дислоцированных в одних и тех же географических пунктах.

13. Комплексы технических средств оптимальной конструкции, удовлетворяющие условиям, доставляющим экстремум оптимизируемому функционалу, должны быть использованы только для обработки тех требований, которые входят в ареал, выделенный для их применения.

14. Все конструкторские и технологические решения должны быть по возможности унифицированы и преемственны. Однако возможны случаи, когда унифицированные решения тормозят развитие, ограничивают возможности вновь проектируемых систем. Обычно такое наблюдается в случаях, когда старые, унифицированные устройства, узлы, элементы не в состоянии качественно выполнять новые функции, поэтому каждый раз следует определить меру допустимой унификации.

15. В процессе проектирования и оценки оборудования необходимо наряду с оптимизацией конструктивных параметров оптимизировать технологический процесс производства и эксплуатации КТС всех типоразмеров. Только комплексное рассмотрение проблемы обеспечивает оптимальность решения.

16. Все сведения, составляющие необходимую информацию для проектирования и оценки оптимального типоразмерного ряда КТС и рядов элементов, составляющих морфологическую структуру этих КТС, а также требования, представленные полем заявок, должны быть специальным образом обработаны и представлены в такой форме, чтобы их было удобно использовать для автоматизации процесса проектирования и оценки.

Систематизацию информации и приведение ее к форме, удобной для применения в процессе проектирования и оценки, следует выполнять с помощью универсальных алгоритмов, легко транслируемых на машинные языки современных ЭВМ. Эта информация должна составлять основную базу банка данных отраслей, производящих и эксплуатирующих СО, она также дублирована в банке данных во Всесоюзном центре информации по оборудованию Государственного комитета по науке и технике.

Второй элемент банка должны составлять прикладные программы внутреннего пользования, предназначенные для совершенствования базы данных, и программы внешнего пользования, необходимые для манипуляции с базами данных в процессе проектирования, планирования и оценки.

17. Прикладные программы должны быть построены на основе алгоритмов, позволяющих получить оптимальные, в смысле обобщенного критерия эффективности, конструкторские, технологические и эксплуатационные параметры систем с учетом ограничений по ресурсам и качеству обслуживания.

18. Конструкторские, технологические и плановые решения в процессе проектирования, планирования и оценки системы должны непрерывно воспроизводиться на моделях. (Минимальный уровень моделирования на имитационных моделях

обязателен после принятия каждого проектного или планового решения). Поэтому в состав прикладных программ банка должны быть включены программы имитации всех этапов жизненного цикла КТС, включая маркетинг.

19. Фактор времени во многих случаях является решающим при оценке проектируемой системы. Однако формирование этапов проектирования производства, ввода в действие и эксплуатацию системы не может быть необоснованно за счет перерасходов средств, форсированы так же, как недопустимо необоснованное их затягивание, приводящее к увеличению временного лага, а также к моральному старению некогда оптимальных решений. Поэтому проектные и плановые решения должны быть строго коррелированы во времени с располагаемыми ресурсами.

20. Оптимальный проект системы может быть претворен в жизнь с расчетной эффективностью, если осуществляется согласно оптимальному плану внедрения. Поэтому процессы проектирования, разработки технологии производства, эксплуатации, поставок комплектующих и ресурсов должны быть выполнены по единым планам, обеспечивающим максимальную эффективность системы.

21. Несмотря на большое разнообразие задач конструирования, все перечисленные выше этапы могут и должны быть унифицированы. Алгоритмы и программы их реализации должны составить основу отраслевых банков данных, базой для которых является информация о потребностях и производственном опыте отрасли.

Только при учете всех перечисленных факторов возможно выполнить оптимальное проектирование и планирование системы машин, а в дальнейшем — осуществить ее оценку. Этот подход под руководством автора разработан на кафедре АСУ Харьковского политехнического института им. В. И. Ленина, где решение доведено до алгоритмов и рабочих программ.

Начальные этапы работы по созданию метода опубликованы в монографии [2].

Список литературы: 1. Румянцев А. М. Проблемы современной науки об обществе. — М.: Наука, 1969. — 390 с. 2. Дабалян А. В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств. — М.: Машиностроение, 1979. — 280 с.

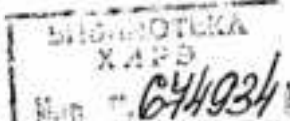
Поступила в редколлегию 22.11.82.

УДК 621.391

Р. Т. ВОЛКОЛУПОВА, д-р техн. наук

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СЕТЕВЫХ СИСТЕМ

За последние годы автоматизация проектирования стала одной из областей наиболее перспективного использования вычислительной техники, а также методов моделирования, идентификации и оптимизации. Усложнение проектируемых систем



и их разнообразие способствовали совершенствованию вычислительной техники, переоценке традиционных и созданию новых методов исследования. Одним из элементов взаимоувязанных систем проектирования является создание специализированного математического обеспечения. Рассмотрим некоторые вопросы его специфики для сложных сетевых систем различной природы: информационных, технологических, транспортных, газопроводных, водопроводных, электрических.

Проектирование сложных сетевых систем связано со всесторонним предварительным исследованием поведения создаваемой системы с помощью модели. В случае сетевого характера проектируемой системы обязательно имеет место структурное исследование с помощью топологического графа, являющегося моделью структуры сетевой системы. При этом возникают задачи выделения элементов системы и установления их взаимосвязей, определения связности системы отдельных ее элементов и некоторых подсистем, установления различных изоморфных форм представления системы, наличия нескольких связей одного вида между одними и теми же элементами, нахождения связей, направлений связей, выделения подсистем, определения степени сложности системы, установления посредством каких частей и связей системы связаны заданные части, сколько различных совокупностей связей соединяют заданные части системы, определения входов и выходов системы, полюсов многополюсников, нахождения совокупностей связей, определяющих взаимосвязь входа и выхода системы, различных ее элементов или полюсов многополюсников, нахождения циклов (контуров), цепей (путей), определения минимального графа, связывающего все элементы системы, нахождения деревьев и прадеревьев графа и др. Такого рода топологические исследования способствуют установлению взаимосвязей параметров, характеризующих элементы системы, построению математических моделей, описывающих процессы. Общепринятое описание графов — матрицы инцидентий или смежностей. Для полных графов матрицы состоят из множества нулевых элементов. Чем меньше ребер (для неорграфов) или дуг (для оргграфов) имеет граф, чем дальше он от полного графа, тем меньше ненулевых элементов в матрице. Для графов, моделирующих структуры реальных систем с сотнями элементов, ненулевые элементы матриц, описывающих эти графы, составляют 5—10%, а для матриц в десятки миллионов элементов ненулевые элементы составляют сотые доли процента.

Современные технические устройства, технологические системы, особенно транспортные и информационные, являются сетевыми системами больших размерностей, и их матрицы очень разрежены.

Использование такого математического аппарата при создании моделей сетевых систем, в которых структура является не-

отъемлемой частью, становится обременительным. Такие огромные матрицы определяют размеры моделей, реализация которых становится затруднительной и дорогой. В процессах подготовки модели для реализации на ЭВМ, начальных данных, переноса их на машинные носители, ввод, а затем вывод требуют больших затрат труда исследователей, их рабочего времени и времени работы ЭВМ. При этом достоверность данных естественно снижается из-за внесения ошибок в процессе их подготовки. Кроме того, при моделировании (для больших систем до 99,9 %) алгебраических операций преобразуют преимущественно нулевые элементы.

Таким образом, разреженные матрицы ведут к неэффективному использованию рабочего времени исследователей, к нерациональному заполнению машинной памяти, к работе процессора фактически только с избыточной информацией, к излишним затратам электроэнергии, т. е. к неэффективному использованию ЭВМ.

По названным причинам матричный метод не может удовлетворять исследователей сетевых систем. В связи с этим возникла проблема описания разреженных матриц. Одним из возможных описаний, отвечающим требованиям компактности записи и способности оперировать с ним в процессе моделирования и оптимизации систем, являются сетевые множества.

Сетевые множества содержат ту же информацию, что и матрицы. Их также можно определить, как сетевое множество инцидентов и смежностей. Если элементы задач (вершины и ребра) пронумеровать числами натурального ряда, тогда в общем сетевое множество можно определить следующим образом.

Совокупность элементов называется сетевым множеством, если она может быть представлена как объединение некоторого семейства упорядоченных подмножеств, элементами которых являются числа натурального ряда со знаками или без них и если она допускает пересечение любой пары своих подмножеств и предполагает объединение любого множества своих подмножеств.

Числа натурального ряда могут являться номерами вершин и номерами ребер или дуг графа, а знак — определять направление дуги или отсутствие его.

Сетевые множества и их упорядочение определяются следующими принятыми положениями, аксиомами сетевых множеств:

- 1) сетевые множества состоят из подмножеств $A \supset K_i$, $S \supset R_i$, $i = (1, 2, \dots, n)$;
- 2) сетевые множества K_i , R_i упорядочены по номерам подмножеств, соответствующим числам натурального ряда $z_i \in N$ ($i = 1, 2, \dots$);
- 3) порядок подмножеств соответствует номерам описываемых вершин, подмножества некоммукативны;

- 4) допускаются пустые подмножества $\exists (K_i \neq \emptyset, R_i = \emptyset)$;
 5) элементы подмножеств коммутативны;
 6) элементы подмножеств могут быть положительными и отрицательными:

$$x_i \in K_i \quad u_e \in R_i$$

$$\forall x_i \left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ < 0 \end{array} \right. \quad \forall u_e \left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ < 0 \end{array} \right.;$$

- 7) если множества состоят из одних и тех же подмножеств, то они совпадают:

$$\begin{aligned} \forall K_i \subset A \quad \forall K'_i \subset A', \text{ если} \\ R_i \subset S \quad \text{и} \quad R'_i \subset S', \\ K_i = K'_i, \quad A = A', \\ R_i = R'_i \text{ то } S = S'. \end{aligned}$$

Начальным описанием графа являются сетевые множества инцидентий и смежностей.

Под начальным описанием графа будем понимать математический аппарат, отражающий множество всех вершин исходного графа и способов их соединения, а также указание ориентации соединений, если она есть. Использование сетевого множества инцидентий или сетевого множества смежностей в качестве начального описания графа равноценно. Если граф не имеет нумерации ребер, он может быть описан только множеством смежностей. При наличии нумерации ребер вид описания различен. Как будет показано ниже, множество смежностей ориентированного графа меньше по объему в два раза, чем множество инцидентий.

Если некоторое сетевое множество S состоит из подмножеств R_i , элементы которых определяют номера ребер, инцидентных i -й вершине, его будем называть сетевым множеством инцидентий.

Символически $S = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n\}$; $R_i = \{u_k, u_e, \dots, u_r\}$, $n = |X|$, где $u_k, u_e, \dots, u_r \in u$. Порядковый номер подмножества R_i определяет номер вершины, которой инцидентны ребра с номерами, являющимися элементами этого подмножества.

Если некоторое сетевое множество A состоит из подмножеств K_i , элементы которых определяют номера вершин, смежных с i -й вершиной, его будем называть сетевым множеством смежностей. Символически $A = \{K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n\}$; $K_i = \{x_2, x_j, \dots, x_r\}$, $n = |X|$, где $x_2, x_j, \dots, x_r \in X$. Порядковый номер подмножества K_i определяет номер вершины x_i , которая смежна с вершинами, являющимися элементами этого подмножества.

Если некоторое сетевое множество A состоит из подмножеств K_i , элементы которых определяют номера вершин, смежных с i -й вершиной, его будем называть сетевым множеством смежностей. Символически $A = \{K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n\}$; $K_i = \{x_2, x_j, \dots, x_r\}$,

$n = |x|$, где $x_2, x_1, \dots, x_n \in x$. Порядковый номер подмножеств K_i определяет номер вершины x_i , которая смежна с вершинами, являющимися элементами этого подмножества.

Нумерация вершин и ребер производится произвольно без ограничений.

Можно установить связь между матрицей инцидентий и сетевым множеством инцидентий, а также между матрицей смежностей и сетевым множеством смежностей по следующему правилу перехода.

Правило перехода. Для того чтобы перейти от матрицы к сетевому множеству, необходимо элементы первой строки матрицы умножить на номера столбцов матрицы и записать полученные значения в качестве элементов первого подмножества, отделяя их запятыми. Подмножество ограничить фигурными скобками. Затем ту же процедуру проделать последовательно со всеми остальными $(n-1)$ -ми строками матрицы. Полученную совокупность подмножеств ограничить фигурными скобками, и сетевое множество получено.

Таким образом, сетевое множество может быть получено непосредственно из графа и из матриц, описывающих граф, в случае их наличия. Матрицы и сетевые множества несут в себе одну и ту же полезную информацию о графе и однозначно отображают его.

Сетевые множества — специфические множества. Они обладают следующими свойствами:

1) элементы подмножеств $x_2, x_1, x_n \in K$ могут находиться в отношении рефлексивности, т. е. $x_i \psi x_i \forall x_i \in K$ (ψ — символ отношения), и в отношении иррефлексивности $x_i \not\psi x_i \forall x_i \in K$ где $\bar{\psi}$ — квантор не принадлежности («ни для кого»); в отношении симметричности, если из $x_i \psi x_j$ следует, что $x_j \psi x_i$, а в противном случае — асимметричным; в отношении транзитивности, если из $x_2 \psi x_1$ и $x_1 \psi x_n$ вместе следует, что $x_2 \psi x_n$;

2) $\max |K_i| = \max |R_i| = n - 1$ (для графов, не содержащих петлю и кратных ребер);

3) общее количество элементов подмножеств K_i в случае ориентированного графа равно m , подмножеств $R_i - 2m$, $|A| = -m$, $|S| = 2m$, для неориентированного графа — всегда $2m$, $|A| = |S| = 2m$;

4) в случае неориентированного графа каждый из элементов $u_i \in U$ повторяется в сетевом множестве S дважды с одним и тем же знаком, а в случае ориентированного графа — с противоположными знаками;

5) $\exists (K_i \in S, K_j \in S)$ различны даже, если состоят из одинаковых элементов.

Свойство сетевых множеств 1) говорит о том, что данные множества могут описывать графы с петлями и без них, линейные и мультиграфы, связные и древовидные.

Для количественной оценки преимуществ сетевых множеств по сравнению с широко используемыми матрицами были проведены экспериментальные исследования. Результаты исследований показали, что на этапе подготовки информации для ЭВМ о моделирующем графе хронометрировалось время описания графов различной сложности от графа в 10 вершин, 30 ребер до графа в 4 тыс. вершин, 10 тыс. ребер. При этом сравнивалось время подготовки информации в матричном виде и в виде сетевых множеств.

Сравнение матричного описания графов и описания с помощью сетевых множеств показывает, что для графов, описываемых 430-ю ненулевыми элементами, на матричный способ уходит в 4,5 раза времени больше, чем на подготовку сетевых множеств. При этом предполагается высокая квалификация специалистов, готовящих информацию.

Соответственно в зависимости от метода возрастает время переноса исходной информации на машинные носители. В общем балансе работ вычислительного центра значительная доля трудоемкости, ручных операций падает именно на подготовку машинных носителей — до 90 %.

Зная время перфорации одной позиции, равное в среднем одной секунде (для специалистов высокой квалификации), можно подсчитать время перфорации всей исходной информации разных графов для различных методов. Так как информация о графе, представленная сетевым множеством инцидентов, оптимальная по объему (количеству позиций перфокарты), то соответственно и время, затраченное на перенос ее на машинные носители, минимально. По сравнению с матричной информацией для графа, описываемого 430 ненулевыми элементами, время перфорации меньше в 14,8 раза.

Подготовленная исходная информация вводится в ЭВМ. В связи с низким быстродействием устройств ввода по сравнению с быстродействием процессора объем вводимой информации играет существенную роль при определении времени решения задачи, особенно при однопрограммном режиме работы ЭВМ. В зависимости от выбранного метода описания моделирующего графа объем информации различен, а значит, различно и время ее ввода. Если на ввод одной позиции используется 0,004 с машинного времени, то при описании, например, графа в 430 ненулевых элементов с помощью сетевых множеств затрачено времени также соответственно в 14,8 раза меньше, чем при матричном описании.

Суммируя результаты анализа, можно сказать, что на этапе подготовки информации о графе сетевые множества экономят время исследователя и оператора в 19,3 раза против затраченного времени при матричном методе и соответственно в 14,8 раза экономят машинное время при исследовании графа в 100 вершин и 207 ребер. Преимущества сетевых множеств значительно воз-

растают с ростом размеров исследуемых графов. Так, при исследовании графа, моделирующего авиасеть республики, матричное описание составило 40 млн. элементов, а с помощью метода сетевых множеств эта сеть была описана информацией в 4 тыс. раз меньших размеров. Это уменьшило затраты ручного труда в 6 тыс. раз, а машинное время на этапе ввода информации уменьшило в 4200 раз.

Таким образом, изложенный метод аналитического представления графов сетевыми множествами является более эффективным, чем матричный, и используется при машинном моделировании сложных сетевых систем.

Поступила в редколлегию 24.02.82.

УДК 519.7

Н. Б. ИВЧЕНКО

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУР ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ АСУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ В НИХ КОНТУРОВ

Одним из способов повышения эффективности функционирования локальных АСУ является проектирование их взаимодействия с внешней средой. Под внешней средой понимаются АСУ различных или одинаковых с данной системой управления масштабов функционирования. Взаимодействие АСУ определяется как их взаимосвязанное функционирование для достижения своих целей, осуществляемое на основе информационного обмена, отражающего функциональные связи между системами (объектами). Функциональные связи означают для вертикально связанных систем организационную соподчиненность, а для горизонтально связанных систем — обмен материальными ресурсами. В процессе взаимодействия АСУ получают и выдают информационные сообщения, называемые воздействиями.

Задача проектирования взаимодействия автоматизированных систем управления состоит в определении кто, кому, сколько, какую, когда и в каком виде передает информацию. Математическая постановка задачи проектирования взаимодействия АСУ приведена в [1] и заключается в построении информационно-логической структуры взаимодействия (ИЛСВ) $G(W^*)$, содержащей воздействия W^* с рациональными характеристиками: качественными R , пространственными P , количественными Q , временными T , совместимости E , определенными таким образом, чтобы максимизировать функционал

$$J = \max_{W^*} \sum_{S_i} \frac{\Theta_i(W_{ki}^*)}{C_i(W_{ki}^*, W_{ij}^*)}, \quad (1)$$

где S_i — локальная АСУ ($S_i \in S$, $i = \overline{1, i_0}$); Θ_i — эффективность взаимодействия АСУ S_i ; C_i — затраты на взаимодействие в АСУ S_i ; (W_{ki}^*, W_{ij}^*) — множества соответственно получаемых и выдаваемых воздействий АСУ S_i ($(W_{ki}^*, W_{ij}^*) \subset W^*$, $((k, j) = \overline{1, i_0}, k \neq i)$).

При решении сформулированной задачи возникают трудности (моделирования, вычислительные), обусловленные большой размерностью ее. Преодолеть эти трудности можно, декомпозируя на ряд локальных, последовательно решаемых задач. В основу декомпозиции положено следующее: результаты решения предыдущих задач используются при решении последующих, сужая в наименьшей степени область их допустимых решений, что способствует достижению глобального экстремума функционала (1). Выделяются локальные задачи: формирование исходных структур воздействий и определение в них контуров, минимизация количества АСУ, перерабатывающих информацию без ее внесения или использования, выбор рациональных объемов воздействий, рациональное распределение задач взаимодействия между АСУ, определение рационального уровня взаимодействия АСУ, вычисление рациональных сроков информационных обменов между АСУ, организация баз данных взаимодействующих АСУ, определение рациональной совместимости взаимодействующих АСУ.

Ниже рассматриваются математические модели формирования исходных структур воздействий и определения в них контуров.

В процессе функционирования АСУ решаются задачи, обусловленные функциями системы. Среди всего множества задач можно выделить класс задач, называемых задачами взаимодействия. Различают экзогенные (внешние) задачи взаимодействия, осуществляющие информационный обмен между АСУ, для которых входная и (или) выходная информация является полностью или частично внешней. Внешняя входная информация поступает из внешней среды, а внешняя выходная информация выдается во внешнюю среду. К задачам взаимодействия принадлежат также задачи, преобразующие и передающие воздействия внутри одной АСУ, но информационно связанные с экзогенными задачами. Назовем их эндогенными (внутренними). Задачи связаны между собой информационно в том случае, если результаты решения одной задачи используются другой задачей, а результаты решения этой задачи потребляются третьей задачей и т. д. Все эти задачи связаны между собой. Среди задач, связанных информационно, можно выделить задачи непосредственно связанные. Непосредственная информационная связь означает здесь, как и в [2], прямую передачу информации между задачами.

Формируемые исходные структуры воздействий представляют собой связанные ориентированные подграфы [3]:

$$G_n^{(1)} = (T^n, W^n), \quad n = \overline{1, l}, \quad (2)$$

вершинами которых являются задачи взаимодействия макроуровня из T^n , ($T^n \subset T$), а дугами — воздействия из W^n , принадлежащего множеству воздействий W , ($W^n \subset W$), которыми могут

обмениваться АСУ множества S . Задачи взаимодействия макроуровня Γ содержат в себе информационно связанные экзогенные и эндогенные задачи, являющиеся задачами взаимодействия микроуровня U , одной системы управления и представляют связанные ориентированные подграфы

$$\Gamma_i^{\mu_i} = (U_{\mu_i}, W_{\mu_i}); U_{\mu_i} \subset U, W_{\mu_i} \subset W; \mu_i = \overline{1, (\mu_i)_0}. \quad (3)$$

Рассматриваются задачи взаимодействия трех типов: $\Gamma = (A, B, D)$; $U = (X, Y, Z)$ (4), где $A = \{A_i^{\alpha_i}\}$; $X = \{X_i^{\varphi_i}\}$; $(\alpha_i = \overline{1, (\mu_i)_0}, \varphi_i = \overline{1, (\lambda_i)_0})$ — источники, выполняющие сбор, подготовку и передачу воздействий; $B = \{B_i^{\beta_i}\}$, $Y = \{Y_i^{\psi_i}\}$, $(\beta_i = \overline{1, (\mu_i)_0}, \psi_i = \overline{1, (\lambda_i)_0})$ — транзиты, перерабатывающие и передающие воздействия; $D = \{D_i^{\delta_i}\}$, $Z = \{Z_i^{\xi_i}\}$, $(\delta_i = \overline{1, (\mu_i)_0}, \xi_i = \overline{1, (\lambda_i)_0})$ — потребители, результаты решения которых не используются при решении других задач. Индекс i определяет АСУ S_i , $(i = \overline{1, i_0})$, а индексы $(\varphi_i, \psi_i, \xi_i, \alpha_i, \beta_i, \delta_i)$ характеризуют порядковые номера задач взаимодействия каждого типа: $\varphi_i \neq \psi_i \neq \xi_i$; $\alpha_i \neq \beta_i \neq \delta_i$.

Задача взаимодействия микроуровня в общем виде описывается выражением

$$U_i^{\lambda_i} = X_i^{\varphi_i} \vee Y_i^{\psi_i} \vee Z_i^{\xi_i}, \lambda_i = \overline{1, (\lambda_i)_0}, \quad (5)$$

где символ логического сложения « $\vee$ » указывает на то, что задача $U_i^{\lambda_i}$ может быть любого типа. Аналогично (5) можно представить задачу взаимодействия макроуровня $\Gamma_i^{\mu_i} = A_i^{\alpha_i} \vee B_i^{\beta_i} \vee D_i^{\delta_i}$ (6). Введем промежуточные обозначения: $(U^{\varphi})_i^{\lambda_i} = X_i^{\varphi_i} \vee Y_i^{\psi_i}$; $(U^{\psi})_i^{\lambda_i} = Y_i^{\psi_i} \vee Z_i^{\xi_i}$; $(\Gamma^{\alpha})_i^{\mu_i} = A_i^{\alpha_i} \vee B_i^{\beta_i}$; $(\Gamma^{\beta})_i^{\mu_i} = B_i^{\beta_i} \vee D_i^{\delta_i}$ (7). Тогда воздействие, которым обмениваются АСУ, например S_i и S_j , принимает вид

$$W_{ji}^{\Gamma^{\alpha_i} U^{\lambda_i}} \Gamma_{ji}^{\beta_j} U_{ji}^{\lambda_j}. \quad (8)$$

Выражение (8) указывает на то, что источниками воздействия являются задачи взаимодействия макроуровня типа A или B и микроуровня типа X или Y АСУ S_i , а потребителями — задачи взаимодействия макроуровня типа B или D и микроуровня типа Y или Z системы управления S_j .

Воздействие, вырабатываемое и используемое внутри одной АСУ, можно описать

$$W_{ii}^{\Gamma^{\alpha_i} U^{\lambda_i} U^{\lambda_i}}, \quad (9)$$

$$\nu_i = \overline{1, (\lambda_i)_0}, \nu_i \neq \lambda_i.$$

Как следует из определения, взаимодействие АСУ возможно лишь при наличии функциональных связей между системами. Поэтому формирование исходных структур воздействий необходимо начинать с анализа функциональных связей. Эти связи запишем в виде матрицы:

$$F = \|F_{ij}\|_{(s'_i, s'_j) \in S'} \quad (10)$$

$$(i, j) = \overline{1, I_0},$$

где $F_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если системы } S'_i \text{ и } S'_j \text{ функционально связаны,} \\ 0, & \text{если системы } S'_i \text{ и } S'_j \text{ функционально не связаны.} \end{cases}$

Здесь S' обозначает множество рассматриваемых систем. Матрица F определяется в результате обследования систем. Исследуя воздействия из W , удаляем из них те, для которых функциональные связи между системами S' отсутствуют.

Обычно при рассмотрении моделей информационных потоков используется матричное представление графов [3]. Однако применение матриц или сетевых множеств [4] для описания исходных структур воздействий и задач взаимодействия макроуровня вызывает дополнительные вычислительные трудности, связанные с тем, что построенные структуры необходимо рассматривать как в направлении от источников к потребителям, так и наоборот. Поэтому представим исходные структуры воздействий в следующем виде:

$$\begin{aligned} G_1^{(1)} = & \| (A_{ki}^{s_i}) \left(\bigwedge_{A_{ki}^{s_i} \cdot (\Gamma^{\gamma_i})^i} W_{ki}^{s_i} U_{ki}^{\gamma_i} \Gamma_{ki}^{\gamma_i} U_{ki}^{\gamma_i} \right), \\ & \left(\bigwedge_{(\Gamma^{\gamma_i})^i \cdot B_{ij}^{\delta_j}} W_{ki}^{s_i} U_{ki}^{\gamma_i} B_{ij}^{\delta_j} U_{ij}^{\delta_j} \right) (B_{ij}^{\delta_j}) \left(\bigwedge_{B_{ij}^{\delta_j} \cdot (\Gamma^{\gamma_j})^j} W_{ij}^{\delta_j} U_{ij}^{\delta_j} \Gamma_{ij}^{\gamma_j} U_{ij}^{\delta_j} \right), \\ & \left(\bigwedge_{(\Gamma^{\gamma_i})^i \cdot B_{ij}^{\delta_j}} W_{ij}^{\delta_j} U_{ij}^{\delta_j} B_{ij}^{\delta_j} U_{ij}^{\delta_j} \right) (D_{ij}^{\delta_j}) \| \quad (S_k, S_i, S_j) \in S \quad (11) \\ & (k, i, j) = \overline{1, I_0}, k \neq i \neq j, \end{aligned}$$

где Γ обозначает непосредственную информационную связь между задачами взаимодействия макроуровня АСУ, а под символом логического умножения « $\wedge$ » содержатся все задачи-источники или задачи-потребители воздействий, непосредственно связанные с рассматриваемой задачей.

Рассмотрим описание исходной структуры $G_1^{(1)}$ на примере, представленном на рис. 1.

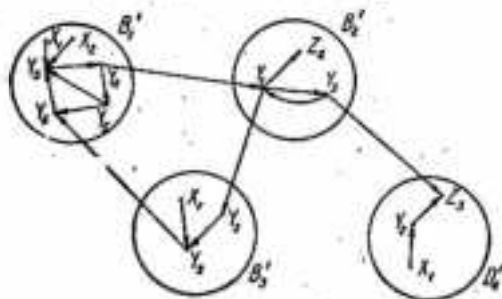


Рис. 4

$$G_1^{(1)} = [(\Psi_{31}^{B_1 Y_2, B_1 Y_2} (B_1^1) \Psi_{12}^{B_1 Y_2, B_1 Y_2}, \Psi_{12}^{B_1 Y_2, B_1 Y_2} (B_2^1) \Psi_{23}^{B_1 Y_2, B_1 Y_2}, \Psi_{24}^{B_1 Y_2, D_1 Z_3}, \Psi_{23}^{B_1 Y_2, B_1 Y_2} (B_3^1) \Psi_{31}^{B_1 Y_2, B_1 Y_2}, \Psi_{24}^{B_1 Y_2, D_1 Z_3} (D_4^1))]. \quad (12)$$

Таким образом, в (12) описаны все воздействия, передаваемые между АСУ:

Задачи взаимодействия макроуровня могут быть представлены аналогично (11), но их описание упрощается в связи с тем, что эти задачи содержат воздействия, передаваемые только внутри одной АСУ:

$$\Gamma_i^{u_i} = \{(\chi_{i1}) (\wedge U_{i1}), (\wedge U_{i2}) (Y_{i2}) (\wedge U_{i3}), (\wedge U_{i4}) (Z_{i4})\}. \quad (13)$$

$$X_{i1} \wedge U_{i1} \quad U_{i2} \wedge Y_{i2} \quad Y_{i3} \wedge U_{i3} \quad U_{i4} \wedge Z_{i4}$$

Здесь под символом логического умножения « $\wedge$ » содержатся задачи, непосредственно связанные с рассматриваемой задачей взаимодействия микроуровня.

Описание задач взаимодействия макроуровня, показанных на рис. 1, приведено в (14):

$$B_1^1 = \{(X_1) Y_2, (X_2) Y_3, X_1 X_2 Y_5 Y_6 (Y_3) Y_4, Y_3 (Y_4) Y_5, Y_4 (Y_5) Y_3 Y_6, Y_5 (Y_6) Y_3\};$$

$$B_2^1 = \{(Y_3 (Y_1) Z_2 Y_3, Y_1 (Z_2), Y_1 (Y_3) Y_1\}; \quad B_3^1 = \{(X_1) Y_2, (Y_2) Y_3, X_1 Y_2 (Y_3)\}; \quad D_4^1 = \{(X_1) Y_2, X_1 (Y_2) Z_3, Y_2 (Z_3)\}. \quad (14)$$

Необходимо отметить, что в АСУ S_i может содержаться несколько задач $\Gamma_i^{u_i}$, принадлежащих структуре $G_n^{(1)}$.

Исходные структуры воздействий и задачи взаимодействия макроуровня не должны содержать элементарных контуров. Здесь, как и в [4], элементарным контуром ориентированного

графа будем называть такой конечный путь, у которого все вершины различны, за исключением совпадающих начальной и конечной. Наличие элементарных контуров означает ошибки, допущенные при обследовании систем или при синтезе внутренних структур АСУ.

Основой определения элементарных контуров (в дальнейшем будем просто называть их контурами) является метод, приведенный в [4]. Однако в связи с множественным (11), (13), а не сетевым представлением графов предлагается модификация этого метода. Рассмотрим модель определения контуров в исходной структуре $G_n^{(1)}$ и задаче взаимодействия макроуровня Γ_i^{pi} .

Преобразуем выражение (11) к виду (15):

$$\begin{aligned} \theta_n^{(1)} = & [(A_k^{pk}) (\bigwedge_{A_k^{pk} \cdot (\Gamma_i^{pi})} (\Gamma_i^{pi}) (U_i^{li})); \\ & (\bigwedge_{(\Gamma_i^{pi}) \cdot B_i^{li}} (\Gamma_i^{pi}) (U_i^{li}) (B_i^{li}) (\bigwedge_{B_i^{li} \cdot (\Gamma_j^{pj})} (\Gamma_j^{pj}) (U_j^{lj})); \\ & (\bigwedge_{(\Gamma_j^{pj}) \cdot D_j^{lj}} (\Gamma_j^{pj}) (U_j^{lj}) (D_j^{lj}))]_{(s_k, s_i, s_j) \in S}; \\ & (k, i, j) = \overline{1, i_0}, k \neq i \neq j, n = \overline{1, n_0}. \end{aligned} \quad (15)$$

Как известно, контур ориентированного графа образуют только вершины, содержащие как исходящие, так и заходящие дуги. Поэтому при поиске контуров целесообразно анализировать в $\theta_n^{(1)}$ только задачи B_i^{li} , в Γ_i^{pi} — задачи микроуровня Y_i^{pi} , а также связанные с ними задачи-транзиты. Из $\theta_n^{(1)}$ выделим подмножество

$$\begin{aligned} \theta_{nB}^{(1)} = & [(\bigwedge_{B_k^{pk} \cdot B_i^{li}} B_k^{pk} Y_k^{pk}) (B_i^{li}) (\bigwedge_{B_i^{li} \cdot B_j^{lj}} B_j^{lj} Y_j^{lj})]_{(s_k, s_i, s_j) \in S}; \\ & \theta_{nB}^{(1)} \subset \theta_n^{(1)}, (k, i, j) = \overline{1, i_0}, k \neq i \neq j. \end{aligned} \quad (16)$$

А из Γ_i^{pi} выделим подмножество

$$\begin{aligned} \Gamma_{iY}^{pi} = & [(\bigwedge_{Y_{\tau i}^{pi} \cdot Y_{\psi i}^{pi}} Y_{\tau i}^{pi}) (Y_{\psi i}^{pi}) (\bigwedge_{Y_{\psi i}^{pi} \cdot Y_{\theta i}^{pi}} Y_{\theta i}^{pi})]; \\ & (\tau i, \psi i, \theta i) = \overline{1, i_0}. \end{aligned} \quad (17)$$

Вводя обозначения (18) — (20)

$$\begin{aligned} \overline{\theta_i^{li}} = & \bigwedge_{B_k^{pk} \cdot B_i^{li}} B_k^{pk} Y_k^{pk} \quad (18); \quad \overline{\theta_i^{pi}} = \bigwedge_{B_i^{li} \cdot B_j^{lj}} B_j^{lj} Y_j^{lj}; \quad (19) \end{aligned}$$

$\theta_i^{(1)} = \theta_i^{(1)}(B_i^{(1)}) \bar{\theta}_i^{(1)} \quad (20)$, запишем $\theta_{\alpha\beta}^{(1)}$ выражением (21):

$$\theta_{\alpha\beta}^{(1)} = \{\theta_i^{(1)}\}_{s_i \in S}; \quad (21)$$

$$i = \overline{1, i_0}.$$

Обозначим Ω_{ψ_i} и $\bar{\Omega}_{\psi_i}$ соответственно подмножества задач-источников $(\bigwedge Y_{\psi_i})$ и задач-потребителей $(\bigwedge Y_{\psi_i})$ рассмотренной в $Y_{\psi_i}^{(1)} \cup Y_{\psi_i}$ (17) задачи Y_{ψ_i} системы управления S_i . Тогда выделенное из $\Gamma_i^{(1)}$ подмножество $\Gamma_{iY}^{(1)}$, содержащее только описания задач типа Y , можно представить следующим образом:

$$\Gamma_{iY}^{(1)} = \{\Omega_{\psi_i}\} \quad (22); \quad i = \overline{1, i_0}, \quad \psi_i = \overline{1, (\mu_i)}; \quad \text{где}$$

$$\Omega_{\psi_i} = \Omega_{\psi_i}(Y_{\psi_i}) \bar{\Omega}_{\psi_i}. \quad (23)$$

Подмножества (21), (22) определяют пути длиной в одну и две дуги, связывающие вершины графа друг с другом. При наличии контуров эти подмножества содержат в себе сведения о контурах длиной в одну дугу ($\rho = 1$) и длиной в две дуги ($\rho = 2$). Если $\theta_{\alpha\beta}^{(1)}$ имеет контур в одну дугу, т. е. петлю, то совпадает номер описанной задачи $B_i^{(1)}$ с номерами задачи-источника $B_k^{(1)}$ и задачи-потребителя $B_j^{(1)}$: $\beta_k = \beta_i = \beta_j$; при совпадении номеров АСУ $k = i = j$. Аналогично при наличии петли в $\Gamma_{iY}^{(1)}$ номер задачи $Y_i^{(1)}$ совпадает с номерами задач $Y_i^{(1)}$ и $Y_i^{(1)}$: $\gamma_i = \psi_i = \theta_i$.

В случае существования контура длиной в две дуги в $\theta_{\alpha\beta}^{(1)}$ совпадают номера АСУ ($k = j$) и номера ($\beta_k = \beta_j$) задач $B_k^{(1)}, B_j^{(1)}$,

а о содержании такого контура в $\Gamma_{iY}^{(1)}$ свидетельствует совпадение номеров ($\gamma_i = \theta_i$) задач Y_{ψ_i} и Y_{ψ_i} АСУ S_i . Контур графа длиной в три и более дуг ($\rho > 3$) можно определить, возводя подмножества $\bar{\theta}_i^{(1)}$ и $\bar{\Omega}_{\psi_i}$ во вторую и более высокие степени. Операция возведения подмножеств в степень η , ($\eta = \overline{2, (m-1)}$), сводится к умножению этих подмножеств в степенях 1 и $(\eta - 1)$:

$$(\bar{\theta}_i^{(1)})^\eta = \bar{\theta}_i^{(1)} \times (\bar{\theta}_i^{(1)})^{\eta-1} \quad (24); \quad (\bar{\Omega}_{\psi_i})^\eta = \bar{\Omega}_{\psi_i} \times (\bar{\Omega}_{\psi_i})^{\eta-1}. \quad (25)$$

Значение η не превышает $(m-1)$, где m — общее количество задач взаимодействия в $\theta_{\alpha\beta}^{(1)}$ или $\Gamma_{iY}^{(1)}$. Наличие в подмножестве $(\bar{\theta}_i^{(1)})^\eta$ элемента $B_k^{(1)}$ из подмножества $\bar{\theta}_i^{(1)}$ указывает на сущест-

вание контура, проходящего через вершину $V_i^{(t)}$, длиной в $(\eta + 1)$ дуг. Аналогично наличие в подмножестве $(\bar{V}_{\eta})^1$ элемента Y_{η} из Ω_{η} означает содержание контура, проходящего через вершину $Y_i^{(t)}$ длиной в $(\eta + 1)$ дуг. Если в $(\bar{V}_{\eta})^1$ или в $(\bar{\Omega}_{\eta})^1$ содержится d элементов соответственно подмножеств $\bar{V}_i^{(t)}$ или $\bar{\Omega}_{\eta}$, то граф имеет d различных контуров. После определения контуров из $\bar{V}_i^{(t)}$ или $\bar{\Omega}_{\eta}$ удаляется информация о контурах и неэлементарных путях.

Блок-схема алгоритма определения контуров в графах, описанных выражениями (21), и (22), представлена на рис. 2. По этому алгоритму вначале определяются контуры в каждой задаче взаимодействия макроуровня $\Gamma_i^{(t)}$, а затем — в исходной структуре $\bar{G}_n^{(1)}$. Однако рассмотренный на рис. 2 алгоритм дает возможность

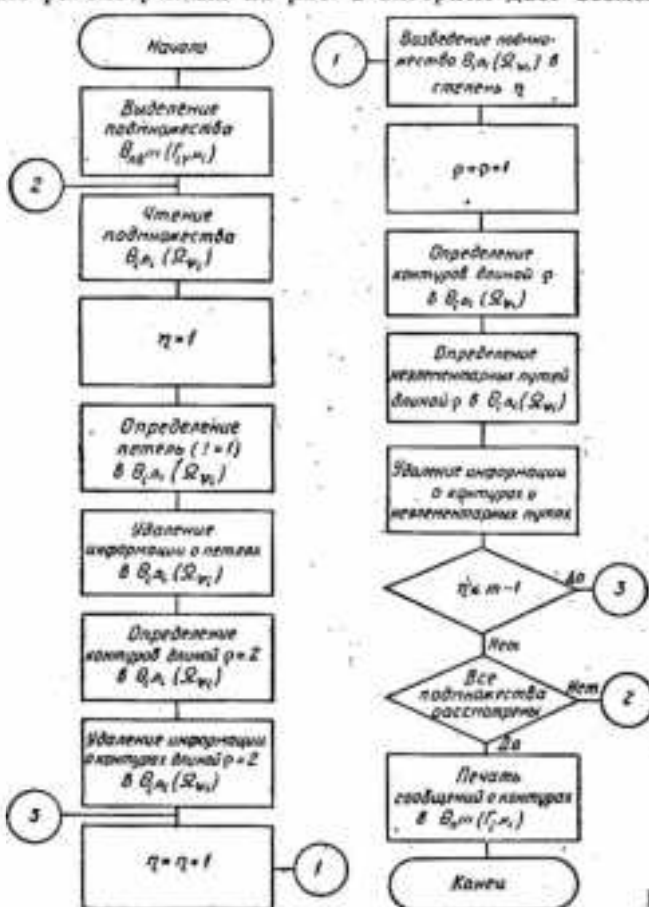


Рис. 2

лишь предположить существование в $G_n^{(1)}$ контуров. Подтверждением наличия контура в структуре является путь, связывающий две экзогенные задачи (начальную Y_i^{1i} и конечную Y_i^{2i}), принадлежащие задаче макроуровня B_i^{0i} , через которую предполагается, прохождение контура. Для определения пути подмножество $\bar{B}_i^{0i}$ возводится в степень η ($\eta \leq m$) до тех пор, пока оно не будет содержать заданную экзогенную задачу Y_i^{0i} или не станет пустым.

Найдем контуры исходной структуры $G_1^{(1)}$, описанной выражением (12). Согласно модели начинаем определять контуры в задачах взаимодействия макроуровня B_1^1 , B_2^1 , B_3^1 и D_4^1 . Выделяем в них подмножества, содержащие только описания задач-транзитов:

$$B_{1Y}^1 = \{Y_5 Y_6 (Y_3) Y_4, Y_3 (Y_4) Y_5, Y_4 (Y_5) Y_3 Y_6, Y_5 (Y_6) Y_3\};$$

$$B_{2Y}^1 = \{Y_3 (Y_1) Y_2, Y_1 (Y_3) Y_2\}; \quad B_{3Y}^1 = \{(Y_2) Y_3, Y_2 (Y_3)\};$$

$$B_{4Y}^1 = \{\emptyset\}. \quad (26)$$

Анализируя B_{2Y}^1 , находим контур длиной в две дуги, проходящий через вершины Y_2^1 и Y_3^1 . В остальных задачах макроуровня нет контуров длиной в одну или две дуги. Контуры, содержащие более двух дуг, могут быть только в B_{1Y}^1 . Поэтому возводим B_{1Y}^1 во вторую степень:

$$\{B_{1Y}^1\}^2 = \{Y_5 Y_6 (Y_3) Y_5, Y_3 (Y_4) Y_3 Y_6, Y_4 (Y_5) Y_4 Y_3, Y_5 (Y_6) Y_4\}. \quad (27)$$

Совпадение номеров задач свидетельствует о контуре, проходящем через вершины Y_3^1 , Y_4^1 и Y_5^1 . Удалив информацию об этом контуре, получим уточненное выражение: $\{B_{1Y}^1\}_{Y_3}^2 = \{Y_6 (Y_3) Y_5, Y_3 (Y_4) Y_5, Y_4 (Y_5) Y_3, Y_5 (Y_6) Y_4\}$ (28). Так как общее количество вершин в этом графе равно 4, то необходимо рассмотреть $\{B_{1Y}^1\}' = \{Y_5 Y_6 (Y_3) Y_6, Y_3 (Y_4) Y_3, Y_4 (Y_5) Y_5 Y_4, Y_5 (Y_6) Y_5\}$ (29). Сравнивая номера задач, находим контур, проходящий через вершины Y_3^1 , Y_4^1 , Y_5^1 , Y_6^1 .

Теперь переходим к поиску контуров непосредственно в $G_1^{(1)}$. Преобразуем $G_1^{(1)}$ к виду

$$\theta_1^{(1)} = [B_1^1 Y_3^1 (B_1^1) B_2^1 Y_2^1, B_1^1 Y_4^1 (B_2^1) (B_3^1 Y_3^1, D_4^1 Z_4^1);$$

$$B_2^1 Y_2^1 (B_3^1) B_1^1 Y_1^1, B_2^1 Y_2^1 (D_4^1)]. \quad (30)$$

Выделим подмножество

$$\theta_{1B}^{(1)} = \{B_3^1 Y_3^2 (B_1^1) B_2^1 Y_2^1, B_1^1 Y_4^1 (B_2^1) B_3^1 Y_3^2, B_2^1 Y_2^1 (B_3^1) B_1^1 Y_4^1\}. \quad (31)$$

$\theta_{1B}^{(1)}$ не содержит контуров длиной в одну и две дуги. Возводим $\theta_{1B}^{(1)}$ во вторую степень: $(\theta_{1B}^{(1)})^2 = \{B_3^1 Y_3^2 (B_1^1) B_2^1 Y_2^1, B_1^1 Y_4^1 (B_2^1) B_3^1 Y_3^2, B_2^1 Y_2^1 (B_3^1) B_1^1 Y_4^1\}^2$ (32). Выражение (32) дает возможность предположить, что через вершины B_1^1 , B_2^1 и B_3^1 проходит контур, если есть пути, связывающие попарно задачи Y_3^2 и Y_2^1 , Y_1^4 и Y_3^2 . Проверяем все пути, начальными вершинами которых являются Y_3^2 и Y_1^4 . Подмножества $B_3^1 Y$ и $(B_1^1 Y)^2$ указывают соответственно на связь задач Y_3^2 и Y_2^1 , Y_1^4 и Y_3^2 . Это подтверждает наличие контура длиной в три дуги в $G^{(1)}$.

По рассмотренным математическим моделям составлены алгоритмы и программы, реализованные на языке программирования ПЛ/1 ОС, позволяющие сформировать исходные структуры воздействий и найти в них контуры.

Список литературы: 1. Петров Э. Г., Иеченко Н. Б. Постановка задачи проектирования взаимодействия АСУ и пути ее решения.— Депон. ВИНТИ, 1982, № 4027.— 13 с. 2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем.— М.: Наука, 1978.— 399 с. 3. Исследование операций. В 2-х т. / Под ред. Дж. Моудера, С. Эльмаграби.— М.: Мир, 1981. Т.1.— 712 с. 4. Волколупова Р. Т. Алгоритмы определения элементарных циклов и контуров моделирующих графов.— АСУ и приборы автоматики, 1974, вып. 31, с. 82—89.

Поступила в редакцию 24.02.82.

УДК 621.395

Э. Г. ПЕТРОВ, канд. техн. наук, Е. А. ТЫРИЧЕВА

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КТС РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ ВЦ

Рассматривается задача выбора характеристик сети ЛЦ-мощностей центров и пропускных способностей каналов связи между ними, минимально необходимых для своевременного решения комплекса регулярных информационно связанных задач АСУ с заданными директивно сроками обслуживания на сети.

Актуальность постановки и решения такой задачи обусловлена тем, что на этапе так называемой «динамической» оптимизации сети проектные решения принимаются на основе более точных, чем на этапе первоначального, эскизного проектирования характеристик задач, решаемых на сети. Традиционным подходом к решению задачи определения производительности КТС сети является подход, основанный на интерпретации сети как системы массового обслуживания [1 и др.]. Однако этот

подход не исчерпывает возможных ситуаций, возникающих при работе сети. Так, с развитием АСУ оказалось, что в общем потоке решаемых задач велик вес регулярных информационно-связанных задач. Поэтому при оптимизации параметров вычислительных сетей на стадиях проектирования и оперативного управления необходимо использовать математические модели, учитывающие эти особенности, что не исключает применения хорошо развитых моделей теории массового обслуживания, а дополняет их [2].

Постановка задачи. Проектируется сеть, включающая N ВЦ соединенных L каналами связи (КС). Заданы местоположение ВЦ и топология КС. За каждым i -м ВЦ закреплено для обработки множество задач $Z_i = \{z_{si}\}$, $i = \overline{1, N}$, $s = \overline{1, n_i}$, где s — номер, а n_i — общее количество задач, распределенных для решения на i -й ВЦ. Заданы характеристики каждой задачи z_{si} — трудоемкость решения, период циклического решения, директивные сроки возможного начала и требуемого окончания обслуживания на сети.

Множество $Z = \bigcup_{i=1}^N Z_i$ представляет комплекс регулярных ин-

формационно-связанных задач с заданными директивно сроками решения и может быть изображено в виде графа $G(Z, \Gamma)$, где Γ — отображение $Z \rightarrow Z$ по информационным связям.

Требуется определить такие значения мощностей ВЦ W_i , $i = \overline{1, N}$, и пропускных способностей КС λ_l , $l = \overline{1, L}$, которые доставляют минимум функционалу

$$C = \sum_{i=1}^N C_1(W_i) + \sum_{l=1}^L C_2(\lambda_l),$$

где $C_1(W_i)$ — приведенные затраты на создание i -го ВЦ, $i = \overline{1, N}$; $C_2(\lambda_l)$ — приведенные затраты на создание l -го КС, $l = \overline{1, L}$. При этом должны выполняться условия своевременности решения задач множества Z .

Определение искомым W_i , $i = \overline{1, N}$, λ_l , $l = \overline{1, L}$ проведено в два этапа. На первом этапе: 1) для каждой задачи множества Z и задач обмена определяются допустимые сроки решения t^* и t^* с учетом информационной связи между задачами и задания директивных сроков решения для некоторых z_{si} из Z ; 2) определяется удельная нагрузка, создаваемая на интервале планирования каждой задачей из Z и задачами обмена. При этом исходим из принципа равномерного распределения нагрузки отдельной задачи в пределах допустимого интервала решения

$$\alpha(t) = \begin{cases} \frac{u}{t^n - t^m}, & t^m < t < t^n, \\ 0, & t^n > t, t > t^m, \end{cases}$$

где $\alpha(t)$ — функция удельной нагрузки, создаваемой в точке t интервала планирования при решении задачи из Z или задачи обмена; u — трудоемкость решения задачи из Z или объем информации, передаваемой при обмене.

Очевидно, что $\alpha(t)$ — кусочно-постоянная функция, значение которой на интервале планирования равно минимально необходимой мощности ВЦ (КС), т. е. требуемой для решения (обмена) при минимальных приведенных затратах на создание КТС сети с учетом допустимых сроков решения рассматриваемой задачи из Z или задачи обмена информацией.

Одной из особенностей распределения нагрузки, создаваемой регулярными задачами, является необходимость учета многократного решения каждой z^* на интервале календарного планирования [3]; 3) для каждого ВЦ (КС) на интервале планирования $[0, T]$ строится исходное суммарное распределение загрузки.

Суммарную загрузку можно представить как некоторую кусочно-постоянную ступенчатую функцию. $A(t)$, $A(t^0) = A^0$, где A^0 — суммарное значение загрузки ВЦ (КС) в точке $t^0 \in [0, T]$, полученное в процессе исходного распределения. При этом $A^0 = \sum \alpha(t^0)$, где суммирование ведется по всем $\alpha(t)$, не равным нулю в точке t^0 , для всех задач, распределенных на данный ВЦ (КС).

Эпюра суммарной производительности ВЦ (КС) отражает неравномерность загрузки ВЦ (КС) в течение планового периода. Значения

$$W_i^0 = \max_{t \in [0, T]} W_i^0(t), \quad i = \overline{1, N}; \quad \lambda_i^0 = \max_{t \in [0, T]} \lambda_i^0(t), \quad i = \overline{1, L},$$

являются эквивалентами искомым W_i и λ_i , обеспечивающих своевременное решение всех z_i из Z , но, как правило, значения W_i^0 и λ_i^0 больше оптимальных. В связи с этим на втором этапе решается задача перераспределения нагрузки на соседние временные интервалы, что позволяет снизить уровни загрузки на пиковых интервалах и приблизить их значения к оптимальным. Перераспределение нагрузки должно производиться без нарушения требований своевременного решения задач из Z .

Определение допустимых сроков решения задач из Z и задач обмена, составляющих различные структуры взаимосвязей, подробно описано в работе [4]. Показано, что нахождение границ интервала $[t^m, t^n]$ для каждой задачи из Z^* равносильно нахождению для каждой из задач минимально необходимой мощности

ВЦ или КС, требуемой на интервале планирования для данной задачи, т. е. является оптимизационной проблемой, решение которой было проведено методом множителей Лагранжа [5] (через Z^* обозначено множество задач, объединяющее множество Z и задачи обмена).

В основу решения задачи перераспределения загрузки ВЦ (КС) положен эвристический итеративный алгоритм, функционирующий по принципу оптимального в смысле минимума C перераспределения интервалов времени между операциями обработки задач на ВЦ сети и операциями обмена информацией по КС. При работе алгоритма также задействован математический аппарат множителей Лагранжа. Таким образом, при решении проблемы как на первом, так и на втором этапе использована единая методология, опирающаяся на один и тот же математический аппарат.

Описание работы алгоритма перераспределения загрузки ВЦ (КС): $n0$ — начать; $n1$ — $I := 0$, $K(I) := 0$, $\varepsilon := \varepsilon_1$; $n2$ — $j := 1$; $n3$ — $A_j(I) := \max_{t \in [0, T]} A_j^I(t)$; $n4$ — вычислить фактическое время $\Delta\tau$

решения каждой задачи z , распределенной для обработки на j -й вычислитель мощности $A_j(I)$; $\Delta\tau = U/A_j(I)$; $n5$ — составить расписание работы j -го вычислителя (см. ниже примечание 1); $n6$ — из множества всех взаимосвязанных подмножеств задач из Z^* выбрать те, которые содержат хотя бы одну, распределенную на j -й вычислитель. Пусть число таких подмножеств равно p , $p = \overline{1, p_1}$, где p_1 — общее число задач, распределенных на j -й вычислитель; $n7$ — $k := 1$; $n8$ — для каждой задачи k -го подмножества определить новые допустимые интервалы решения $[t^*, t^*]$ с учетом того, что известно фактическое время решения задач, распределенных на j -й вычислитель; $n9$ — $k := k + 1$; $n10$ — $k < p$, если «да» — переход на $n8$, иначе — на $n11$; $n11$ — $j := j + 1$; $n12$ — $j < M$ ($M = N + L$ — общее число вычислителей в сети), если «да» — переход на $n3$, иначе — на $n13$; $n13$ — вычислить

$$C(I) = \sum_{i=1}^N C_1(W_i(I)) + \sum_{l=1}^L C_2(\lambda_l(I));$$

$n14$ — вычислить

$$W_i(I+1) = \max_{t \in [0, T]} W_i^I(t), \quad i = \overline{1, N};$$

$$\lambda_l(I+1) = \max_{t \in [0, T]} \lambda_l^I(t), \quad l = \overline{1, L};$$

$n15$ — вычислить

$$C(I+1) = \sum_{i=1}^N C_1(W_i(I+1)) + \sum_{l=1}^L C_2(\lambda_l(I+1));$$

п16 — вычислить $K(I+1) = |C(I+1) - C(I)|$; п17 — $|K(I+1) - K(I)| \leq \varepsilon_1$, если «да» — переход на п18, иначе — на п2; п18 — закончить.

В результате работы алгоритма перераспределения получены приближенные значения мощностей всех вычислителей сети (под вычислителем понимаем ВЦ или КС): $W_i = W_i(I+1)$, $i = \overline{1, N}$, $\lambda_i = \lambda_i(I+1)$, $i = \overline{1, L}$, I — вариант перераспределения, $I = 1, 2, \dots$

Примечание 1. При составлении расписания работы вычислителя в п5 алгоритма руководствуемся следующими правилами [3]. Первой в расписание ставится задача, имеющая наименьший допустимый начальный срок. Если таких задач несколько, то из них выбирается задача с наибольшим допустимым конечным сроком решения, которая должна решаться ранее других в силу информационной связности задач множества Z^* .

Примечание 2. Фоновые задачи при работе алгоритма не рассматриваем.

Примечание 3. Если задача независима, но имеет директивные сроки решения, нагрузку, создаваемую такой задачей, распределяем равномерно внутри директивного интервала решения.

Работа алгоритма заканчивается, как только изменение стоимости сети на предыдущем цикле достигнет по сравнению с текущим циклом требуемой величины малости, задаваемой априори ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2$).

Разработанные алгоритмы легко интерпретируются для задач развития сетей, когда часть параметров сети — мощности ВЦ или пропускные способности КС — задана.

Список литературы: 1. Л. Клейнрок. Вычислительные системы с очередями. — М.: Мир, 1979. — 600 с. 2. Основы построения больших информационно-вычислительных сетей / Под общ. ред. Д. Г. Живерина и В. И. Максимова. — М.: Статистика, 1976. — 296 с. 3. Денищук Н. Ф. Исследование и разработка машинных методов планирования вычислительного процесса для регулярных задач АСУ: Дис. ... канд. техн. наук. — Х., 1979. — 202 с. 4. Петров Э. Г., Гырчова Е. А. Планирование решения множества информационно-связанных задач на сети ВЦ. — Депон. ВИНТИ, 1982, № 4107. — 20 с. 5. Зайченко Ю. П. Исследование операций. — К.: Вища школа. Головное изд-во, 1979. — 392 с.

Поступила в редколлегию 24.02.82.

С. Н. ГРИША, канд. техн. наук,
А. А. ГАЛЯПА, А. И. МОСКАЛЕНКО

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

На определенном этапе развития промышленности произошло функциональное разделение управленческого труда, которое затем развивалось, приобретая современные формы. Такая дифференциация повлияла на организацию исследований и разработки АСУП. В частности, это проявилось в подсистемном построении систем управления.

Между тем управленческая дифференциация обусловлена необходимостью преодолеть информационный барьер, вызванный усложнением производства, с одной стороны, и ограниченными информационными возможностями человека, с другой. Однако уже первые опыты внедрения АСУП показали сравнительную неэффективность внедрения традиционно сложившихся задач. Позднее выяснилось, что внедрение «новых задач», в том числе оптимизационных, в рамках традиционной организации весьма затруднительно. Намевившийся конфликт становился тем более очевидным, чем мощнее становились ЭВМ и совершеннее — средства их связи с человеком. Противоречие между возросшими возможностями современных ЭВМ и узкими рамками традиционных функциональных подсистем многие исследователи в нашей стране [1] и за рубежом [2] объясняют недостаточной эффективностью АСУП.

Сейчас есть все основания утверждать, что в поисках путей повышения эффективности управления производством успешно развивается тенденция интеграции при разработке отдельных средств обеспечения и при общем проектировании системы управления.

Методы интегрированного построения систем стали развиваться сравнительно недавно, но уже имеется ряд результатов [3—5]. В наиболее завершенной форме указанные методы нашли свое воплощение в рамках так называемого нормативно-алгоритмического подхода [3]. Одним из основополагающих этапов построения нормативной алгоритмической модели является определение архитектуры системы. При ее проектировании важно обеспечить нормативность. Отдельные стороны этой проблемы затронуты в [4, 5]. Однако общим для этих работ является использование задачи в качестве элементарного конструктивного элемента, что снижает эффективность построений, так как задачи ставятся вне нормативной алгоритмической модели, которая затем из них конструируется. Таким образом,

удается решать лишь некоторые задачи анализа [4], например, изучение информационной взаимосвязанности задач. Возможна постановка задач разбиения системы на функционально-целевые комплексы. Проблему формализованного синтеза нормативно-алгоритмической модели из задач практически решить невозможно, так как задачи в традиционной ненормативной постановке не являются атомарным звеном системы.

В статье предлагается использовать в качестве конструктивного элемента при построении архитектуры системы некую информационную единицу. При выборе учитывалось требование синтаксической простоты, семантической (отражение смысла, а не структуры данных), универсальности для взаимодействия со средой информационного и программного обеспечения. В качестве основы при выборе взята реляционная технология описания данных. При этом домены [6] разбиваются на два класса: домены объектов и характеристик. Под объектом понимается некоторый класс понятий, которым могут быть даны постоянные идентификаторы и которые описываются одинаковым набором характеристик. Например, изделия, полуфабрикаты, операции, плановые периоды, потребители, поставщики и т. д.

Характеристикой называется числовая величина, определяющая некоторый аспект существования объекта или отношения объектов. Например: норма расхода, производственная программа, потребность в ресурсе для выполнения производственной программы и т. д. Следует отметить, что характеристика приобретает конкретный смысл, будучи присоединенной к определяемому ею отношению. Объектом можно считать одноместное отношение.

Отношением называется кортеж, составленный из объектов. Некоторое отношение вводится в систему, если есть, по крайней мере, одна характеристика, которая определяет отношение и представляет интерес для целей проектирования системы.

Параметром называется совокупность отношения и одной из определяющих его характеристик. Пространство параметров представляет собой множество состояний управляемой системы, контролируемых управляющей системой. Очевидно, что параметр является отношением в четвертой нормальной форме [6], поэтому никаких ограничений на структуру описываемых данных нет.

С другой стороны, параметр является многоиндексным массивом. Этот факт существенно упрощает описание взаимосвязи параметров и может быть использован для уменьшения алгоритмического многообразия преобразований параметров. Действительно, анализ некоторых действующих систем показал, что количество алгоритмических блоков, необходимых для описания взаимосвязи параметров, поддерживаемых этими системами, значительно меньше числа наличных программных модулей.

При этом многие программы реализуют практически одинаковые алгоритмические структуры с точностью до числа и наименования объектов и характеристик. В ходе описываемых исследований удалось выделить эффективный набор модулей-преобразователей, покрывающий до 80 % потребностей. Часть этих модулей реализована и успешно функционирует.

Модулем-преобразователем назовем алгоритм преобразования абстрактных структур данных типа параметр. То есть алгоритм инвариантен к структуре параметров: числу и наименованиям объектов, наименованию характеристик.

Различают два типа преобразователей: однозначные и множественные. Первые получают единственное значение характеристики. Вторые связывают различные характеристики в системы неравенств. Возможные критерии оптимизации включаются в систему неравенств. Их выбор на этапе проектирования архитектуры системы представляется нецелесообразным.

Предложенная система конструктивных элементов позволяет предложить следующий двухэтапный макроалгоритм:

Этап 1. Строится конструктивное архитектурное многообразие. Для этого образуется множество параметров и описываются их взаимосвязи. Отбор объектов, отношений и характеристик осуществляется исходя из поставленных перед системой целей. Целесообразно не пропускать ни одного параметра, так или иначе влияющего на достижение этих целей. Анализ и отбор начинается сверху, т. е. от вторичных параметров, которые уже не используются для получения других параметров. Возможно множественное описание взаимосвязей, показывающих различные пути получения одних и тех же параметров.

Оцениваются размерность многообразия и его элементов, необходимая для оценки стоимости преобразований и поддержания первичных данных, абсолютная и относительная полезность отдельных элементов многообразия, а также ожидаемая частота обращения к ним. Абсолютная полезность показывает средние потери от того, что параметр не может быть представлен лицу, принимающему решения для разбора технико-экономической ситуации. При этом никаких других параметров, которые могли бы заменить данный, в системе не имеется. Относительная эффективность параметра показывает относительные потери при наличии параметров-замен. Таким образом, суммарная полезность системы не равна сумме полезностей ее элементов.

Этап 2. Осуществляется диалоговая процедура выбора конкретного варианта архитектуры системы управления. Содержание диалога определяется составом элементарных задач конструирования, перечень которых привести в рамках данной публикации не представляется возможным.

В процессе диалога устраняется избыточность путей преобразования параметров, частота и полезность использования которых не оправдывают затраты на их поддержание.

Окончательная проверка выбранного варианта осуществляется путем проведения серии деловых игр, в результате которых оценивается реакция системы на различные типовые технико-экономические ситуации. В ходе проверки возможно усовершенствование выбранного варианта или образование очередного многообразия с повторением этапа 2.

В первой очереди описанной системы реализована часть модулей-преобразователей, которые функционируют в составе системы многовариантного планирования МОПП. Система поддержания описания архитектуры находится на стадии рабочего проектирования и будет первоначально использоваться для управления модулями-преобразователями и поддержания внешней схемы базы данных. Диалоговые процедуры выбора варианта архитектуры системы управления войдут в состав второй очереди.

Список литературы: 1. Автоматизированные системы управления предприятиями и объединением / Под ред. А. С. Терещенко.— К.: Техника, 1978.— 230 с. 2. Кантер Дж. Управленческие информационные системы.— М.: Радио и связь 1982.— 207 с. 3. Скурихин В. И. О нормативно-алгоритмическом подходе к построению АСУ.— Управляющие системы и машины, 1974, № 4, с. 7—13. 4. Алиев Т. М., Алиев Р. А., Халдей З. В. Автоматизация информационных процессов в интегрированных АСУ промышленными предприятиями.— М.: Энергоиздат, 1981.— 144 с. 5. Дудорин В. И., Лыкова Л. Н., Сиротин А. В. Моделирование структур АСУ на ЭВМ.— М.: Финансы и статистика, 1982.— 168 с. 6. Дейт К. Введение в системы баз данных.— М.: Наука, 1980.— 460 с.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

УДК 519.81.2

С. С. ЖЕВНОВАК

О СРАВНЕНИИ МНОГОМЕРНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ В ДИАЛОГОВЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

В статье анализируются некоторые результаты исследований диалоговых процессов принятия плановых решений и рассматриваются вопросы применения в этих процессах некоторых интерактивных процедур сравнения многомерных альтернатив.

Психологические исследования процессов принятия решений показали, что задачи планирования имеют открытый характер и роль фактора, регулирующего качество решения, играет уровень притязаний, под которым понимается некоторая область в пространстве критериев, соответствующая устремлениям лица, принимающего решения (ЛПР) [1].

Задача планирования может быть представлена следующей моделью: $\langle X, K, D, U \rangle$, (1), где X — множество переменных задачи планирования; K — множество критериев или показателей, характеризующих конкретное решение задачи планирования $K = F(X)$;

D — область определения задачи планирования; U — уровень притязаний ЛПР.

Область определения задачи представляет собой нечеткое подмножество $\mu_D: X \rightarrow [0, 1]$. Предполагается, что для каждой переменной x_i построена ее функция принадлежности μ_{D_i} области желаемых значений.

Уровень притязаний ЛПР определяется нечетким подмножеством $\mu_u: K \rightarrow [0, 1]$. Предполагается, что для каждого критерия k_i построена его функция принадлежности μ_{u_i} области желаемых значений.

Решение задачи планирования состоит в определении на нечетком множестве D значений переменных X , наиболее удовлетворяющих текущему уровню притязаний U .

Спыт использования диалоговой системы ДИУСАРП, базирующейся на модели [1], одним из разработчиков которой являлся автор, показал, что процесс принятия плановых решений является итеративным и представляет собой сложную комбинацию следующих основных этапов: этап анализа текущей плановой альтернативы; продуктивный этап генерирования новой плановой альтернативы; этап выбора наиболее приемлемой плановой альтернативы.

На этапе анализа текущей плановой альтернативы ЛПР выполняет следующие действия: сравнение текущего варианта с уровнем притязаний; уточнение модельных представлений; уточнение уровня притязаний; уточнение текущих предпочтений; занесение текущего варианта (если напряжение притязания приемлемо) в набор плановых альтернатив.

Этап генерации плановых альтернатив является наиболее творческим, во многом определяется индивидуальными особенностями ЛПР.

Выбор лучшего варианта из набора плановых альтернатив является наиболее ответственным и, как правило, завершающим этапом.

Сравнение плановых альтернатив, имеющее место на различных этапах, преследует различные цели и отличается степенью детализации показателей альтернатив.

В результате сравнения текущего варианта с уровнем притязаний ЛПР определяет «слабые стороны» текущего варианта и принимает решение о занесении данного варианта в набор плановых альтернатив. Последняя задача может трактоваться как задача отнесения некоторой альтернативы к определенному классу. В самом деле предполагается, что альтернатива заносится в набор альтернатив если напряжение притязания, вызываемое ею, «терпимо», т. е. он может быть отнесен к классу приемлемых альтернатив. Как показали психологические исследования, ЛПР успешно справляется с такого рода задачами, применяя стратегию исключения [2].

ЛПР сравнивает значения показателей с уровнем притязаний и в случае существенного напряжения притязания альтернатива

признается неприемлемой и не включается в набор альтернатив. Причем сравнение может производиться по каждому показателю отдельно либо по их совокупности, по основным и вспомогательным. Для обеспечения осуществления ЛПР достаточно сложной политики на сочетании оценок показателей необходимо лишь предоставление ему требуемой информации в форме, естественно допускающей реализацию различных подстратегий исключения. Это обеспечивается одновременным отображением на экран терминала текущих значений интересующих ЛПР показателей и уровня притязаний по этим показателям. Последнее требует некоторых уточнений. Очевидно, что качество любого критерия может быть определено вербально. Предполагается, что для каждого ЛПР эмпирическая система вербальных оценок качества V_j постоянна и каким-либо известным методом (напр. [3, 4]) осуществлено шкалирование вербальных оценок в диапазоне $[0, 1]$, т. е. имеет место $\varphi_j: V \rightarrow [0, 1]$. Тогда каждой вербальной оценке v_j^i некоторого j -го критерия может быть поставлена в соответствие определенная точка $\varphi_j(v_j^i)$ интервала $[0, 1]$, а значит, и некоторое множество значений критерия $K_j^i = \mu_j^{-1}(\varphi_j(v_j^i))$. Назовем элементы K_j^i опорными значениями вербальной оценки v_j^i . Если μ_j инъективно, то K_j^i содержит единственный элемент. Очевидно, что уточнение уровня притязаний по какому-либо критерию будет проявляться в изменении опорных значений этого критерия. Таким образом, говоря об отображении на экране видеотерминала уровня притязаний по какому-либо критерию, будем подразумевать отображение некоторых опорных значений этого критерия.

На этапе выбора наиболее приемлемой альтернативы из множества сгенерированных альтернатив используется следующая модель: $\langle K^*, A, U^* \rangle$ (2), где K^* — множество ответственных показателей $K^* \subseteq K$; A — множество сгенерированных альтернатив; U^* — уровень притязаний ЛПР $\mu_{u^*}: K^* \rightarrow [0, 1]$.

Задача состоит в выборе из множества плановых альтернатив A альтернативы, максимально удовлетворяющей уровню притязаний U^* по показателям K^* .

Наиболее приемлемыми методами выбора многомерных альтернатив следует считать методы, основанные на наименее жестких допущениях о структуре предпочтений ЛПР. Кроме того, интерактивный характер, которым должны обладать ориентированные на применение в реальных задачах методы, порождает к ним требование естественности. Многочисленные психологические исследования показали, что при решении задач выбора человек использует стратегии исключения, компенсации и их различные комбинации. Причем при большом числе показателей (больше 3 — 5) и альтернатив ЛПР часто использует различные упрощающие эвристики, которые искажают его политику и приводят к ошибкам [2]. Таким образом, используемые методы должны содержать специальные

способы получения от ЛПР информации, при которых учитываются ограниченные возможности человека по переработке информации, и поставленные перед ним задачи не требуют применения эвристики.

Пусть мощность множества A равна n , а мощность K^* равна m . Тогда оценка o_i^j j -го альтернативного решения по i -му показателю может быть определена $o_i^j = \mu_{ij}(k_i^j)$. $O^j = (o_1^j, o_2^j, \dots, o_m^j)$ — векторная оценка j -й альтернативы. Рассмотрим на A следующие отношения: $\langle D, A \rangle$ — доминирования $a^k Da^l \leftrightarrow \{(\forall i | i = \overline{1, m}) [o_i^k > o_i^l] \& [\exists i_0 | i_0 = \overline{1, m}) [o_{i_0}^k > o_{i_0}^l]]\}$; $\langle E, A \rangle$ — эквивалентности $a^k Ea^l \leftrightarrow \{(\forall i | i = \overline{1, m}) [o_i^k = o_i^l]\}$; $\langle N, A \rangle$ — несравнимости $a^k Na^l \leftrightarrow \{(\exists i_1, i_2 | i_1, i_2 = \overline{1, m}, i_1 \neq i_2) [o_{i_1}^k > o_{i_1}^l] \& [o_{i_2}^k < o_{i_2}^l]]\}$.

Нетрудно видеть, что $D \cup D^{-1} \cup E \cup N = A \times A$, где D^{-1} — отношение, обратное D , а $D \cup E$ — нелинейный квазипорядок на A . Если $N = \emptyset$, то $D \cup E$ — линейный квазипорядок на A , сразу задающий ранжирование. В этом случае задача выбора тривиальна.

Очевидно, что наиболее приемлемую альтернативу следует искать среди множества недоминируемых альтернатив A^0 , определяемого $A^0 = \{a^j \in A | (\neg \exists a^k \in A) [a^k Da^j]\}$. Отметим, что $\langle D, A^0 \rangle = \emptyset$.

Применение различных компенсационных методов основывается на явном либо неявном предположении, что при парном сравнении альтернатив a^k и a^l ЛПР может давать точные ответы на вопросы типа А: «На какое ухудшение Δ_i^k критерия k_i^k (уменьшение оценки o_i^k) Вы были бы согласны, чтобы получить приращение $\Delta_i^l = -\mu_{il}^{-1}(o_i^l) - \mu_{il}^{-1}(o_i^k)$ критерия k_i^l (увеличение оценки o_i^l до o_i^l) при неизменных значениях остальных критериев?». Выберем из A^0 произвольную пару (a^k, a^l) . Очевидно, что $a^k Na^l$. Выбирается пара критериев i_1, i_2 таких, что $o_{i_1}^k > o_{i_1}^l$, $o_{i_2}^k < o_{i_2}^l$, и задается вопрос типа А. Строится точка a^{k*} — некоторая фиктивная альтернатива, эквивалентная исходной a^k с векторной оценкой $O^{k*} = (o_1^k, o_2^k, \dots, \mu_{i_1}(k_{i_1}^k \pm \Delta_{i_1}^k), \dots, o_{i_2}^k, \dots, o_m^k)$, имеющая число показателей, вызывающих несравнимость с a^l , по крайней мере, на один меньше, чем a^k .

Можно показать, что после ряда итераций получим такое множество альтернатив (на каждой итерации исходное множество пополняется некоторой фиктивной альтернативой, эквивалентной данной), на котором структура доминирования — эквивалентность будет задавать линейный квазипорядок. Это и является формальным обоснованием компенсационных методов. Ниже приводится наиболее распространенная компенсационная схема (см. напр. [5 — 7]) применительно к модели (2).

Схема 1. Выбирается пара альтернатив (a^k, a^l) , $a^k \in A^0$, $a^l \in A^0$, выбирается пара критериев (k_i, k_{i_1}) , $k_i \in K^*$, $k_{i_1} \in K^*$, отвечающих указанным условиям, и задается вопрос типа А. Строится

фиктивная альтернатива a^* . Если оказалось, что a^*Da^j либо a^jDa^* , то в качестве лучшей из двух альтернатив выбирается соответственно a^* либо a^j . Если a^*Ea^j , то a^* эквивалентна a^j . Если, по-прежнему, a^*Na^j , то выбирается новая пара критериев и замещение проводится для нее. В силу конечности числа критериев получим либо a^*Da^j , либо a^jDa^* , либо a^*Ea^j . Доминируемая альтернатива исключается из дальнейшего рассмотрения. Лучшая альтернатива удерживается и сравнивается с произвольной альтернативой из A° и т.д. В силу конечности числа альтернатив в результате получим наиболее приемлемую из A° альтернативу a^* либо класс эквивалентных альтернатив $A^* \subseteq A^\circ$. Отметим, что максимальное число сравнений в такой схеме равно $(m-1)(q-1)$, где q — мощность множества A° .

Ниже предлагается компенсационная схема, использующая тот факт, что при любом парном сравнении ЛПР сопоставляет каждую из двух альтернатив с уровнем притязаний, т.е. ЛПР создает образ некоторой «идеальной» альтернативы, соответствующей его уровню притязаний, и постоянно удерживает его при сравнении.

Схема 2. Строится фиктивная опорная альтернатива a° , значения критериев которой являются опорными значениями некоторой высокой вербальной оценки качества v_i , т.е. альтернатива с векторной оценкой $O^\circ = (\varphi_1(v_1), \varphi_2(v_2), \dots, \varphi_n(v_n))$. Выбирается некоторый критерий $k_s \in K^*$, называемый в дальнейшем ведущим. Выбирается альтернатива $a^j \in A^\circ$ и формируется пара (a°, a^j) . Компенсация проводится по всем критериям, кроме ведущего. Полученная в результате альтернатива a^j эквивалентна исходной a^j и отличается от опорной a° только оценкой по ведущему критерию. Процедура повторяется для каждой альтернативы $a^k \in A^\circ$. После просмотра всего множества A° альтернативы могут быть проранжированы в соответствии с оценками эквивалентных им фиктивных альтернатив по ведущему критерию, т.е. альтернатива a^j считается предпочтительней a^k , если $a^j_s > a^k_s$. Заметим, что предложенная схема базируется на тех же допущениях, что и первая. Максимальное число сравнений в этой схеме равно $(m-1)q$.

Но в результате получим ранжирование альтернатив, что является более трудоемкой задачей, чем выбор лучшей альтернативы. Например, применяя схему 1 для формирования матрицы парных сравнений, которую обычно используют для проведения ранжирования, необходимо выполнить $(m-1)q(q-1)/2$ сравнений. Кроме того, применяя схему 2, получаем не только ранжирование, но и некоторую информацию о степени предпочтительности той или иной альтернативы, что особенно важно, если результаты предполагается использовать для группового выбора.

Следует отметить, что согласно [5] иногда при использовании компенсационных методов наблюдалось нарушение транзитивности, т.е. имели место случаи, когда множество фиктивных альтернатив, генерируемых из исходной с помощью процедуры замещения, использующей информацию, полученную от

ЛПР при ответе на вопрос типа А, оказывалось не классом эквивалентности, а классом толерантности. Очевидно, это отклонение вызывалось тем фактом, что не для любой произвольной пары критериев ЛПР может дать одинаково точный и достоверный ответ на вопрос типа А. Для повышения надежности получаемой от ЛПР информации, которая в основном определяет практическую ценность результатов применения компенсационных методов, предлагается процедура построения графа компенсации, задающего такую последовательность вопросов типа А, которая вызывает у ЛПР минимальные затруднения при сопоставлении критериев. С помощью предварительного опроса ЛПР формируется матрица степени сравнимости (в смысле вопроса типа А) критериев. Задача построения графа компенсации сводится к задаче построения максимально ориентированного леса на графе сравнимости критериев и может быть решена с помощью алгоритма Эдмонса [8]. В результате работы алгоритма построения графа компенсации определяется структура диалога ЛПР — ЭВМ, остающаяся неизменной при компенсации и исключении любых альтернатив для одного и того же ЛПР при неизменном составе критериев.

Описанные процедуры сравнения многомерных альтернатив удовлетворяют указанным требованиям и обеспечивают ЛПР возможность конструирования различных стратегий выбора.

Список литературы: 1. Вольбах А. Г. Исследование и разработка алгоритмического обеспечения задач планирования в АСУ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук — К., 1980. — 24 с. 2. Ларичев О. И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям (обзор). — Автоматика и телемеханика, 1981, № 8, с. 131—141. 3. Жуконин В. Е. Модели и процедуры принятия решений. — Тбилиси: Мецниереба, 1981. — 118 с. 4. Литвак Б. Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. — М.: Радио и связь, 1982. — 184 с. 5. Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений. — М.: Наука, 1979. — 200 с. 6. Виноградская Т. М. Для алгоритма выбора многомерной альтернативы. — Автоматика и телемеханика, 1977, № 3, с. 90—95. 7. Кими Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. — М.: Радио и связь, 1981. — 560 с. 8. Рейнгольд Э., Ниверсальт Ю., Дов Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика. — М.: Мир, 1980. — 467 с.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

УДК 519.6.3

А. Г. ВОЛЬБАХ, канд. техн. наук, А. Г. ЮДАКОВ

О ПРОБЛЕМЕ ПРИНЯТИЯ ПЛАНОВЫХ РЕШЕНИЙ КОЛЛЕКТИВОМ ЛПР

Анализ задач принятия плановых решений показывает их сложность, многокритериальность, необходимость переработки больших объемов информации. Органы планирования и управления больших организационных производственных систем

имеют иерархическую структуру. Важнейшим фактором, предопределяющим ее, является иерархическая организация самих этих систем, которая определяется объективными тенденциями научно-технического прогресса, специализацией и концентрацией производства, способствующими повышению эффективности общественного производства. Также важной причиной существования иерархического управления являются ограниченные возможности по передаче и переработке информации человека, принимающего участие в выработке планового решения, и технических средств, применяемых в процессе планирования.

Поскольку централизованное управление сложным производственным объектом, обеспечивающее наилучшую согласованность принимаемых решений, невозможно, появляется необходимость разделения функций управления между несколькими органами. В этом случае возникает проблема согласования решений, выработанных различными органами управления. Для этого вводится вышестоящий орган управления, который обеспечивает согласование решений органов, ему подчиненных, и оперирует агрегированным описанием системы, причем агрегирование осуществляется как по показателям, описывающим систему, так и по времени. Большая сложность реальных производственных систем приводит к построению сложных многоуровневых иерархических систем управления, включающих несколько уровней иерархии, причем чем выше уровень иерархии органа управления, тем более агрегированной информацией оперирует этот орган.

Иерархическая структура системы управления отражает также иерархию целей системы [1]. Наивысший в иерархии орган управления оперирует глобальными показателями, выраженными в наиболее агрегированном виде, отражающими глобальную цель системы. Подчиненные органы управления оперируют более частными показателями, отражающими частные цели, обеспечивающие достижение глобальной.

При утверждении плановых решений главная роль отводится лицу, принимающему решения (ЛПР), которое, опираясь на свой опыт и интуицию при решении задачи, использует ЭВМ, технические средства и экономико-математические методы как средство усиления интеллектуальных возможностей для выполнения рутинных расчетных этапов процесса принятия решений.

Системы управления сложными производственными объектами, следовательно, должны быть построены по иерархическому принципу, а также обеспечивать активное участие коллектива ЛПР в процессе принятия плановых решений, т. е. создать условия для диалогового режима работы. Это представляет дополнительные специальные требования к моделям, описывающим отдельные объекты управления, и к алгоритмическим средствам, используемым в процессе поиска плановых альтернатив.

При построении системы иерархического планирования и управления следует придерживаться следующих принципов [2]: органы управления соответствуют объектам управления; каждая локальная система управляет ей подчиненными, используя агрегированную информацию (потребность в продукции системы, план производства, выделяемые ресурсы и другие показатели); взаимодействие между локальными системами осуществляется с помощью вертикальных и горизонтальных связей.

Вертикальные связи устанавливают порядок обмена между вышестоящими и подчиненными системами и обеспечивают передачу информации от подчиненных систем вышестоящим, отражающей их состояние и производственные возможности в агрегированном виде, и передачу подчиненным системам управляющих воздействий, конкретизирующих их цели, задачи, и выделенные ресурсы. Горизонтальные связи делают возможным взаимодействие систем одного уровня иерархии и отражают взаимные поставки продукции между локальными системами, т. е. продукт одной системы может рассматриваться как ресурс для другой системы.

При описании отдельной локальной системы предлагается следующая базовая модель, построенная с учетом психологических исследований процессов принятия плановых решений и ориентированная на использование в диалоговом режиме [3].

Задача планирования в соответствии с базовой моделью представляется $\langle X, K, D, U \rangle$, где X — множество переменных задачи планирования; K — множество критериев (показателей), характеризующих конкретное решение задачи планирования; D — область определения задачи планирования; U — уровень притязаний ЛПР, определяющий область в пространстве критериев, которой стремится достигнуть ЛПР при решении задачи планирования.

Решение задачи планирования состоит в поиске таких значений ее переменных, принадлежащих области определения, которые обеспечат принадлежность критериев области желаемых значений в пространстве критериев, задаваемой уровнем притязаний ЛПР, который может изменяться в процессе решения. Кроме того, могут изменяться модельные представления ЛПР, т. е. уточняться любые параметры модели задачи планирования.

Множество переменных задачи планирования X имеет иерархическую структуру. Среди всего множества переменных можно выделить независимые переменные $X^0 \subset X$, не имеющие подчиненных. Остальные переменные выражаются в виде линейных комбинаций переменных, непосредственно подчиненных им по иерархии $x_i = \sum_{j \in Q_i} \beta_j x_j$, где Q_i — множество переменных, непосредственно подчиненных x_i по иерархии; β_j — коэффициент агрегирования.

Множество критериев K имеет иерархическую структуру. Среди всего множества критериев можно выделить независимые критерии

$K^* \subset K$, не имеющие подчиненных. Эти критерии выражаются в виде линейных комбинаций независимых переменных

$$k_i^* = \sum_{l \in L_i} a_{il} x_l,$$

где L_i — множество переменных $x_l \in X^*$, на основе которых формируется критерий (показатель) k_i^* ; a_{il} — нормативный коэффициент. Остальные критерии выражаются в виде линейных комбинаций критериев, непосредственно подчиненных им по иерархии

$$k_i = \sum_{j \in P_i} \alpha_{ij} k_j^*,$$

где P_i — множество критериев, непосредственно подчиненных k_i по иерархии; α_{ij} — коэффициент агрегирования.

Область определения задачи D представляет собой декартово произведение отрезков вида $\underline{d}_i \leq x_i \leq \bar{d}_i$, $x_i \in X^*$, где $\underline{d}_i$ и $\bar{d}_i$ — нижняя и верхняя границы изменения переменной x_i соответственно.

Уровень притязаний ЛПР U определяет область желаемых значений (ОЖЗ) в пространстве критериев, задаваемую критериальными ограничениями вида $\underline{u}_i \leq k_i(x) \leq \bar{u}_i$, где $k_i(x)$ — критерий задачи планирования; $\underline{u}_i$ и $\bar{u}_i$ — границы ОЖЗ, определяющие уровень притязаний ЛПР.

Базовая модель ориентирована на использование в диалоговом режиме, позволяет легко осуществлять корректировку любых ее параметров в процессе решения задачи планирования и соответствует модели, формируемой у ЛПР при решении задачи планирования.

Принятие коллективного планового решения является итеративным процессом, осуществляется коллективом ЛПР, причем каждое ЛПР работает со своей моделью задачи, наиболее соответствующей его компетенции, и обеспечивает решение задачи некоторой локальной системы. Каждая итерация включает этапы индивидуального решения на моделях локальных систем и этапы согласования решений локальных систем.

Для описания процесса коллективного принятия плановых решений в иерархической системе базовая модель должна быть дополнена информационным и управляющим векторами. Таким образом, задача планирования представляется $\langle X, K, D, U, Z, V \rangle$, где Z — информационный вектор, определяющий набор показателей, по которым происходит отчет перед вышестоящей системой и которые отображают производственные возможности системы; V — управляющий вектор, задающий установку, получаемую от вышестоящей системы, определяющий цели и задачи данной системы. Остальные параметры имеют тот же смысл, что и ранее.

Информационный вектор обычно включает агрегированный план системы, потребность в ресурсах в агрегированном виде, агрегированные средневзвешенные нормативные коэффициенты, отражающие производственные возможности системы, а также различные функциональные показатели, полученные на основании перечисленных.

Управляющий вектор обычно включает установленный агрегированный план для данной системы, ресурсы, выделенные системе вышестоящим органом, стимулирующие показатели (штрафы за невыполнение плановых показателей, размеры фонда материального поощрения и др.).

При решении задачи планирования в иерархической системе следует учитывать взаимные поставки между системами одного уровня иерархии.

Принятие планового решения в каждой локальной системе осуществляет отдельное ЛПР. В своей деятельности каждое ЛПР использует ряд показателей, среди которых можно выделить множества ответственных показателей, за обоснованность плана по которым ЛПР несет ответственность; информационных показателей, значения которых используются в качестве параметров; собственных показателей, плановые решения по которым принимает ЛПР.

Процесс выработки планового решения может осуществляться сверху вниз, исходя из целей системы, и снизу вверх, исходя из возможностей системы. Обычно при выработке планового решения коллективом ЛПР эти процессы чередуются и выполняются согласования решений локальных систем, полученных при различных процедурах планирования.

При планировании сверху вниз ЛПР каждой локальной системы осуществляет детализирование полученных плановых указаний, распределение ресурсов между подчиненными системами и выработку управляющих векторов для них.

При планировании снизу вверх ЛПР каждой локальной системы пытается найти план, наиболее удовлетворяющий полученным указаниям, и формирует информационный вектор, отражающий в агрегированной форме производственные возможности системы.

Итеративный процесс выработки планового решения осуществляется до тех пор, пока не будет получен план, удовлетворяющий ЛПР центральной системы, т. е. пока не будет удовлетворена глобальная цель всей иерархической системы планирования.

При рассмотрении проблемы принятия плановых решений коллективом ЛПР следует учитывать активность ЛПР, что выражается в искажении информации, передаваемой между локальными системами [4]. В этом случае требуется анализировать механизмы функционирования всей системы, т. е. способы формирования планов, распределения ресурсов и формирования

стимулирующих функций. На основе проведенного анализа следует формировать такие механизмы функционирования, которые будут стимулировать локальные системы, повышать достоверность информации и максимально использовать свои возможности.

Список литературы: 1. *Проблемы программно-целевого планирования и управления* / Под ред. Г. С. Поспелова. — М.: Наука, 1981. — 460 с. 2. *Методы и модели согласования иерархических решений* / Под ред. А. А. Макарова. — Новосибирск: Наука, 1979. — 240 с. 3. *Вольвах А. Г. Исследование и разработка алгоритмического обеспечения задач планирования в АСУ: Автореф. дис. — канд. техн. наук.* — К., 1980. — 24 с. 4. *Современное состояние теории исследования операций.* — М.: Наука, 1981. — 464 с.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

УДК 65.012.122

В. Я. ЗАРУБА, канд. техн. наук,
И. Н. ВЫПИНАШКО, Л. В. ИВАНОВ

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОЛЛЕКТИВНОГО ПРИНЯТИЯ ПЛАНОВЫХ РЕШЕНИЙ

В настоящее время большое внимание уделяется более полному использованию возможностей встречного планирования, проявляющегося в принятии коллективами предприятий дополнительных обязательств по увеличению выпуска продукции и экономии материальных ресурсов в сравнении с заданиями пятилетнего плана. В этой связи актуальной является проблема создания алгоритмического обеспечения встречного планирования с целью его автоматизации в условиях отраслевых АСУ.

Планирование в отрасли можно представить как процесс принятия решений в двухуровневой иерархической системе, имеющей в своем составе на верхнем уровне центральный планирующий орган (центр), а на нижнем — совокупность предприятий (элементов). Обычно центр не полностью информирован о реальных производственных возможностях элементов, а интересы последних относительно назначаемых им планов не полностью совпадают с интересами центра. Возникает необходимость разработки эффективных механизмов встречного планирования, обоснованных с теоретико-игровых позиций и предназначенных для реализации в условиях отраслевых АСУ.

Математические основы построения таких механизмов разработаны в теории активных систем [1—3]. При этом предполагается возможность формализованного описания целевых функций элементов. Однако на практике при выборе «выгодных» планов элементы учитывают большое число различных, в том числе и неформализуемых, факторов, опираются на интуитивные представления. В этой связи эффективные механизмы должны

предусматривать оптимальное сочетание формализованных и неформализованных методов принятия решения, а сам процесс планирования целесообразно проводить в условиях АСУ с использованием интерактивного взаимодействия (многостороннего диалога) лиц, принимающих решения (ЛПР), и ЭВМ.

Планирование будем рассматривать как задачу распределения ограниченного ресурса, так как в ней, наряду с простотой, отчетливо проявляются все особенности предлагаемого механизма планирования.

Положим, что в системе (отрасли), состоящей из центра и множества $Q = \{1, 2, \dots, K\}$ элементов (предприятий), элементы производят однородную продукцию, потребляя при этом одномерный ресурс. Введем следующие обозначения: a_0 — объем ресурса, имеющийся в системе; q — номер элемента; χ_q — величина затрат ресурса элементом; γ_q — объем производства элемента; $\zeta_q = \gamma_q / \chi_q$ — показатель эффективности использования ресурса элементом; $\mathcal{Y}_q = (\chi_q, \gamma_q)$ — вектор показателей плана элемента; $Y_q \ni \mathcal{Y}_q$ — множество производственных возможностей элементов (локально допустимых планов);

$$Y_q = \{\mathcal{Y}_q \mid 0 \leq \gamma_q \leq u_q(\chi_q), 0 \leq \chi_q \leq a_0\},$$

где $u_q(\chi_q)$ — производственная функция q -го элемента; $\mathcal{Y} = (\mathcal{Y}_q, q \in Q)$ — вектор показателей плана системы; $Y = \{\mathcal{Y} \mid \sum_{q \in Q} \chi_q \leq a_0, \mathcal{Y}_q \in Y_q (q \in Q)\}$ — множество допустимых планов системы.

Центр стремится найти допустимый план системы, максимизирующий суммарный объем производства в системе

$$\varphi(\mathcal{Y}) = \sum_{q \in Q} \gamma_q \rightarrow \max.$$

Каждый q -й элемент стремится к тому, чтобы план системы был допустимым и обеспечивал максимальное значение его собственного выигрыша.

Основные положения предлагаемого механизма встречного планирования, основанного на схеме аукциона [3], состоят в следующем. Планирование рассматривается как многошаговый игровой процесс. Центр для каждого r -го шага, $r > 1$, определяет номер $q = q(r)$ элемента, который должен сообщить на этом шаге свой план $\mathcal{Y}_q = (\chi_q, \gamma_q)$. На первом шаге планы $\mathcal{Y}_q^1 (q \in Q)$ элементы должны сообщить одновременно. Для определенности полагается, что на следующих после первого шагах элементы сообщают встречные планы циклично в порядке возрастания номеров:

$$q(2) = 1, q(3) = 2, \dots, q(K+1) = K, q(K+2) = 1, \dots$$

Совокупность шагов с номерами $r+1, r+2, \dots, r+K$ для любого $r > 1$ называется циклом игрового процесса. Сообщение от каждого элемента поступает ко всем остальным элементам и к центру. Встречный план $\mathcal{Y}_q^r$ элемента, не производящего сообщения

на r -м шаге, $r > 1$, полагается равным плану, сообщенному q -м элементом в ходе процесса позже всех остальных планов $\mathcal{Y}'_q = \mathcal{Y}'_q$, $r = l + 1, l + 2, \dots, l + K - 1$, где $q = q(l)$. Таким образом, на каждом r -м шаге определен вектор $\mathcal{Y}' = (\mathcal{Y}'_q, q \in Q)$ встречающихся планов элементов системы. На каждом r -м шаге процесса центр, учитывая выпуклость множеств $Y_q (q \in Q)$, преобразует планы-заявки $\mathcal{Y}'_q (q \in Q)$ в план $\bar{\mathcal{Y}}' = (\bar{\mathcal{Y}}'_q = (\bar{y}'_q, \bar{x}'), q \in Q)$ распределения ресурса на r -м шаге. Отображение $(\mathcal{Y}'_q, q \in Q) \rightarrow \bar{\mathcal{Y}}'$, формально описывающее это преобразование, назовем законом планирования. В соответствии с законом планирования схемы аукциона центр находит план $\bar{\mathcal{Y}}'$, решая задачу ЛП [3].

На основании закона планирования на любом r -м шаге для элемента $q(r)$ можно построить зону приемлемых планов

$$G'_q = \{\mathcal{Y}'_q | \bar{\mathcal{Y}}'_q = \mathcal{Y}'_q\}.$$

Введем понятие границы зоны приемлемых планов

$$G^{0r}_q = \{\mathcal{Y}'_q | \mathcal{Y}'_q \in G'_q \cap \bar{G}'_q\}, \text{ где } \bar{G}'_q = \{\mathcal{Y}'_q | \bar{\mathcal{Y}}'_q < \mathcal{Y}'_q, \mathcal{Y}'_q > 0\}.$$

К представленным элементами встречным планам центр предъявляет определенные требования. Во-первых, эти планы должны быть реализуемыми, т. е.

$$\mathcal{Y}'_q \in Y_q (q \in Q), \mathcal{Y}'_q q(r) \in Y_{q(r)}, r = 2, 3, \dots$$

Во-вторых, если встречный план $\mathcal{Y}'_q$, $r > 1$, $q = q(r)$ не совпадает с планом $\bar{\mathcal{Y}}^{r-1}_q$, то выигрыш центра на r -м шаге $\Phi^r = \sum_{q \in Q} \bar{y}'_q$ должен оказаться большим выигрыша центра на $(r-1)$ -м шаге Φ^{r-1} на заданную центром величину. В-третьих, необходимо, чтобы встречный план $\mathcal{Y}'_q \in G'_q$. Наличие этих требований к новым заявкам каждого элемента $q \in Q$ обеспечивает сходимость процедуры планирования за конечное число шагов. За отклонение реализации плана элемента от его заявки центр вводит «сильные штрафы», сводя тем самым к минимуму возможность ссорения элементами завышенных объемов производства.

Процесс планирования заканчивается на R -м шаге, $R > K + 1$, если

$$\bar{\mathcal{Y}}^r = \bar{\mathcal{Y}}^R, r = R - K, R - K + 1, \dots, R - 1,$$

а $\bar{\mathcal{Y}}^{R-K} \neq \bar{\mathcal{Y}}^{R-K-1}$, если $R > K + 1$. В этом случае элементы не заинтересованы в изменении значений показателей, установленных центром на $(R-K)$ -м шаге.

Поскольку предполагаются заданными закон планирования, требования к встречным планам и условие окончания планирования, то действия центра полностью определены и формально

можно считать, что процесс планирования проходит с участием только одних элементов. Он заключается в следующем. При реализации процедуры коллективного принятия решений в условиях АСУ отдельный элемент представляется лицом, принимающим решение. В начале планирования все участники сообщают свои локально допустимые планы-заявки Y_q^1 , $q \in Q$. Затем каждому участнику поочередно предоставляется возможность сообщить свой встречный план Y_q' . Для этого в форме таблицы на экран дисплея выдается информация о параметрах правой границы области приемлемых планов G_q' . На основании этой информации ЛПР может установить планы, принадлежащие множеству $G_q' \cap Y_q$ и выбрать среди них наиболее предпочтительный с позиций своих неформализуемых интересов. Выбранный план поступает в ЭВМ, которая осуществляет коррекцию планов остальных элементов.

Может быть показано, что в случае выпуклой производственной функции $u_q(x_q)$ процесс планирования сходится за конечное число шагов и установившийся план системы $\bar{Y}^R$ при $\varphi \rightarrow 0$ соответствует сильно равновесной ситуации в игре элементов и одновременно является оптимальным по принципу максимального гарантированного результата.

Рассмотрим реализацию описанной процедуры для решения следующей частной задачи. Пусть производственные функции элементов имеют вид

$$u_q(x_q) = \begin{cases} \zeta_q^{\max} x_q, & 0 \leq x_q \leq \frac{\gamma_q^0}{\zeta_q^{\max}}, \\ \gamma_q^0, & \frac{\gamma_q^0}{\zeta_q^{\max}} \leq x_q \leq a_q, \end{cases}$$

где γ_q^0 — максимальный объем производства элемента; $\zeta_q^{\max} = \gamma$ — максимальная эффективность использования ресурса, является случайной величиной с плотностью распределения

$$f_q(x) = \begin{cases} f(x), & x \in [\zeta_{q1}^{\max}, \zeta_{q2}^{\max}] \\ 0, & x \notin [\zeta_{q1}^{\max}, \zeta_{q2}^{\max}]. \end{cases}$$

Закон распределения $f_q(x)$, а следовательно, диапазон $[\zeta_{q1}^{\max}, \zeta_{q2}^{\max}]$ возможных значений величины $\zeta_q^{\max}$ предполагается известным элементу.

Производственные функции такого вида допускают разнообразные экономические интерпретации, в частности распределение водных ресурсов между предприятиями [2], распределение авиационных ресурсов между эксплуатационными предприятиями гражданской авиации.

В предложенной частной задаче предполагается, что центру

неизвестны истинные значения $\zeta_{q1}^{\max}$, $\zeta_{q2}^{\max}$, но ему известны величины $\zeta_{q \min}$ и $\zeta_{q \max}$ такие, что

$$[\zeta_{q \min}, \zeta_{q \max}] \supset [\zeta_{q1}^{\max}, \zeta_{q2}^{\max}].$$

Рассмотрим произвольный r -й шаг процесса планирования. Перенумеруем элементы в порядке возрастания их эффективности, исключая при этом из рассмотрения q -й элемент, который на данном шаге осуществляет выбор плана. Для простоты предположим, что значения показателей эффективности всех элементов различны.

Определим следующие объемы ресурса:

$$x_1 = a_0 - \sum_{K=1}^{K-1} \chi'_K; \quad x_2 = a_0 - \sum_{K=2}^{K-1} \chi'_K;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$x_{K-1} = a_0 - \chi'_{K-1}; \quad x_K = a_0.$$

Тогда правая граница зоны приемлемых планов будет состоять из отрезков прямых, соединяющих точки

$$(0, 0), (x_1, \zeta'_1(x_1)), (x_1, \zeta'_2(x_1)), (x_2, \zeta'_2(x_2)), (x_2, \zeta'_3(x_2)), \dots,$$

и луча, представляющего собой множество точек

$$\{(\chi_q, \gamma_q) \mid \chi_q = a_0, \gamma_q \geq \zeta_K(x_K)\}.$$

Рассмотрим точку $P = (\chi_P, \gamma_P^0)$ пересечения правой границы зоны приемлемых планов и прямой $\gamma_P = \gamma_P^0$. Нетрудно видеть, что при $\zeta_q < \zeta_{q1}^{\max}$ с учетом целевой функции элемента ϕ_q , о которой известно, что $\frac{\partial \phi_q}{\partial \gamma_q} > 0$ и $\frac{\partial \phi_q}{\partial \chi_q} > 0$, в этой точке достигается максимальный выигрыш элемента на данном шаге. Если же $\zeta_{q1}^{\max} < \zeta_q < \zeta_{q2}^{\max}$, то имеется вероятность невыполнения выбранного плана P . Выбор элементом плана Y'_q на r -м шаге будет определяться субъективными характеристиками элемента (его «склонностью» к риску).

Описанный механизм встречного планирования и соответствующее алгоритмическое обеспечение разработано для использования в АСУ гражданской авиации.

Список литературы: 1. Бурков В. Н., Комратов В. В. Механизмы функционирования организационных систем. — М.: Наука, 1981. — 384 с. 2. Распределение водных ресурсов/В. Н. Бурков, И. В. Гувеский, Т. Б. Намова и др. — Автоматика и телемеханика, 1980, № 1, с. 81—90. 3. Дабагян А. В., Заруба В. Я. Схема аукциона в задаче распределения ограниченного ресурса. — Автоматика и телемеханика, 1981, № 3, с. 75—82.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

М. Д. БОРЯЧОК, канд. техн. наук,
В. Ф. ШОСТАК, канд. техн. наук

КООРДИНАЦИЯ МНОГОСВЯЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МЕТОДОМ ОБОБЩЕННОГО ПРИВЕДЕННОГО ГРАДИЕНТА

Рассматривается задача оптимизации режимов функционирования сложного технологического комплекса, модель которого представляет собой информационный граф. Вершинам графа соответствуют модели отдельных подсистем комплекса $y_i(u_i, x_{ij}, z_i, i \in \Omega)$, а дугам — информационные связи между моделями. Здесь u_i, z_i, x_{ij} — соответственно векторы входных переменных на i -ю подсистему управляющих воздействий, возмущений и взаимодействий со стороны других подсистем, Ω — множество подсистем комплекса. Поскольку решается задача статической оптимизации при ступенчатой экстраполяции возмущений, в дальнейшем без потери общности, вектор z_i из задачи можно исключить.

Формально задача оптимизации сводится к определению

$$\max_{u_i, x_{ij} \in \Omega} \sum f_i(u_i, x_{ij}, i \in \Omega) \quad (1)$$

при ограничениях

$$y_{ij}(u_i, x_{ij}, i \in \Omega) = x_{ij}, i, j \in \Omega, i \neq j; \quad (2)$$

$$u_i^B > u_i > u_i^H, i = \overline{1, n_i}; \quad (3)$$

$$X_{ij}^B > x_{ij} > X_{ij}^H, i = \overline{1, m_{ij}}. \quad (4)$$

Здесь f_i — локальные функции цели подсистем, связанные с глобальным критерием f , с помощью аддитивной формы (1), уравнения (2) отражают связи между подсистемами. Функции

$$y(u, x), f(u, x) - (u = \{u_i, i \in \Omega\};$$

$$x = \{x_{ij}, i, j \in \Omega\}; y = \{y_{ij}, i, j \in \Omega\}) -$$

непрерывно дифференцируемые. Матрицы Якоби функций $y_i(x_{ij}, j \in \Omega)$ и $y_i(u_i), i \in \Omega$ неособенные.

$$\dim(u) = m; \dim(x) = \dim(y) = n;$$

$$\dim(u_i) = m_i; \dim(x_{ij}) = \dim(y_{ij}) = m_{ij}.$$

В связи с многомерностью задачи (1) — (4) для ее решения целесообразно применение многоуровневых декомпозиционных методов [1, 2], суть которых сводится к представлению задачи (1) — (4) в виде ряда подзадач меньшей размерности. Особенность рассматриваемых многосвязных объектов управления состоит в большой связности подсистем, определяемой условием (5)

$$\sum_{i \in \Omega} \dim(y_{ij}) > \dim(u_i), \quad i \in \Omega. \quad (5)$$

Условие (5) ограничивает применение изложенных в работе [1] многоуровневых структур для решения задачи (1) — (4). Для оптимизации такого рода объектов может быть использован двухуровневый метод, изложенный в работе [2]. В соответствии с этим подходом все переменные u_i и x_{ij} делятся на две группы: независимые (координируемые переменные x_{ij}) и зависимые (определяемые в подзадачах первого уровня переменные u_i , $\hat{x}_{ij}$, $j, i \in \Omega$). Для формализации указанного подхода целесообразно использовать методы, эффективно работающие при наличии большого числа ограничений в форме равенства (2). В силу условий (5) именно в этом состоит особенность задачи (1) — (4).

Перспективными в этом смысле выглядят методы проекции градиента [3]. Суть этих методов заключается в следующем. Выбирается направление движения в пространстве независимых переменных по приведенному градиенту. Затем вычисленный вектор в пространстве независимых переменных проектируется на гиперповерхность, образованную пересечением ограничений (2).

Учитывая нелинейный характер функций f и y , воспользуемся для решения задачи (1) — (4) методом обобщенного приведенного градиента (МОПГ) [3].

Согласно этому методу независимые переменные изменяются по выражению (6):

$$\tilde{x}^{k+1} = \tilde{x}^{(k)} + \gamma^{(k)} \Delta^{(k)}, \quad (6)$$

где $\gamma > 0$, а элементы вектор-столбца $\Delta^{(k)}$ задают направление оптимизационного поиска по алгоритму приведенного градиента.

Направление поиска определяется следующим образом:

$$\Delta^{(k)} = \begin{cases} 0 & \text{при } \tilde{x}_{ij}^k = X_{ij}^B \text{ и } \frac{df^{(k)}}{dx_{ij}} > 0, \\ 0 & \text{при } \tilde{x}_{ij}^k = X_{ij}^H \text{ и } \frac{df^{(k)}}{dx_{ij}} < 0, \\ \frac{df}{dx_{ij}} & \text{при } X_{ij}^H < x_{ij} < X_{ij}^B, \end{cases} \quad (7)$$

где $\frac{df}{dx_{ij}}$, $i, j \in \Omega$, $l = 1$, $\tilde{m}_{ij}$ — составляющие приведенного градиента, определяемые по выражению (8):

$$\frac{df^l}{dx} = \frac{\partial f^l}{\partial x} - \frac{\partial f^l}{\partial x_s} \left| \frac{\partial g}{\partial x_s} \right|_{mn}^{-1} \left| \frac{\partial g}{\partial x} \right|_{mn}. \quad (8)$$

Здесь $x_s = (\bar{x}, u)$ — зависимые переменные:

$$g_{ij}(x, u) = y_{ij}(x, u) - x_{ij} = 0, \quad i, j \in \Omega;$$

$\frac{\partial f}{\partial x}$ — вектор-столбец размерности n ; $\frac{\partial f}{\partial x_s}$ — вектор-столбец размерности m ;

$$\dim [g(x, u)] = \dim(x) = \dim(x_s) = m, \quad \dim(u) = \dim(\bar{x}) = n;$$

$\left| \frac{\partial g}{\partial x_s} \right|_{mm}$ — матрица Якоби функции $g(x_s)$ размерности $m \times m$;

$\left| \frac{\partial g}{\partial x} \right|$ — матрица Якоби функции $g(\bar{x})$ размерности $m \times n$.

Зависимые переменные $x_s = (u, \bar{x})$ могут быть определены путем решения нелинейной системы (2) относительно переменных u и $\bar{x}$.

Основные вычислительные трудности при реализации изложенного метода связаны с обращением матрицы $\left| \frac{\partial g}{\partial x_s} \right|_{mm}$ и решением системы нелинейных уравнений (2). Большое число переменных задачи (1) — (4) затрудняет ее решение методом обобщенного приведенного градиента по указанному выше алгоритму. Однако, сохраняя идею МОПГ, эффективность вычислительных алгоритмов для решения задач вида (1) — (4) можно существенно повысить путем некоторой модификации МОПГ. Суть этой модификации состоит в том, что для задач вида (1) — (4) вектор $-\frac{\partial f^T}{\partial x_s} \left| \frac{\partial g}{\partial x_s} \right|^{-1}$ может быть вычислен без обращения матрицы $\left| \frac{\partial g}{\partial x_s} \right|_{mm}$, а система нелинейных уравнений (2) может быть определена путем решения ряда подсистем меньшей размерности.

Повышение эффективности метода достигается за счет предварительного анализа структуры технологического комплекса и выбора независимых координируемых переменных $\bar{x}$ специальным образом. Правила выбора координируемых переменных изложены в работе [2] и сводятся к $\dim(\bar{x}) = \dim(u)$, $m = n$. 2. Переменные $\bar{x}_{ij}$, $i, j \in \Omega$ выбираются из условий:

$$a) \dim(u_i) = \sum_{j \in \Omega} \dim(\bar{x}_{ij}), \quad i \in \Omega; \quad (9)$$

б) в число координируемых включаются все переменные, соответствующие рендиклам; в) существуют решения подсистем нелинейных уравнений

$$\bar{y}_{ij}(u_i, x_{ij}, i \in \Omega) = \bar{x}_{ij}, \quad i, j \in \Omega, \quad j \neq i$$

относительно x_{ij} и u_i в области, ограниченной условиями (3), (4).

На множестве подсистем комплекса задается порядок по принципу их соподчиненности. Для этой цели используется подграф, полученный из исходного информационного графа путем исключения дуг, соответствующих координируемым переменным. Первым порядком будут обладать вершины, не имеющие входных дуг, смежных с другими вершинами, вторым — вершины, входные дуги которых могут быть смежными с вершинами первого порядка, N -й порядок присваивается вершинам, имеющим инцидентные входные дуги, смежные с вершинами более низких порядков, включая вершины $N-1$ -го порядка.

С целью упрощения выкладок в дальнейшем предположим, что каждому порядку соответствует одна подсистема.

Приведенный анализ объекта управления позволяет значительно уменьшить сложность решения задачи (1) — (4).

Нетрудно показать, что правая часть выражения (8), полученного через малые вариации переменных [3], по форме совпадает с градиентом функции Лагранжа (10), а элементы $\frac{\partial f}{\partial x_i} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|^{-1}$ представляют собой неопределенные множители Лагранжа $\lambda^T = \{\lambda_{ij}\}$, $i, j \in \Omega$:

$$F(\lambda, x_s, \bar{x}) = \sum_{i \in \Omega} f_i(u_i, x_{ji}, j \in \Omega) + \sum_{i \in \Omega} \sum_{j \in \Omega} \lambda_{ij}^T [y_{ij}(u_i, x_{ji}, l \in \Omega) - x_{ij}]. \quad (10)$$

Таким образом, направление движения в пространстве независимых переменных, выбираемое по МОПГ, совпадает с градиентом функции Лагранжа в пространстве координируемых переменных [2]. Это обстоятельство позволяет использовать условия

$\frac{\partial F(\lambda, x_s, \bar{x})}{\partial x_s} = 0$ для получения несложных рекуррентных выражений (11—12), с помощью которых вычисляются элементы λ^T в последовательности, обратной порядку подсистем:

$$\bar{\lambda}_{ij}^T = \left\{ - \left| \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{n_i}^T - \bar{\lambda}_{i(i+1)}^T \left| \frac{\partial y}{\partial u} \right|_{m_i n_i} \right\} \left| \frac{\partial y}{\partial u} \right|_{n_i n_i}^{-1}, \quad j \in \Omega; \quad (11)$$

$$\bar{\lambda}_{ji}^T = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{m_{ji}}^T + \lambda_{ij}^T \left| \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{m_i m_{ji}}, \quad j \in \Omega. \quad (12)$$

Первыми вычисляются элементы λ_{Nj}^T и λ_{jN}^T , учитывающие связи N -й подсистемы $\bar{y}_{Nj} = \bar{x}_{Nj}$ и $\bar{y}_{jN} = \bar{x}_{jN}$. Затем определяются множители $\bar{\lambda}_{i(N-1)}^T$ и $\bar{\lambda}_{(N-1)i}^T$ и т. д.

В выражениях (11) — (12) $\left| \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{n_i}^T$, $i = \overline{1, N}$ — вектор-строки размерности n_i частных производных локальных функций цели по переменным u_i , $\left| \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{m_{ji}}^T$ — соответственно векторы частных производ-

ных функции f по переменным взаимодействия x_{ij} ,

$$\left| \frac{\partial y}{\partial u} \right|_{\tilde{m}_i n_i}, \left| \frac{\partial y}{\partial u} \right|_{n_i n_i}, \left| \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{m_i \tilde{m}_i} - \quad (13)$$

матрицы Якоби функций $\tilde{y}_i(u_i)$, $\tilde{y}_i(u_i)$, $y_i(x_{ij})$. Следует отметить, что в выражениях (11), (12) условно можно принять $\tilde{\lambda}_{Nl} = \tilde{\lambda}_{l1} = 0$, так как в соответствии с изложенными выше правилами выбора координируемых переменных для N -й и 1-й подсистем выполняются условия $\tilde{y}_{Nl} = \tilde{x}_{Nl} = 0$; $\tilde{y}_{l1} = \tilde{x}_{l1} = 0$ (14).

Алгоритм (11), (12) удобно может быть реализован с помощью матрицы $\frac{\partial y}{\partial x} m m$, записанной в следующем порядке. Столбцам матрицы соответствуют переменные

$$u_1, \{\tilde{x}_{1j}, j \in \Omega\}, u_2, \{\tilde{x}_{2j}, j \in \Omega\}, \dots, u_N, \quad (15)$$

а строкам вектор-функции

$$\{y_{1j}, j \in \Omega\}, \{y_{2j}, j \in \Omega\}, \dots, \{y_{Nl}\}. \quad (16)$$

При такой записи матрица $\left| \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{mm}$ имеет блочно-диагональный вид, отдельные блоки которой представляют собой подматрицы

$$\frac{\partial y}{\partial u_{n_1 n_1}}, \frac{\partial y}{\partial u_{\tilde{m}_1 n_1}}, \frac{\partial y}{\partial x_{m_2 \tilde{m}_2}}, \dots, \frac{\partial y}{\partial u_{N N}},$$

используемые в (11), (12).

Сравнивая выражения (11), (12) и (8), можно сделать следующие выводы. Для вычисления параметров λ вместо обращения матрицы размером $m \times m$ предлагается вычислительный алгоритм (11), (12), для реализации которого требуется обращение ряда подматриц $\left| \frac{\partial y}{\partial u} \right|_{n_i n_i}$, $i \in \Omega$ меньшей размерности.

Поскольку число арифметических операций, необходимое для обращения матрицы размерности $m \times m$, примерно равно m^3 [4], то вычислительная эффективность алгоритма (11), (12) будет в $\frac{m^3}{N} \sum_{i=1}^N n_i^3$ раз выше, чем алгоритма (8).

Кроме того, изложенный двухуровневый подход позволяет получить значительный выигрыш в количестве вычислений за счет декомпозиции системы нелинейных уравнений (2). Решение подзадач нижнего уровня (решение системы нелинейных уравнений (2) относительно зависимых переменных $u, \tilde{x}$) осуществляется последовательно, начиная из подсистем первого порядка. Первой решается подсистема

$$\tilde{y}_l(u_l, x_{lj}, l \in \Omega) = \tilde{x}_{lj}, l \in \Omega, \quad (18)$$

относительно переменных u_1 , затем определяется вектор

$$\tilde{x}_{1j} = \tilde{y}_{1j}(u_1, \tilde{x}_i, I \in \Omega), j \in \Omega. \quad (19)$$

На втором этапе решается подсистема

$$\tilde{y}_{2j}(u_2, \tilde{x}_{1j}, I \in \Omega) = \tilde{x}_{2j} \quad (20)$$

относительно переменных u_2 и определяются переменные $\tilde{x}_{2j}$ по выражению $\tilde{x}_{2j} = y_{2j}(u_2, x_{1j}, I \in \Omega)$ и т. д.

Таким образом, на основе МОПГ можно построить эффективный вычислительный алгоритм для оперативной оптимизации сложных технологических комплексов многосвязного типа, который сходится к локальному экстремуму общей функции цели для широкого класса задач, удовлетворяющих изложенным выше условиям.

Список литературы: 1. Шостак В. Ф. Методология системного подхода в задачах управления сложными системами.— АСУ и приборы автоматики, 1975, 36, с. 3—9. 2. Шостак В. Ф., Борщак М. Д. Комбинированный подход к решению задачи координации подсистем многосвязных объектов управления непрерывного типа.— АСУ и приборы автоматики, 1978, 52, с. 64—71. 3. Химмельблад Д. Прикладное нелинейное программирование.— М.: Мир, 1975.—534 с. 4. Демидович Б. П., Марон Н. А. Основы вычислительной математики.— М.: Наука, 1970.—663 с.

Поступила в редколлегию 29.11.82.

УДК 658.5

Ю. Б. СЫТИНА, Л. А. ГЕНДЕЛЬМАН,
И. А. САПРЫКИНА

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГ- РАММ ВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ В РЕЖИМЕ ТЕЛЕОБРАБОТКИ ДАННЫХ

На Ульяновском кустовом вычислительном центре в 1981 г. была внедрена система телеобработки данных (СТД), базирующаяся на применении терминального комплекса ЕС-7920.

Основой программного обеспечения СТД являются системы КАМА и разделения времени. Каждая из систем предназначена для реализации определенных функций, но выполнение большинства прикладных задач, таких как выдача справок, просмотр, сбор данных, корректировка данных, возложено на систему КАМА. Поскольку КАМА не имеет своего языка команд, все указанные функции реализуются прикладными программами.

Путем анализа характера прикладных задач, управление которыми возложено на КАМУ, была выработана стандартная технология работы с экраном, используемая в большинстве прикладных программ, стандартизованы форматы запросов

пользователя, распределение информации на экране, диалог с пользователем, алгоритм обработки файлов, на базе стандартной технологии разработан пакет прикладных программ, позволяющий создавать автоматизированным путем прикладные программы, обрабатывающие последовательные и индексно-последовательные файлы и реализующие следующие функциональные возможности.

Ввод данных. Эта функция предназначена либо для добавления новых записей в уже сформированный файл, либо для загрузки новых файлов. Во втором случае средствами ОС ЕС производится создание так называемых «пустых» первичных файлов, а информационное наполнение их можно производить описываемой системой.

Создавая последовательные файлы, записи вводим в порядке их поступления с экрана (файл может получиться неотсортированным, если это не предусмотрено пользователем).

Когда получен запрос на ввод данных, программа формирует и выводит на экран шапку соответствующей видеогаммы, под которой пользователь АП набирает в соответствии с графами шапки добавляемую в файл информацию.

Поиск данных. Программа производит избирательный поиск информации по заданному пользователем в запросе ключу поиска.

Последний должен полностью или частично совпадать с ключом записи файла. В зависимости от этого запрос на поиск может быть разовым или групповым. При разовом — объектом поиска является единственная запись файла, соответствующая ключу поиска, который в этом случае совпадает полностью с ключом записи.

При групповом — объектом поиска является группа записей, объединенная одинаковым значением ключа поиска, который представляет собой общую для ряда записей часть ключа записи.

Чтобы найти запись, адекватную запросу, на экран выводится соответствующая видеогамма.

В противном случае программа выводит на экран сообщение об отсутствии в файле информации, соответствующей запросу.

Просмотр. Эта функция заключается в последовательном выводе на экран в форме соответствующей видеогаммы всех записей файла, так как пользователь не задает ключа поиска. Вывод производится до тех пор, пока пользователь не получит необходимую ему информацию. Пользователь может остановить вывод информации.

Корректировка. При реализации запроса на корректировку на экран выводится затребованная пользователем информация в форме видеогаммы, в шапке которой, кроме граф, соответствующих реквизитам файла, имеется графа «признак». В ней пользователь проставляет признак корректировки.

Корректировка может быть двух типов: удаление или замена записей файла. Вид корректировки «вставка» реализуется функцией «ввод».

При замене записи пользователь с помощью клавиатуры дисплея изменяет значения соответствующих реквизитов (кроме ключевых), а программа переносит откорректированные данные в файл.

При удалении записей индексно-последовательных файлов программа помечает соответствующие записи принятым в ОС ЕС способом: засылает в первый байт поля данных единичные биты.

Корректировка последовательных файлов предполагает наличие двух файлов: входного (корректируемого) и выходного, в который переносятся откорректированные пользователем записи и записи входного файла, не подлежащие корректировке. Записи, помеченные пользователем на удаление, в выходной файл не переносятся.

В пакете используется следующая планировка экрана. Экран (24 строки) разделен на две зоны: зону диалога (строки 1—4) и зону данных (строки 5—24).

Зона диалога используется для ввода запросов и ответов пользователя и вывода программных сообщений.

Зона данных предназначена для вывода запрошенных пользователем данных и ввода откорректированной и добавляемой в файл информации.

При выполнении всех перечисленных выше функций шапки видеogramм формируются сгенерированными программами на основании параметров, описывающих реквизиты записи файла. Параметры задаются при генерации рабочей программы.

В зависимости от длины обрабатываемого файла шапки могут быть однострочными, если запись файла можно разместить на одной строке экрана, и в противном случае — многострочными.

Процесс генерации прикладных программ и их функционирование разделены во времени. Это вызвано тем, что генерация программ — процесс многоступенчатый, требующий специальных знаний, поэтому он должен выполняться системным программистом.

Эксплуатация же сгенерированной программы может осуществляться пользователем, не знакомым с программированием и обученным только приемам работы с терминалом.

Программное обеспечение пакета по своему функциональному назначению можно разделить на две части: программное обеспечение, участвующее в генерации прикладных программ, и программное обеспечение, используемое при эксплуатации сгенерированных программ.

Генерирующая часть пакета состоит из двух групп программ:

предназначенной для генерации программ, обрабатывающих последовательные файлы и обрабатывающих индексно-последовательные файлы.

Группа, в свою очередь, включает три генератора, формирующие прикладные программы, реализующие следующие функциональные возможности: генератор для функции «ввод»; генератор для функции «поиск» и «просмотр»; генератор для функции «корректировка». Каждому генератору соответствует определенный исходный модуль-заготовка, из которого, используя данные, поставляемые пользователем, генератор создает рабочую программу.

Формирование отдельных рабочих программ для каждой функции обработки файла вызвано в основном следующей причиной. В системе КАМА не рекомендуется создавать прикладные программы, занимающие большой объем памяти. Наличие таких программ снижает производительность системы, не позволяя вести параллельную обработку транзакций из-за недостатка свободной основной памяти, и может вызвать состояние блокировки системы, когда раздел основной памяти, выделенный КАМЕ, перегружен до такой степени, что активные задачи не могут дальше выполняться, а новые — не могут быть инициированы.

Генерирующая часть пакета формирует исходный модуль рабочей программы на языке Ассемблера. Далее средствами ОС ЕС производится трансляция и редактирование полученного модуля.

Структура эксплуатируемой части пакета такова.

На верхнем уровне находится система КАМА, управляющая работой прикладных программ. Второй уровень — это сгенерированная рабочая программа. Она получает управление от КАМЫ и возвращает ей управление после завершения своей работы. На третьем уровне находятся вспомогательные программы, описывающие вводимую и выводимую на экран информацию. Это так называемые таблицы формата (в пакете используется средство форматирования сообщений для комплекса ЕС-7920).

Важной составной частью пакета является язык пользователя, который также предназначен для генерации рабочей программы и формирования запросов на выполнение той или иной функции из описанных выше. Для генерации конкретной рабочей программы пользователь должен задать ряд параметров, описывающих структуру обрабатываемого файла. Описание этих параметров максимально упрощено для облегчения процесса генерации.

Очень просты и правила формирования запроса на выполнение той или иной функции обработки файла. В запросе задается его код, который нужен для вызова соответствующей рабочей программы, и ключ поиска (если это необходимо).

Пакет работает под управлением ОС ЕС версии 6.1 MVT, по отношению к которой КАМА является обычной высокоприоритетной задачей.

Конфигурация ЭВМ для работы с КАМОЙ должна включать периферийные устройства для обеспечения системного вывода, размещения системных наборов КАМЫ, наборов данных пользователя, соответствующие комплексы терминалов и объем основной памяти не менее 512 кбайт.

При генерации операционной системы в ее состав обязательно должен быть включен базисный телекоммуникационный метод доступа.

К конфигурации системы КАМА пакет предъявляет следующие требования. В системе должна быть предусмотрена работа с терминальным комплексом ЕС-7920. Пакет использует средство форматирования сообщений (преобразование данных при вводе, выводе на терминал) для данного комплекса.

В программу управления файлами должны быть заложены следующие средства обработки индексно-последовательных наборов данных: чтение, обновление, добавление, последовательная выборка (просмотр) записей.

Если пользователь предполагает производить обработку последовательных файлов, их ввод и вывод, то при генерации программы управления транзитными данными должна быть заложена возможность работы с внешними наборами таких данных.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

УДК 658.512.2

Н. В. ТКАЧУК, канд. техн. наук,
В. Г. БАЖЕНОВ, канд. техн. наук

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР ДАННЫХ И ПРОГРАММ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ САПР

В настоящее время разрабатываются принципы построения универсальных систем автоматизированного проектирования (САПР), решающих задачи оптимизации типоразмерных рядов технических изделий [1]. Вместе с тем для широкого класса САПР конкретного назначения, применяющихся в сравнительно узкой предметной области, актуальной является разработка универсальной методики их проектирования и реализации, обеспечивающей простоту управления, несложность задания и модификации исходных данных в системе, минимальные затраты машинного времени.

Качественный анализ различных этапов общего процесса проектирования [2] выделяет некоторые общие его особенности: альтернативный характер всего процесса, причем не все принимаемые решения могут быть заранее формализованы, что

требует оперативного вмешательства проектировщика; иерархический характер отношений между различными этапами процесса проектирования; итерационный характер поиска конструкторских решений, при котором на каждом этапе процесса существует некоторое множество вариантов, которые уточняются либо отвергаются после соответствующих анализа и проверки.

Отсюда следуют требования, которым должны удовлетворять структуры данных и программ, входящих в состав математического обеспечения проблемно-ориентированных САПР: интерактивный режим работы системы; возможность последовательной детализации и уточнения информационной модели проектируемого объекта; наличие у проектировщика возможностей эффективно проводить модификацию и выбор альтернативных вариантов проекта из числа хранящихся в базе данных системы.

Информационную модель проектируемого объекта, инвариантную к различным проблемным областям и адекватную сформулированным выше требованиям, предлагается строить на основе следующей математической структуры:

$$\Sigma = \{E, S, F, P, \sigma, \gamma\}, \quad (1)$$

где $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\} \quad n \in \Gamma^+, \quad (2)$

E — конечное множество структурных элементов, с помощью которых могут быть описаны все параметры и характеристики проектируемого изделия;

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\} \quad m \in \Gamma^+, \quad (3)$$

S — конечное множество классов, на которые по одному или совокупности нескольких признаков могут быть распределены структурные элементы и структурные формы;

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_l\} \quad l \in \Gamma^+, \quad (4)$$

F — конечное множество структурных форм, которые понимаются как некоторые упорядоченные совокупности структурных элементов и (или) классов:

$$F \subseteq \bigcup_i (E \cup S)^{i_i} \quad i \in \Gamma^+, \quad (5)$$

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_q\} \quad q \in \Gamma^+, \quad (6)$$

P — конечное множество предикатов (понимаемых здесь как n -мерные логические функции), определенных на множествах D_p :

$$D_p = E \cup S \cup F \quad (7); \quad \sigma: (E \rightarrow S) \cup (F \rightarrow S) \cup (S \rightarrow S) \quad (8),$$

σ — некоторое отображение, задающее соответствие между элементами множеств E, F, S ;

$$\gamma: (P \rightarrow E) \cup (P \rightarrow F) \cup (P \rightarrow S), \quad (9)$$

γ — некоторое отображение, задающее соответствие предикатов из множества P элементам множества E и S .

Формальное выражение (1) можно рассматривать как некоторую контекстно-зависимую грамматику порождения описания проектируемого объекта, причем процесс построения отдельного экземпляра описания состоит в следующем: фиксируется некоторый исходный класс $s_0 \in S$, который представляет проектируемое изделие на низшем уровне детализации; построение описания происходит путем пошаговой декомпозиции, при которой формальные классы из множества S (начиная с s_0) замещаются соответствующими им структурными формами или структурными элементами; процесс проводится иерархически на различных уровнях декомпозиции порождаемого описания и управляется отображениями σ и γ . Отображение σ выделяет некоторое подмножество принципиально возможных правил подстановки из выражения (8) для данного формального класса $s_i \in S$, $i = \overline{1, m}$, обеспечивая тем самым построение синтаксически правильного экземпляра описания. Отображение γ определяет посредством оценки упорядоченных им предикатов (9) условия выбора конкретного правила подстановки для данного $s_i \in S$, учитывая контекстные условия построения экземпляра описания проектируемого изделия (например, зависимости между параметрами технического задания, технологические ограничения и т. д.).

Построенная таким образом модель структуры данных

(1) — (9) обладает следующими преимуществами, существенными для реализации режима диалога:

- а) пользователь САПР последовательно и иерархически манипулирует проблемными данными. Это ускоряет время доступа к ним и способствует их защите;
- б) соответствующая диалоговая подсистема САПР выполняет некоторые дополнительные (по сравнению с пакетным режимом) функции по поддержке процесса проектирования, так как возможна проверка структурных соотношений и автоматическая коррекция данных.

При разработке структуры диалога в некоторой проблемно-ориентированной САПР выделяем два основных компонента: базу данных, понимаемую как совокупность структур данных, образующих адекватную информационную модель предметной области диалога; инструментариум, представляющий собой некоторое множество операций, определенных над этой базой данных.

Для реализации этих компонент предлагается специальная методика, характерными особенностями которой являются: последовательное применение принципа разделения между логическим и физическим уровнями в представлении данных, а также определенных над ними операций; использование двух различных форм для внутреннего (машинного) представле-

ния данных: структуры для манипулирования информационной моделью проектируемого объекта и структуры для проведения вычислительных операций в алгоритмах проектирования.

Так, в соответствии с данной методикой, при разработке базы данных некоторой предметной области в качестве логических структур могут быть выбраны ориентированные графы, множество которых представляет различные варианты некоторой конструкции. Физически эти структуры реализуются во внутреннюю машинную и внешнюю формы. Внутреннее представление данных, в свою очередь, происходит в двух формах: для построения, модификации и хранения различных вариантов информационной модели используются списковые структуры, а для проведения численных расчетов эти же данные представляются в форме массивов и последовательных файлов. Внешнее представление данных может быть дано пользователю САПР в удобной для него проблемно-ориентированной форме посредством шаблонов сценария диалога, текстов системных информационных и сообщений об ошибках, хранящихся в файлах с прямым доступом.

Разработка инструментариума диалога начинается с определения семантического набора проблемно-ориентированных действий: «задать элемент конструкции», «корректировать элемент», «модифицировать вариант конструкции» (на уровне отдельных элементов) и т. д. Действиям из этого набора отвечают соответствующие операции, определенные над физической базой данных, которые реализуются с помощью стандартных (для этой структуры) процедур преобразования и доступны пользователю в виде инструкций языка команд системы. Множество синтаксически правильных инструкций языка команд и внешнее представление структур данных предметной области диалога представляют в своей совокупности проблемно-ориентированный диалоговый язык данной САПР.

Предлагаемая методика может использоваться для разработки и реализации структуры диалога для буквенно-цифровых и графических терминалов.

Список литературы: 1. Дабазян А. В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств.— М.: Машиностроение, 1979.—280 с. 2. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход.— М.: Мир, 1981.— 456 с.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

А. В. МАКАРЕНКО, Г. В. ЦЫХМАНОВ,
С. А. ВИНОГРАДОВ

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА ИЗДЕЛИЙ

Рассматривается задача оптимального проектирования системы обслуживания, которая согласно [1] сводится к построению оптимального типоразмерного ряда изделий, составляющих эту систему. Совокупность однородных требований, обрабатываемых в течение заданного промежутка времени, называется заявкой. Полная совокупность всех заявок, подлежащих обслуживанию, называется полем заявок.

Пусть имеется M конструкций (типоразмеров) изделий, с помощью которых необходимо обслужить поле из N заявок. Каждому типоразмеру соответствует вектор проектных параметров X_i , $i = \overline{1, M}$. Число изделий каждого типа неограничено. Каждая заявка характеризуется вектором Z_j , $j = \overline{1, N}$. Предположим, что каждая заявка может быть обслужена хотя бы одним из располагаемых типов изделий. Для каждого типа изделия известен список заявок, которые может обслужить данный тип изделия, и стоимость обслуживания каждой заявки, полученную из системы стоимостных характеристик [1].

Если вектор проектных параметров X_i изделия совпадает с вектором Z_j заявки, то обслуживание адекватное и, следовательно, стоимость обслуживания данной заявки минимальна. Очевидно, что каждый тип изделий адекватно обслуживает лишь одну из заявок [1].

Поскольку при увеличении партии выпускаемых изделий стоимость их производства уменьшается, для изделия типа i введем коэффициент партионности Π_i , равный отношению стоимости обслуживания при реальной партии к стоимости обслуживания при оптимальной партии.

Задача заключается в том, чтобы из потенциально возможных выбрать оптимальный типоразмерный ряд изделий, который бы минимизировал суммарные затраты на обслуживание поля заявок с учетом величины серии каждого типа изделия.

Как показано в [1], эта задача может быть решена путем построения графа альтернативных решений, оптимальному сечению которого соответствует оптимальный ряд. При построении графа на каждом уровне используется принцип дихотомии, т. е. разбиения всего множества заявок на два подмножества — с малыми и большими значениями параметров. Каждой узловой точке графа приписываются: некоторое изделие, характеризующееся вектором проектных параметров; множество заявок,

для обслуживания которого предназначено изделие; стоимость обслуживания этого множества заявок данным изделием.

Для формализации задачи оптимальной дихотомии используется метод интегральных стоимостных характеристик [1—3]. Доказывается, что минимум функции стоимости находится на ребре гиперпараллелепипеда поля заявок, проходящем через максимальную вершину. Формулируется алгоритм оптимальной дихотомии.

Другим методом построения типоразмерного ряда изделий является метод объединения заявок. Если при использовании метода дихотомии вначале предполагалось покрытие поля заявок изделием одного типоразмера, а затем производилась дихотомия поля заявок и покрытие уже двумя типоразмерами и т. д., то в методе объединения заявок реализована обратная процедура.

Сначала поле заявок покрывается максимально возможным числом типов изделий, а затем последовательно исключаются те типы изделий, использование которых невыгодно с экономической точки зрения.

Рассмотрим более подробно конкретную реализацию метода объединения заявок. Исходные данные заносятся в таблицу. В первый столбец — в возрастающей последовательности номера заявок, которые могут быть обслужены изделием типа i , максимальный номер заявки — N_i . Во второй — стоимость обслуживания s_j^i заявки j изделием типа i , рассчитанная для оптимальной партии. В третий — число изделий n_j^i типа i , необходимое для обслуживания заявки j . Остальные столбцы заполняются в процессе решения задачи. Число таких таблиц совпадает с числом типов изделий.

Процедуру построения оптимального типоразмерного ряда представим в виде последовательности шагов:

1. Определяем максимально возможную партию для каждого типа изделия. Для этого в таблицах находим сумму элементов второго столбца.

2. Рассчитываем коэффициент партионности Π^i (исходя из максимально возможной партии).

3. С учетом коэффициента партионности пересчитываем стоимость обслуживания S_j^i и заносим в таблицу $S_j^i = s_j^i \Pi^i$.

4. Просматривая таблицы, для каждой из заявок выбираем минимальную стоимость обслуживания $S_{j \min}$.

5. В последний столбец таблиц заносим значение параметра α_j^i , которое определится $\alpha_j^i = S_j^i / S_{j \min}$.

Очевидно, что $\alpha_j^i \geq 1$, причем чем больше α_j^i , тем большую стоимость получим при обслуживании изделием типа i заявки j .

Номер заявки	σ^i	n^i	p^i	s^i	α^i
1	σ_1^i	n_1^i	p_1^i	s_1^i	α_1^i
2	σ_2^i	n_2^i	p_2^i	s_2^i	α_2^i
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
N^i	$\sigma_{N^i}^i$	$n_{N^i}^i$	$p_{N^i}^i$	$s_{N^i}^i$	$\alpha_{N^i}^i$

6. Задаемся допустимым значением $\alpha_{\text{доп}} > 1$ и во всех таблицах исключаем строки, где значение параметра α_i^i удовлетворяет условию $\alpha_i^i > \alpha_{\text{доп}}$.

Проверяем, все ли заявки сохранились в таблицах. Если нет, то включаем заявку в ту таблицу, для которой значение α_i^i минимально.

7. На основании сохранившихся строк составляем новые таблицы, отличающиеся от первых длиной списка (числом строк).

8. Повторяем пункты 1—7 до тех пор, пока число оставшихся строк во всех таблицах не совпадет с числом заявок. Значение $\alpha_{\text{доп}}$ на каждой итерации можно уменьшать. Удобно для этой цели взять геометрическую прогрессию.

В результате некоторые таблицы могут оказаться пустыми, а другие будут содержать одну или несколько заявок, причем каждая заявка останется только в одной из таблиц.

Используя данные последней итерации, определяем общее число необходимых изделий, число изделий для обслуживания каждой заявки и стоимость их обслуживания. Таким образом, синтезируем типоразмерный ряд изделий.

Алгоритм реализован на языке ПЛ-1, просчитан ряд контрольных примеров на ЕС-1022. Эффективность алгоритма существенно повышается с увеличением размерности задачи.

Специфика метода объединения заявок такова, что позволяет использовать его не только при проектировании оптимального типоразмерного ряда изделий (нет ограничений на величину серии каждого типа изделия), но и при распределении изделий по заявкам (фиксированная или ограниченная серия каждого типа изделий).

Список литературы: 1. Дабазян А. В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств.— М.: Машиностроение, 1979.— 280 с. 2. Дабазян А. В., Макаренко А. В. Применение последовательной дихотомии при построении оптимального типоразмерного ряда КТС.— В кн.: Некоторые методы оптимизации, идентификация и распределения ресурсов в сложных системах.— К.: ИК АН УССР, 1980, с. 15—23. 3. Дабазян А. В., Макаренко А. В. Оптимальная дихотомия поля заявок и ее алгоритм.— Вестн. Харьк. политехн. ин-та, № 163. Прикладная механика и процессы управления, 1980, вып. 2, с. 55—58.

Поступила в редколлегию 24.02.82.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ТИПОРАЗМЕРНЫХ РЯДОВ ИЗДЕЛИЙ

Наиболее важные этапы построения оптимальных типоразмерных рядов изделий — этапы формирования поля заявок и аппроксимации аналитическими зависимостями затрат на обслуживание заявок [1].

При формировании поля заявок важно правильно ранжировать значения признаков, которые однозначно идентифицируют каждое требование [1].

ГОСТ 8032—56 рекомендует строить ряды на базе предпочтительных чисел. Ряды представляют собой геометрические прогрессии, знаменатели которых могут принимать значения

$$\sqrt[R]{10}, R \in \{5, 10, 20, 40, 80\}.$$

Пусть имеются два требования T_1 и T_2 , которые характеризуются одним признаком X . Пусть численные значения признака соответственно равны X_1 и X_2 . Рассмотрим, в каком случае эти два требования можно отнести к одной заявке. Для этого представим требования в одномерном пространстве осью, соответствующей признаку X . Произведем разбиение этой оси при помощи

ряда предпочтительных чисел со знаменателем $\sqrt[R]{10}, R \in \{5, 10, 20, 40, 80\}$. В результате получим ряд зон, границы которых определяются значениями предпочтительных чисел. Введем сквозную нумерацию полученных зон. Очевидно, что номер зоны является функцией значений признаков $N = N(X)$.

Пусть значение признака X попадает в интервал с границами

$$(\sqrt[R]{10})^{n-1} < X < (\sqrt[R]{10})^n.$$

Прологарифмировав это выражение, получим

$$n - 1/R < \lg X \leq n/R$$

или

$$n - 1 < R \lg X \leq n.$$

Введем оператор FLOOR, который выделяет целую часть числа. Тогда номер зоны можно определить через значение признака X :

$$N = \text{FLOOR}(R \lg X). \quad (1)$$

Используя выражение (1), можно определить номер зоны, в которую попало требование T_1 :

$$N_1 = \text{FLOOR}(R \lg X_1).$$

Аналогично для требования T_2 имеем

$$N_2 = \text{FLOOR}(R \lg X_2).$$

При этом, если $N_1 = N_2$, то требования T_1 и T_2 относятся к одной и той же зоне, т. е. их можно отнести к одной заявке. Если $N_1 \neq N_2$, то требования T_1 и T_2 относятся к различным заявкам.

В реальных задачах приходится иметь дело не с двумя, а с некоторым множеством γ требований, которые характеризуются не одним, а ν признаками. Для этого случая рассмотрим матрицы X и N :

$$X = \begin{pmatrix} x_{11}x_{12} & \dots & x_{1\nu} \\ x_{21}x_{22} & \dots & x_{2\nu} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{\gamma 1}x_{\gamma 2} & \dots & x_{\gamma \nu} \end{pmatrix}; \quad N = \begin{pmatrix} N_{11}N_{12} & \dots & N_{1\nu} \\ N_{21}N_{22} & \dots & N_{2\nu} \\ \dots & \dots & \dots \\ N_{\gamma 1}N_{\gamma 2} & \dots & N_{\gamma \nu} \end{pmatrix},$$

где x_{ik} — значение k -го признака в i -м требовании; $N_{ik} = \text{FLOOR}(R \lg x_{ik})$ — номер зоны, в которой находится k -й признак i -го требования.

Очевидно, что теперь задачу формирования заявок можно свести к выбору одинаковых строк матрицы N .

Рассмотрим двумерное пространство параметров требований. Через C_i , $i \in \{1, 2\}$ — обозначим число разбиений по осям X_1 и X_2 . Номера заявок поставим в соответствие с номерами клеток, полученных после разбиения поля требований. Причем номер заявки для требования T с координатами X_1 и X_2 будем определять по формуле

$$N = C_1(n_2 - 1) + n_1,$$

где

$$n_1 = \text{FLOOR}(R \lg X_1); \quad n_2 = \text{FLOOR}(R \lg X_2).$$

Для определения номера заявки, к которой относится требование $T(X_1, X_2, X_3)$ для случая трехмерного поля заявок, будем иметь формулу

$$N = C_1C_2(n_3 - 1) + C_1(n_2 - 1) + n_1,$$

где $n_3 = \text{FLOOR}(R \lg X_3)$.

Аналогично рассуждая для случая, когда каждое из требований характеризуется L параметрами, получим

$$N = \sum_{i=2}^L \prod_{j=1}^{i-1} C_j(n_i - 1) + n_1,$$

где

$$n_j = \text{FLOOR}(R \lg X_j), \quad j = \overline{1, L}.$$

Введенные правила нумерации заявок позволяют совершить обратный переход, т. е., имея в рассмотрении некоторый номер заявки N , можно получить все ее параметры.

Пусть поле заявок имеет размерность L . Известно, что некоторая группа требований относится к заявке с номером N . Вычислим параметры этой заявки. Очевидно, что номер зоны, к которой относится L -й параметр любого из требований, входящих в данную заявку, можно найти следующим образом:

$$n_L = \text{CEIL} \left(N / \prod_{i=1}^{L-1} C_i \right), \quad (2)$$

где CEIL — оператор нахождения ближайшего целого значения, большего или равного аргументу.

Переход от L -мерного пространства параметров к $L-1$ -мерному осуществляется по формуле

$$N1 = N - \prod_{i=1}^{L-1} (n_L - 1),$$

где $N1$ — проекция заявки с номером N , вычисленного в L -мерном пространстве на $L-1$ -мерное пространство. Аналогично (2) имеем

$$n_{L-1} = \text{CEIL} \left(N1 / \prod_{i=1}^{L-2} C_i \right).$$

В общем случае процедуру восстановления параметров заявок можно представить в виде последовательности операторов

$$n_{L-j+1} = \text{CEIL} \left(N / \prod_{i=1}^{L-j} C_i \right); \quad N = N - \prod_{i=1}^{L-j} C_i (n_{L-j+1} - 1);$$

$$j = 1, 2, \dots, L-1.$$

Так как $n_j = \text{FLOOR} (R \lg X_j)$, $j = 1, 2, \dots, L$, то параметры заявки X_j можно найти по формуле $X_j = 10^{n_j/R}$, $j = \overline{1, L}$.

Аппроксимация затрат на обслуживание заявок связана, прежде всего, с выбором вида аппроксимирующих функций. Как правило, технико-экономические параметры связаны мультипликативно, т. е. один из параметров может быть выражен через произведение функций, зависящих от других параметров [1—3]. В этих условиях задача аппроксимации сводится к выбору вида функций — сомножителей и оцениванию неизвестных коэффициентов в выбранных функциональных зависимостях на основе обработки имеющейся статистики. Как правило, выбор вида функций — сомножителей в мультипликативных моделях в основном базируется на опыте и интуиции исследователя. В таких условиях скорее всего можно получить модель, которая больше приспособлена к имеющейся выборке, чем к лежащей в ее основе реальной действительности. В работах [4, 5] сделана

попытка формализовать процесс выбора вида аппроксимирующего выражения. Для этих целей используются функции с гибкой структурой (ФГС). При использовании функций с гибкой структурой в процессе минимизации ошибки между значениями ФГС и статистическими данными формируется оптимальный вид аппроксимирующей кривой. Однако процесс получения ФГС приводит к системе трансцендентных уравнений, которые в подавляющем большинстве случаев не имеют аналитических решений. Поэтому практическая реализация этого метода связана с большими трудностями.

Рассмотрим метод аппроксимации мультипликативными функциями статистических данных в случае аддитивной ошибки. Метод основан на идеях, изложенных в [6]. Если предположить, что наблюдаемая ошибка распределена по нормальному закону с нулевым средним и постоянной дисперсией, то, согласно принципу максимума правдоподобия, для нахождения функции, которая на основе имеющейся статистики наилучшим образом приближала бы исследуемый процесс, необходимо минимизировать функционал

$$J(f_1, f_2, \dots, f_n) = \int_{\Omega(n)} [S(x_1, x_2, \dots, x_n) - \lambda \prod_{i=1}^n f_i(x_i)]^2 d\Omega(n). \quad (3)$$

Здесь $J(f_1, f_2, \dots, f_n)$ — функционал, зависящий от вида функций $f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n)$; $S(x_1, x_2, \dots, x_n)$ — статистическая функция; λ — коэффициент.

Если функции $f_i(x_i)$ нормированы, и статистическая функция $S(x_1, x_2, \dots, x_n)$, заданная в единичном кубе $\Omega(n)$ n -мерного евклидова пространства, суммируема с квадратом в нем, то для нахождения минимума функционала (3) будем иметь следующую систему нелинейных интегральных уравнений:

$$\lambda f_i(x_i) = \int_{\Omega_i(n-1)} S(x_1, x_2, \dots, x_n) f_1(x_1) f_2(x_2) \dots \dots f_{i-1}(x_{i-1}) f_{i+1}(x_{i+1}) \dots f_n(x_n) d\Omega_i(n-1), \quad i = \overline{1, n}$$

В практических задачах статистическая функция $S(x_1, x_2, \dots, x_n)$ задается в дискретном виде (в виде таблиц), поэтому для этого случая система нелинейных интегральных уравнений (3) преобразуется в систему нелинейных алгебраических уравнений (см. [6]). Решать такую систему уравнений удобно методом последовательных приближений.

Отличительная особенность описанного метода — получение мультипликативных аппроксимирующих функций без какой-либо априорной информации о виде функций-сомножителей.

Список литературы: 1. Дабазян А. В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств. — М.: Машиностроение, 1979. — 280 с. 2. Иван-

лов Ю. П., Лотов А. В. Математические модели в экономике.— М.: Наука, 1979.—304 с. 3. Уайлд Д. Оптимальное проектирование.— М.: Мир, 1981.—200 с. 4. Куликов Н. К. Многофакторное прогнозирование на основе функций с гибкой структурой.— Основные проблемы и задачи научного прогнозирования.— М.: Знание, 1972.—151 с. 5. Куликов Н. К. Элементы высшей математики на основе функций с гибкой структурой.— М.: МТИПП, 1972.—125 с. 6. Этернач Н. Н. Математические машины непрерывного действия.— М.: Машгиз, 1957.—230 с.

Поступила в редколлегию 24.02.87.

УДК 658.21

С. В. ШЕВЧЕНКО

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИ- ЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рациональное размещение систем обслуживания технических средств является одним из важных этапов повышения эффективности территориальной организации промышленного производства. Решение этой проблемы в общем случае сводится к задаче математического программирования, которая в работе сформулирована следующим образом.

Сформировать оптимальную сеть систем технического обслуживания (СТО) на множестве возможных точек размещения $J = \{1, 2, \dots, n\}$ на основании следующих исходных данных: известно множество точек (поле заявок) $I = \{1, 2, \dots, m\}$, генерирующее спрос w_i единиц обслуживания, $i \in I$. На множестве $I \times J$ определена матрица полных транспортных затрат $C = \{c_{ij}\}$. Затраты на создание и эксплуатацию СТО с загрузкой z_j , $j \in J$, выражается функцией

$$f_j(z_j) = \begin{cases} 0, & z_j = 0, \\ a_{pj} + g_{pj}(z_j), & b_{p-1,j} < z_j \leq b_{pj}, \quad p \in R_j, \quad b_{0j} = 0, \end{cases}$$

где a_{pj} — приведенные капитальные вложения на создание СТО p -го типа; $g_{pj}(z_j)$ — вогнутая функция, определяющая эксплуатационные издержки СТО p -го типа в зависимости от загрузки z_j ; b_{pj} — мощность СТО p -го типа.

В качестве критерия эффективности выбраны суммарные транспортные затраты по доставке заявок к месту технического обслуживания и общие затраты, связанные с созданием новых и эксплуатацией старых СТО.

Введем в рассмотрение логические переменные:

$$\forall i \in I, \forall j \in J: x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я заявка прикреплена к } j\text{-й СТО;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\forall j \in J, \forall p \in R_j: y_{pj} = \begin{cases} 1, & \text{если для } j \in J \text{ используется СТО } p\text{-го типа;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда задачу можно записать в следующем виде. Найти

$$\min S = \sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} c_{ij} x_{ij} + \sum_{p \in R_j} y_{pj} \left(a_{pj} + g_{pj} \left(\sum_{i \in I} w_{ij} x_{ij} \right) \right) \right) \quad (1)$$

при условии

$$\forall i \in I: \sum_{j \in J} x_{ij} = 1; \quad (2)$$

$$\forall j \in J: \sum_{i \in I} w_{ij} x_{ij} \leq \sum_{p \in R_j} b_{pj} y_{pj}; \quad (3)$$

$$\forall j \in J: \sum_{p \in R_j} y_{pj} \leq 1; \quad (4)$$

$$\forall i \in I, \forall j \in J, \forall p \in R_j: x_{ij}, y_{pj} \in [0, 1]. \quad (5)$$

(1) — (5) относится к классу задач дискретного программирования с нелинейной целевой функцией и линейными ограничениями [1]. Для решения приведенной задачи можно применить метод ветвей и границ.

Рассмотрим алгоритм вычисления оценки ветвимого множества.

Для множества допустимых решений задачи (1) — (5) характерно

$$\forall i \in I: \exists k \in J: x_{ik} = 1, \text{ а } \forall j \in J, j \neq k: x_{ij} = 0; \quad (6)$$

$$\forall j \in J, \forall p \in R_j: y_{pj} \leq 1; \text{ если } \exists r \in R_j: y_{rj} = 1, \text{ то } \forall p \neq r: y_{pj} = 0. \quad (7)$$

Условиям (6), (7), за исключением целочисленности переменных y_{pj} , удовлетворяет множество вершин линейного многогранника, построенного на базе ограничений исходной задачи:

$$\forall i \in I: \sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad (8); \quad \forall j \in J: \sum_{i \in I} w_{ij} x_{ij} = \sum_{p \in R_j} b_{pj} y_{pj} \quad (9);$$

$$\forall j \in J: \forall p \in R_j: 0 \leq y_{pj} \leq 1 \quad (10); \quad \forall i \in I, \forall j \in J: x_{ij} \geq 0 \quad (11).$$

При этом произвольной вершине многогранника (8) — (11) соответствует определенный набор $\{x_{ij}\}$, состоящий из нулей и единиц, который задает распределение заявок по центрам обслуживания, а также набор $\{y_{pj}\}$, где компоненты y_{pj} , соответствующие выбранным типам СТО, равны

$$y_{pj} = \frac{\sum_{i \in I} w_{ij} x_{ij}}{b_{pj}}; \quad \forall r \in R_j, r \neq p: y_{rj} = 0.$$

Очевидно, что всю эту информацию полностью отражают базисные компоненты вершин.

Таким образом, для получения оценки исходного множества необходимо найти минимум целевой функции (1) на множестве вершин многогранника (8) — (11). Перебор всех вершин эквивалентен полному перебору. Поэтому вычисление оценки предлагается осуществлять путем перехода от одной вершины к соседней в направлении антиградиента целевой функции. Близость выбираемого направления к направлению антиградиента можно оценить величиной скалярного произведения соответствующих нормированных векторов.

Следует отметить, что имеется два качественно различных вида соседних вершин, определяющих изменение прикрепления некоторой заявки к СТО либо изменение типа СТО по отношению к данной вершине.

Обозначим базисные компоненты исходной вершины вектором

$$X^{(0)} = \{x_{1j_1}, \dots, x_{1j_k}, \dots, x_{m/m}, y_{p_1}, \dots, y_{p_k}, \dots, y_{p_l}, \dots, y_{p_n}\}.$$

Тогда базисные компоненты двух видов соседних вершин в общем случае можно представить векторами $\forall i \in I, \forall k, l \in J, \forall r \in R_k$:

$$X^{(1)} = \{x_{1j_1}, \dots, x_{1j_l}, \dots, x_{m/m}, y_{p_1}, \dots, y_{p_k}, \dots, y_{p_l}, \dots, y_{p_n}\};$$

$$X^{(2)} = \{x_{1j_1}, \dots, x_{1j_k}, \dots, x_{m/m}, y_{p_1}, \dots, y_{r_k}, \dots, y_{p_l}, \dots, y_{p_n}\},$$

а соответствующие векторы направлений $\sigma^{(1)} = X^{(1)} - X^{(0)}$ и $\sigma^{(2)} = X^{(2)} - X^{(0)}$ будут иметь ненулевые компоненты:

$$\sigma_{1j_k}^{(1)} = -1; \quad \sigma_{1j_l}^{(1)} = 1; \quad \sigma_{p_k}^{(1)} = y_{p_k}^{(1)} - y_{p_k}^{(0)}; \quad \sigma_{p_l}^{(1)} = y_{p_l}^{(1)} - y_{p_l}^{(0)};$$

$$\sigma_{r_k}^{(2)} = y_{r_k}^{(2)}; \quad \sigma_{p_k}^{(2)} = -y_{p_k}^{(0)}.$$

При этом скалярное произведение вектора антиградиента целевой функции и соответствующего вектора направления будет равно

$$L^{(1)} = -\frac{1}{\|\nabla S\|} \frac{1}{\|\sigma^{(1)}\|} \left(\frac{\partial S}{\partial x_{1j_l}} - \frac{\partial S}{\partial x_{1j_k}} + \frac{\partial S}{\partial y_{p_k}} (y_{p_k}^{(1)} - y_{p_k}^{(0)}) + \right. \\ \left. + \frac{\partial S}{\partial y_{p_l}} (y_{p_l}^{(1)} - y_{p_l}^{(0)}) \right);$$

$$L^{(2)} = -\frac{1}{\|\nabla S\|} \frac{1}{\|\sigma^{(2)}\|} \left(\frac{\partial S}{\partial y_{r_k}} y_{r_k}^{(2)} - \frac{\partial S}{\partial y_{p_k}} y_{p_k}^{(0)} \right),$$

где $\|\nabla S\|$ и $\|\sigma\|$ — нормы соответствующих векторов.

Таким образом, для вычисления оценки ветвимого множества необходимо выбрать начальную вершину и осуществить итеративный переход от исходной вершины к соседней, выбирая ее по

максимальному положительному скалярному произведению среди $L^{(1)}$ и $L^{(2)}$. Если в направлении соседних вершин все скалярные произведения неположительны, то данная вершина соответствует в общем случае некоторому локальному экстремуму задачи. Для отыскания глобального экстремума начальную вершину следует выбирать несколько раз с помощью датчика случайных чисел. Кроме того, начальную вершину можно также выбрать с помощью решения задачи линейного программирования

$$\min S^{(0)} = \sum_{i \in J} \left(\sum_{i \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{p \in R_j} a_p |y_p| \right)$$

при ограничениях (2) — (4) и неотрицательности переменных.

Общая схема решения задачи выглядит следующим образом [2]. Вычисляем оценку исходного множества $G^{(0)}$. Ветвление, как показывает вычислительный опыт, целесообразно осуществлять по максимальной нецелочисленной переменной y_{pj} . При этом очередное множество с минимальной оценкой $G_r^{(k)}$ на k -м уровне ветвления разбиваем на два подмножества $G_{r0}^{(k)}$ и $G_{r1}^{(k)}$. Разбиение производим двумя дополнительными ограничениями:

$$G_{r0}^{(k)} = [G_r^{(k)}, y_{pj} = 0]; \quad G_{r1}^{(k)} = [G_r^{(k)}, y_{pj} = 1],$$

которые учитываем вместе с аналогичными, полученными на предыдущих этапах. Далее производим оценку множеств $G_{r0}^{(k)}$ и $G_{r1}^{(k)}$, их переобозначение совместно с множествами, не подвергавшимися ветвлению, и переход к $(k+1)$ -му уровню. Если на данном уровне множество с минимальной оценкой имеет все целочисленные переменные, то задача решена, в противном случае ветвление продолжается.

Решение различных тестовых примеров на ЭВМ показало хорошую работоспособность алгоритма.

Список литературы: 1. Дабасян А. В., Шевченко С. В. О задаче оптимального размещения систем обслуживания технических средств. — Рукопись деп. в УкрНИИНТИ, 1981, № 3056. — 25 с. 2. Корбут А. А., Фиксельштейн Ю. Ю. Дискретное программирование. — М.: Наука, 1970. — 89 с.

Поступила в редколлегию 24.02.82.

УДК 658.012

М. К. КОНОВАЛЕНКО

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КИБЕРНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЯ

При решении ряда оптимизационных задач в автоматизированных системах управления производством объектом исследования часто является продукция предприятий. Установление

связей и зависимостей с другими элементами производственного процесса в этом случае осуществляется путем математического и кибернетического моделирования рассматриваемых элементов системы, в том числе и продукции производства.

Характер и вид модели зависят от предполагаемой конечной цели исследования. В одних случаях — это установление зависимостей между качественными показателями и потребительскими свойствами изделий, в других — моделируются конструктивная схема и связь технических параметров, в третьих — технологический процесс изготовления.

При формировании оптимальных плановых заданий предприятиям нужна модель для установления связи между элементами производственного процесса, расходуемыми ресурсами и моделями других предметов труда.

В процессе производства взаимодействуют три основные группы элементов: предметы труда, средства труда и труд производителей. Эффективным производственный процесс может быть только в том случае, когда между указанными группами установлены необходимые пропорции и связи. Последние характеризует математическая модель выпускаемой продукции.

Затраты ресурсов и труда на изготовление продукции могут быть определены множеством Q , составными частями которого являются отдельные виды q_i : $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, $i = \overline{1, n}$ (1).

Каждый вид продукции имеет те или другие затраты q_i . Поэтому изделие можно рассматривать как систему, элементами которой будут овеществленные затраты труда, материала, энергии, основных и оборотных фондов и т. д. Эта система характеризуется определенными показателями качества производственной продукции.

Всякая система состоит из множества элементов Q и отношений между ними R , которые определяют полное множество свойств системы $Y = Q \times R$ (2).

Декартово произведение $S = Q \times R \times Y$ (3) определяет полное множество возможных в изготовлении товаров с использованием различных сочетаний элементов, связей и свойств.

Как видно из выражения (3), конкретное изделие однозначно определено только в том случае, если заданы подмножества элементов $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_i\}$, $Q \subset Q_0$, отношения между ними $R = \{r_1, r_2, \dots, r_j\}$, $R \subset R_0$ и свойства $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$, $Y \subset Y_0$.

При этом множества Q , R и Y являются конечными и поддаются информативному описанию только в том случае, если определен уровень детализации системы. Задание допустимых подмножеств $Q \subset Q_0$ и $R \subset R_0$ недостаточно для определения системы, так как на этих подмножествах можно реализовать, как видно из (2) и (3), множества различных свойств системы. Но задание конечного подмножества свойств $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$, которыми

должно обладать изделие как система, даже при неограниченных множествах Q и R позволяет синтезировать систему.

Неопределенность в этом случае заключается в том, что подмножества желаемых свойств Y можно реализовать различными сочетаниями элементов и отношений, т. е. задание конечного Y определяет не систему, а подмножество систем $S^i = (S_1, S_2, \dots, S_i)$, обладающих заданными свойствами, но с различными структурами и связями.

В результате исследования структурного состава затрат при производстве некоторых изделий и комплексов с целью формализации и решения задач на ЭВМ было установлено:

1) сложные изделия и комплексы с заданным качеством и свойствами можно выразить некоторыми конечными множествами структурно или функционально связанных между собой элементов;

2) отражение структурных или функциональных связей вхождений элементов затрат в изделие и в комплексы достаточно формализуются средствами теории графов;

3) в различных связях структур изделий и комплексов, как правило, наблюдается значительная повторяемость элементов затрат;

4) ввиду наличия больших множеств элементов, составляющих изделия и комплексы и ограничения по времени на процессы их синтеза, необходимо, чтобы эти процессы в ЭВМ обладали хорошей избирательностью;

5) как видно из (1) и (2), для полного отражения изделия как системы необходимым и достаточным условием является рассмотрение их в трехмерном пространстве. Выразив все составные части затрат на производство изделий в виде конечных и упорядоченных множеств вершин, а их связи — ребрами, получим топологию состава затрат на производство изделия в виде конечного объемного графа. Объемное отображение мультиграфа изделия и его частей см. на рис. 1.

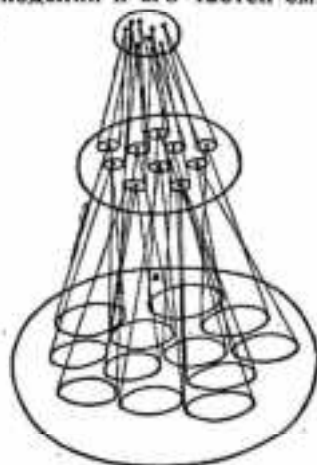


Рис. 1

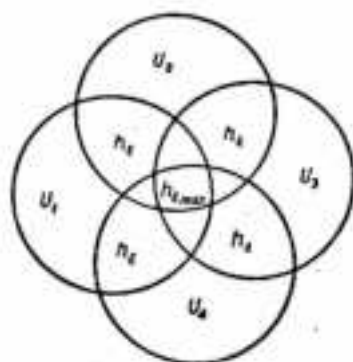


Рис. 2

В общем виде основа метода эффективного моделирования изделия заключается в следующем. Предположим, необходимо смоделировать на ЭВМ систему некоторого сложного изделия S с заданными свойствами Y с весьма сложными пересекающимися между собой составными частями U_i , где $i=1, 2, \dots, \tau-1, \tau$ (τ — номер составной части затрат на изделие).

При производстве различных видов товаров затраты производят непосредственно на изготовление изделия, оснастку и инструмент, необходимые для технологического процесса, а также вспомогательных и обслуживающих процессов, связанных с производством. При этом система затрат на изделия состоит из:

а) множества элементов на основной, вспомогательный и обслуживающие процессы q_j^m , где m — показатель ранга вхождения q_j в процессе производства. Показатель $m=1$ означает вхождение затрат непосредственно на производство изделия, $m=2$ является показателем осуществления вспомогательных или обслуживающих их процессов, т. е. через q_j^2 и q_j^1 и другие ($1 < j < \varphi$) мы учитываем полный расход ресурсов на все виды процессов;

б) множества элементов обособленных видов затрат d_k , входящих в S , U_i или q_j^2 ($1 < K < \psi$, φ и ψ — целые положительные числа).

Выражение отношений элементов q_j^m и d_k в системах обычно имеет двухместное значение по принципу «что входит» и «куда входит».

Из условия вхождения составных частей затрат $U_1, U_2, \dots, U_i$ в общий комплекс множеств S или Q ввиду использования для товаров производства одинаковых ресурсов при отображении их на некотором универсальном множестве Q они между собой пересекутся, как показано на рис. 2. При этом каждое пересечение, обозначенное через E_k , будет характеризовать степень применимости элементов затрат в изделиях.

Если каждому E_k поставить в соответствие число h_k , т. е. частоту повторения элементов этих затрат в изделиях, и по h_k упорядочить E_k в исходной информации так, как показано на рис. 3, то такое эвристическое правило, примененное при моделировании изделий по затратам, позволит вести его в оптимальном режиме. В этом случае ребра пространственного графа комплекса сплетутся и получится сжатое объемное отображение структур U_i в виде сжатого

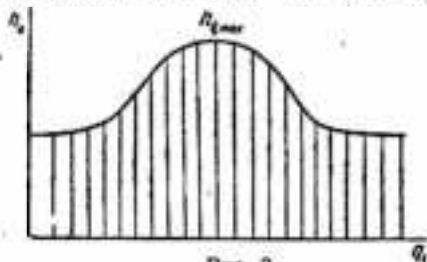


Рис. 3

объемного графа с циклами. Назовем его мультиграфом и обозначим G .

В процессе моделирования появляются всевозможные комбинации пересечения множества, и каждое пересечение E_i характеризует число h_i — степень применимости элементов затрат E_i в изделиях. Кроме этого, здесь же можно решить вопрос квазиоптимизации предполагаемого к моделированию мультиграфа.

Существование каждой системы преследует достижение определенной цели. Под целью существования какого-либо изделия как системы будем понимать необходимость удовлетворения определенных потребностей общества (экономических, эстетических, технических, психологических и т. д.).

Для целенаправленной деятельности по синтезу систем (изготовление изделия) должны быть заданы свойства ее в виде определенных показателей, условий использования, внешней среды и т. д. Задание конкретных показателей не всегда возможно в силу некоторой неопределенности условий использования системы. Поэтому иногда желаемые свойства выражаются в виде обобщенных интегральных характеристик.

Под формализацией свойств системы будем понимать приведение их к виду, допускающему количественную оценку. Формализованные свойства задаются в виде равенств и двух- или односторонних неравенств с определенными направлениями желательного изменения. Множество формализованных свойств (показателей качества) позволяет оценить степень достижения цели. В этом смысле оно будет множеством критериев эффективности системы в то время, как отдельные свойства являются ее частными критериями (показателями качества).

Определение обобщенных количественных оценок эффективности изделия (системы) по множеству критериев может быть сведено к выбору вида функциональной зависимости обобщенной эффективности системы $\mathcal{E}$ от множества формализованных свойств $Y_\Phi = \{Y_{\Phi 1}, Y_{\Phi 2}, \dots, Y_{\Phi k}\}$, $\mathcal{E} = F(Y_\Phi)$ (4).

Задание множества свойств системы по достижению цели определяет, хотя и не явно, границы подмножеств элементов и отношений, на которых может быть синтезирована система, т. е. область существования.

Каждое из свойств, как это видно из выражения (4), можно реализовать только на множествах элементов и отношений между ними. При этом количественная величина формализованного свойства функционально зависит от количественных и качественных характеристик множеств элементов и отношений, на которых оно реализуется. Конкретные значения указанных подмножеств определяют «стоимость» определенного свойства, а множества элементов и отношений, необходимых для реали-

зации всех заданных свойств, «стоимость» системы в целом, т. е.

$$C = \Phi(M_{\Phi}, R_{\Phi}). \quad (5)$$

«Стоимость» является множеством, и получение ее обобщенной количественной оценки имеет трудности. Пути преодоления выражаются в оценке обобщенной эффективности.

Проблема синтеза системы распадается на два этапа: выбор множества желаемых свойств системы и их формализация; выбор оптимального соотношения элементов по удовлетворению целей системы с учетом ограничений, имеющихся на множестве этих элементов.

На первом этапе устанавливаются показатели качества продукции, которая необходима для удовлетворения всесторонних потребностей общества.

Качество y_k выпускаемой продукции — сложное комплексное свойство, эксплицируемое посредством понятий элементарных свойств (l -свойств), т. е. $Y_{k\text{def}} = \{l_i\}$, $i = \overline{1, n}$ (6).

Мерой проявления элементарных свойств являются частные показатели качества, а мерой проявления комплексного свойства служит обобщенный показатель y_k , который может быть выражен в векторной или скалярной форме.

По принятым в настоящее время стандартам применяется следующая номенклатура показателей качества: показатели назначения, характеризующие полезный эффект от использования продукции по назначению и обуславливающие область ее применения; надежности и долговечности; технологичности; эргономические; эстетические; стандартизации и унификации; патентно-правовые; экономические, отражающие затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию или потребление продукции, а также экономическую эффективность эксплуатации.

Приведенная номенклатура показателей качества является укрупненной. Внутри каждого вида можно выделить еще ряд показателей, часть которых может быть выражена количественно, часть — баллами путем экспертных оценок в сравнении с другими изделиями данного вида.

Кроме показателей качества, каждое изделие как система характеризуется еще показателями, определяющими затраты на его производство.

Себестоимость $q_{\text{сб}}$ характеризует затраты предприятия на производство изделий и необходимые для этого производственные и материальные ресурсы.

Материалоемкость $q_{\text{мат}}$ — количество материальных ресурсов, вложенных в изделие.

Суммарная материалоемкость изделия — сумму массы деталей из черных металлов — $D_{\text{ч}}$, деталей из цветных металлов — $D_{\text{цв}}$, из неметаллических материалов $D_{\text{н}}$ и комплектующих и покупных изделий — $D_{\text{к}}$: $q_{\text{мат}} = D_{\text{ч}} + D_{\text{цв}} + D_{\text{н}} + D_{\text{к}}$ (7).

Трудоемкость изделия включает в себя количество живого труда в чел.-ч по специальностям. Основан этот элемент на указании, что у всех товаров есть общее свойство, которое состоит в том, что они есть продукты человеческого труда, в силу этого предлагается установить такую модель, которая могла бы обеспечить связь изделия как системы с производственной системой и системой окружающей среды по трудовым ресурсам.

Суммарная трудоемкость изделия $q_{тр}$ определяется по формуле $q_{тр} = t_z + t_m + t_{св} + t_{сб} + t_{пр}$ (8), где t_z — трудоемкость заготовительных работ; t_m — механической обработки; $t_{св}$ — сварочных работ; $t_{сб}$ — сборочных, монтажных и испытательных работ; $t_{пр}$ — прочих работ.

Относительная трудоемкость изделия по видам работ T_{oi} определится:

$$T_{o,z} = t_z/q_{тр} \text{ (9); } T_{o,m} = t_m/q_{тр} \text{ (10); } T_{o,св} = t_{св}/q_{тр} \text{ (11);}$$

$$T_{o,сб} = t_{сб}/q_{тр} \text{ (12); } T_{o,пр} = t_{пр}/q_{тр} \text{ (13),}$$

где $T_{o,z}$ — относительная трудоемкость заготовительных работ; $T_{o,m}$ — механических работ; $T_{o,св}$ — сварочных работ; $T_{o,сб}$ — сборочных работ; $T_{o,пр}$ — прочих работ.

Энергоемкость изделий характеризуется потребным количеством различных видов энергии для единицы продукции $q_{эл}$ — потребное количество электроэнергии, $q_{тепл}$ — тепловой энергии, q_g — газа, q_v — воды и др.

Машинное время $q_{маш}$ — показывает затраты оборудования по обработке предметов труда. Оно является комплексной величиной, так как для изготовления единицы продукции требуются различные виды оборудования. Таким образом,

$$q_{маш} = \sum_{i=1}^m t_{маш_i} \quad (14)$$

где $t_{маш_i}$ — трудоемкость изготовления изделия на i -й группе оборудования.

Накладные расходы как элемент характеризуют дополнительные затраты труда, материалов, энергии и финансов, которые невозможно учесть на единицу продукции. При моделировании изделия они выступают как дополнительные затраты в смете себестоимости, а в модели производственной системы накладные расходы могут быть овеществлены и разделены на отдельные ресурсные элементы.

Суммарный объем затрат по изделию в целом может быть получен путем суммирования данного элемента по всем связям вхождения его в систему.

Исследования показали, что в общем случае мультиграф модели изделия весьма сложен, поэтому за форму представления его можно взять матрицу смежности вершин

$$R_n = \|r_{ij}\| = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

где

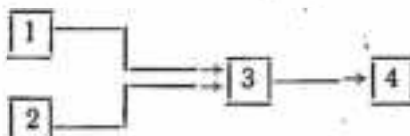
$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } r_i \in F_{r_j} \\ 0, & \text{если } r_i \notin F_{r_j} \end{cases}$$

Наглядно это можно продемонстрировать на следующем примере.

Пусть задан граф R_n , матрица смежности которого

$$R_n = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Вершины 1 и 2 соответственно являются вершинами «входа» в граф R_n :



Граф R_n является информационно-математической моделью изделия, которая может быть математически связана с математическими моделями предприятия и региона для решения оптимизационных задач.

Поступила в редколлегию 26.11.82.

УДК 658.012

А. С. ТЕЛЕТОВ

О НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ АСУ

Существующие в настоящее время системы управления качеством требуют большого количества специально для этого создаваемых документов оперативной информации в цехах и отделах предприятия. Функционирование систем управления качеством практически является объединением этой информации в единое целое. Кроме этого, в оценке качества работы подразделений зачастую присутствует субъективный фактор.

Современные системы управления качеством продукции должны являться логическим завершением систем оперативно-го управления производством, технико-экономического планирования и давать возможность оценить качество изготавливаемой продукции в целом. Одним из важнейших показателей качества продукции, оказывающим влияние на стадии изготовления и проявляющимся на стадии эксплуатации, является показатель работы с измерительной техникой. Несоблюдение своевременной поверки средств измерения приводит к снижению ритмичности производства; увеличению количества сверхурочных работ; ухудшению эксплуатационных свойств изделий.

Использование рабочим непроверенного прибора еще не означает, что изготовленные изделия или детали будут забракованы, однако возможность появления брака увеличивается. Воспользуемся понятием о предпосылках к появлению брака*.

Предпосылка к появлению брака — явление, приводящее к угрозе выпуска бракованного изделия и представляющее собой сигнал для приложения определенных управляющих воздействий во избежание выпуска брака. В данном случае такой сигнал — это централизованное своевременное напоминание о представлении измерительного прибора на поверку.

Задача «Контроль за своевременной поверкой средств измерения» в условиях работы АСУП Сумского завода электронных микроскопов решается в последний рабочий день каждого месяца.

Наиболее объективным критерием оценки снижения качества труда от несвоевременности поверки средств измерения является показатель, зависящий от времени просрочки поверки и процента непроверенных средств измерения. Расчет показателя снижения коэффициента качества труда K_c по подразделению производится по формуле

$$K_c = k \frac{1}{N} 100 \sum_{i=1}^n (D_{\tau_i} - D_{\alpha_i}),$$

где k — нормативный коэффициент снижения для определенного цеха, за просрочку одного дня для поверки 1 % цеховых средств измерения; D_{τ_i} — дата текущего месяца; D_{α_i} — дата очередной поверки; N — общее число средств измерения, которые необходимо поверить в каждом месяце; n — число средств измерения не поверенных в срок по определенному цеху.

Приведенное выражение используется для разработки алгоритма оценки качества труда цехов и отделов по показателю своевременности поверки средств измерения, что стимулирует работу этих подразделений. Блок-схема алгоритма с нормативным коэффициентом снижения 0,02 приведена на рис. 1. (M_{τ} — текущий месяц, M_{α} — месяц поверки).

* Основы АСУ промышленными предприятиями /Под ред. В. Н. Махрова.— М.: Наука, 1977.— 319 с.

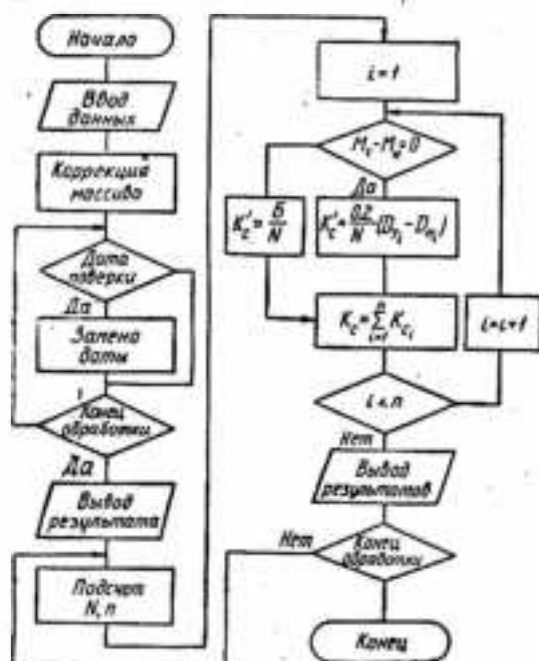


Рис. 1

Внедрение задачи позволяет получать научно обоснованные данные для проверки экспериментов в лабораториях конструкторского бюро, уменьшает количество исправимого брака в цехах, сводит до минимума время поиска средств измерения в цехах и отделах, освобождает сотрудников отдела метрологии от кропотливой рутинной работы. В результате решения задачи подразделения завода получают «Ведомость средств измерения, передаваемых на поверку» и «Ведомость средств измерения, не поверенных в срок», отдел метролога — «Ведомость средств измерения, подлежащих поверке», группа управления качеством при отделе технического контроля — «Снижение коэффициента качества труда за ... месяц 19... года».

При функционировании задачи используются два массива нормативно-справочной информации: массив средств измерения, имеющихся на предприятии, справочник наименований средств измерения и один массив оперативной информации, представляющий собой перечень не поверенных вовремя средств измерения.

Подобной является и задача «Анализ простоев рабочих и оборудования по заводу».

Учет простоев оборудования по цеху производится по формуле

$$T = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (t_{1jk} + t_{2jk} + \dots + t_{ijk}),$$

где p — номер кода причин простоя; n — время простоя по одноименной причине в рабочем центре; m — количество рабочих центров на участке; l — количество участков в цехе.

Суммарный показатель снижения коэффициента качества труда службе, обеспечивающий процесс производства, зависит от времени простоев рабочих или оборудования

$$K_e = h \sum_{q=1}^d \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^r t_{ijqk},$$

где h — нормативный коэффициент снижения простоя одного рабочего или единицы оборудования за один час; d — количество цехов, для которых решается задача; r — количество различных причин простоя, ответственность за которые несет одна обеспечивающая служба.

Алгоритм решения данной задачи (рис. 2) разбивается как



Рис. 2

бы на две части. В блоках 1—4 происходит подсчет простоев рабочих и оборудования в производственных центрах, формирование и печать выходных данных, используемых в подразделениях для анализа и формирования информации административно-управленческому и инженерному персоналу.

В блоках 5—7 происходит расчет коэффициента снижения качества труда службам, обеспечивающим процесс производства, за каждый наказуемый случай простоев оборудования. Например, за простои из-за отсутствия материалов или комплектующих снижается коэффициент качества у отдела материально-технического снабжения или внешней комплектации; за простои оборудования по причине отсутствия электроэнергии или поломки оборудования — у электроцеха или ремонтно-механического цеха и т. д.

Ежемесячно каждая служба получает ведомость простоев оборудования по своей вине, а группа управления качеством — ведомость снижения качества труда за месяц.

Величина годового экономического эффекта от внедрения этих задач составляет около 15 тыс. р. Экономическая эффективность определяется как $E = MT - K$, где K — приведенные затраты на решение

задачи в условиях работы АСУП; T — периодичность решения задачи в отделе АСУП; M — затраты на одноразовое решение в традиционных условиях и экономия фонда заработной платы производственных рабочих.

Поступила в редколлегию 22.04.82.

УДК 621.391

В. В. ГНИДИН, А. Л. НОСОВ, В. В. ЧЕРНИКОВ

ДАЛЬНОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОСПРИЯТИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ТРАНСПОРТНОМ КОНВЕЙЕРЕ

Важным средством повышения производительности труда в сборочных цехах машиностроительных предприятий является автоматизация процесса подачи деталей. Эту задачу можно решить путем транспортировки конвейером деталей с буферных складов в цех с последующей подачей их на рабочие места при помощи автоматических манипуляторов. Автоматизация этих процессов сопряжена с необходимостью создания системы автоматического восприятия, предназначенной для классификации деталей по номенклатуре и определения их пространственного положения относительно манипулятора.

Традиционные пути решения задачи анализа геометрии объемных объектов при помощи телевизионных камер, стереотелевизионных систем, фотоматриц и комбинированных систем, позволяющих выявлять отдельные информативные точки объектов, как правило, не обеспечивают режим реального времени и работоспособны только в подготовленном рабочем пространстве манипулятора. Особое место заняли дальнометрические обзорно — информационные системы (ДОИС), построенные на базе сканирующего лазерного измерителя расстояний (ЛИР)*. Хорошая освоенность оптического диапазона, коммерчески доступные оптические узлы, позволяющие формировать узконаправленные световые пучки, а также менять направление их распространения в широком диапазоне углов с достаточной скоростью, позволили создать ДОИС, работающие по принципу светолокатора. Широкоугольное сканирование ($\pm 30^\circ$) при помощи электромеханических приводов узла обзора ДОИС, сравнительно легкая обработка информации позволяют эффективно использовать такие системы в устройствах восприятия крупногабаритных деталей. Анализ обобщенной математической модели устройств обзора по критерию времени выполнения условным специализированным оператором преобразования координат показы-

* Охотинский Д. Е. Системы технического зрения на базе полупроводниковых квантовых генераторов. — Пробл. машинного зрения в робототехнике, 1981, вып. 2, с. 10—35.

вает, что наиболее удобной является кинематика, обеспечивающая плоское сканирование сектора обзора.

Предлагаемая для работы в составе системы автоматической подачи крупногабаритных деталей дальнометрическая система автоматического восприятия состоит из ДОИС, включающей ЛИР, электромеханический блок обзора, обеспечивающий плоское сканирование сектора обзора в рабочем пространстве, и блок управления, а также вычислительного устройства, обрабатывающего поступающую информацию. Возможности системы восприятия определяются следующими техническими характеристиками ДОИС: диапазон измеряемых расстояний, $d=0-7$ м; точность измерения расстояний, $\Delta d=\pm 3$ см; сектор сканирования, $\alpha=0-60^\circ$; угол разворота сектора сканирования, $\beta=\pm 90^\circ$; частота зондирования, $f_z=2-5$ кГц; частота сканирования, $f_c=5-10$ Гц.

Обработка информации в системе восприятия осуществляется с помощью программно реализованных подсистем распознавания деталей и определения их пространственного положения. В памяти подсистемы распознавания формируется информационная матрица M размером $i \times j$, где i — число точек измерения дальности в сечении; j — число сечений на детали. В каждую ячейку m_{ij} матрицы M записывается измеренное ДОИС значение дальности до зондируемой точки. Значения исходных метрических признаков описания деталей определяются путем обработки данных матриц M . В результате последующей обработки этих признаков в соответствии с алгоритмом распознавания формируется сигнал классификации, используемый на конвейере для автоматической адресации детали. Правильное функционирование подсистемы распознавания обеспечивается за счет предварительного обучения алгоритма классификации. Сигнал классификации и информация о контуре видимой поверхности детали, получаемая из матрицы M , используется затем во второй подсистеме для определения положения детали относительно автоматического манипулятора.

1. Работа подсистемы распознавания в режиме классификации.

Классифицируемая деталь описывается признаковым словом $\Theta = \bar{A} = \{a_i\}$, $i = \overline{1, M}$, где a_i — бинарный признак, принимающий значение «0» или «1». Переход к указанному представлению от исходного метрического представления признака осуществляется с использованием следующего преобразования: весь диапазон значений признака разбивается на некоторое число интервалов, и каждому интервалу ставится в соответствии один разряд двоичного числа. Если признак принял значение m -го интервала, то m -му разряду присваивается значение «1», все остальные разряды данного признака равны «0». Для удобства принято описание всех деталей одинаковым количеством признаков N . Отсутствие для детали некоторого признака обозначается нулевым значением последнего.

При поступлении на вход подсистемы вектора признаков производится вычисление линейных дискриминантных функций вида $f_k = \sum_i \lambda_k^i a_i$ для $k = \overline{1, L}$, где λ_k^i — весовой коэффициент, характеризующий значимость i -го признака в отношении k -го класса, значение которого определяется в процессе обучения. На заключительном этапе классификации путем сравнения всех значений f_k определяется класс детали $t = \arg \max (f_k)$. В случае возможного возникновения ситуации неопределенности, при которой $f_k = f_l$, $k, l = \overline{1, L}$, $k \neq l$, формируется сигнал «отказ от распознавания».

2. Работа подсистемы распознавания в режиме обучения.

Обучение на уровне распознающей процедуры заключается в начальной установке и коррекции по результатам контрольной классификации весовых коэффициентов λ_k^i . При этом используется обучающая выборка $\Theta^{\text{об}} = \{\Theta_j^{\text{об}}\}$, $j = \overline{1, Q}$, $\Theta_j^{\text{об}} = (\bar{A}_j, t_j) = ((a_i)_j, t_j)$.

Начальная установка λ_k^i осуществляется в соответствии со статистическим показателем информативности i -го разряда признакового вектора по отношению к k -му классу, значение которого определяется по формуле $\lambda_k^i = n_k^i / n_i$, где n_k^i — частота появления единичного значения a_{ij} в k -м классе; n_i — общая частота появления единичного значения a_{ij} , $V_i = \overline{1, Q}$. Проверка корректности начальной установки и текущих значений λ_k^i выполняется путем проведения экзамена для алгоритма распознавания на всех объектах обучающей выборки. Если при контрольной классификации детали, принадлежащей классу t , принято решение c , то производится коррекция весовых коэффициентов:

$$\begin{aligned} \lambda_{t'}^i &= \lambda_{t'}^i + \Delta_{t'}^i, \quad \lambda_c^i = \lambda_c^i - \Delta_c^i, \\ \lambda_k^i &= \lambda_k^i, \quad i = \overline{1, M}, \quad t = t_j, \quad k \neq c, \quad k \neq t, \quad c \neq t. \end{aligned}$$

Коррекция, как правило, обеспечивает правильную классификацию детали после однократного применения процедуры изменения весовых коэффициентов конфликтующих классов t и c при использовании коэффициентов коррекции вида

$$\Delta_k^i = a_i \frac{\sigma + (f_c - f_t)}{2} \frac{\lambda_k^i}{\sum_i \lambda_k^i a_i},$$

где Δ_k^i — порог классификации; $t = \arg \max (f_k)$, если $f_t - f_c > \sigma$.

Введение в выражение для Δ_k^i множителя $\frac{\lambda_k^i}{\sum_i \lambda_k^i a_i}$ обеспечивает учет

информативности i -го признака по отношению к k -му классу деталей. После коррекции значение f_t для заданного класса объектов превышает значение f_c конфликтующего класса на величину σ , что и обеспечивает безошибочную классификацию детали при работе подсистемы в режиме классификации.

3. *Работа подсистемы определения пространственного положения деталей.* Конечность и априорная известность номенклатуры деталей, наличие ограничений на их положение в системе координат конвейера, а также поступление от подсистемы распознавания информации о классе воспринимаемой детали дали возможность свести решение задачи определения пространственного положения деталей к вычислению координат вершин аппроксимирующих их многогранников с дальнейшим определением для последних угловой ориентации. С учетом специфики работы ДООС и удобства выполнения вычислений метрических характеристик деталей в декартовых координатах решение задачи разбито на следующие этапы: предварительная обработка информации о точках, представляющих видимый контур детали; сегментация контурной линии; определение вершин аппроксимирующего многогранника и его углового положения в системе координат ДООС; пересчет информации о положении детали в систему координат манипулятора.

Предварительная обработка поступающей в подсистему информации заключается в сглаживании помех, обусловленных дискретностью просмотра сектора обзора ДООС, погрешностью измерения расстояний, и пересчете координат из естественной системы координат ДООС (d, m, n) , где d — дальность до зондируемой точки, m — порядковый номер точки в сечении, n — номер сечения детали, в декартову систему координат (O, X, Y, Z) . Сглаживание помех, хорошо описываемых моделью «белого» шума, осуществляется фильтром

$$\omega^*(k) = \begin{cases} 0, & k = 0; \\ \frac{(k-1)\omega^*(k-1) + \omega(k)}{k}, & k \in [1, I]; \\ \omega^*(k-1) + \frac{\omega(k) - \omega(k-1)}{I}, & k \in [I+1, K], \end{cases}$$

где k и K — порядковый номер и количество отсчетов в одной линии сечения; I — интервал осреднения; $\omega(k)$ и $\omega^*(k)$ — исходное и осредненное на интервале I значения обобщенной координаты. Выбор значения интервала осреднения в диапазоне от 5 до 15 обеспечивает уменьшение шума в 5—10 раз при сохранении формы контуров, характеризуемых отношением $T/t = 10-50$, где T — период главной гармоники сигнала; t — такт дискретности отсчетов.

Сегментация предназначена для разделения линии контура на отдельные сегменты, представляющие собой отрезки прямых с отличающимися коэффициентами наклона. Работа алгоритма сегментации основана на отслеживании кривизны вдоль линии контура. За дискретный аналог кривизны принята поделенная конечная разность второго порядка, вычисляемая по значениям координат трех последовательных точек линии

$$A(x_A, y_A), B(x_B, y_B), C(x_C, y_C): \Delta^2 y = \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B} - \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}.$$

Решающее правило сегментатора выдает команду на фиксацию окончания текущего и начала последующего сегмента в том случае, когда модуль величины $\Delta^2 y$ превысит значение порога ε , определяемого экспериментально в зависимости от кинематико-геометрических параметров осмотра деталей и уровня зашумленности линий контура.

Выделенные граничные точки сегментов используются для определения сначала вершин видимой грани детали, а затем — вершин всего аппроксимирующего многогранника. При этом используется априорная информация о геометрии деталей и множестве допустимых устойчивых положений деталей на конвейере.

В настоящее время ДОИС дальнометрической системы автоматического восприятия крупногабаритных деталей успешно прошла лабораторные испытания. Моделирование на ЭВМ СМ-4 показало работоспособность алгоритмов обработки поступающей от ДОИС информации. После реализации программного обеспечения на микроЭВМ и испытания всей системы в производственных условиях предполагается ее внедрение на одном из промышленных предприятий.

Поступила в редколлегию 25.11.82.

УДК 621.396.6

И. Г. ВИНТИЗЕНКО, И. Г. МАЛЫХ, Ю. Ф. МИРНЫХ

КАРЛ-3 — СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Сокращение сроков технического проектирования печатных плат актуально в связи с ускорением темпов разработки и ввода в эксплуатацию радиоэлектронной аппаратуры, где печатные платы составляют основу любого устройства, и в связи с большим объемом затрачиваемого нетворческого труда инженера-конструктора на каждую печатную плату.

Известно много систем автоматизированного конструирования печатных плат (САКПП) [1]. Анализ из подмножества, реализованного на ЕС ЭВМ, привел к разработке компактной и простой системы, базирующейся на любой из моделей ЕС, начиная с ЕС-1020, с наименьшим объемом оперативной памяти 256 кбайт и с внешними носителями любой емкости, мобильной в среде технического и математического обеспечения ЕС ЭВМ. От системы требуется универсальность, широкие возможности, хороший сервис, неограниченность расширения и развития. Она дает возможность конструктору вмешиваться в процесс машин-

ного проектирования на каждом этапе без специального (часто дефицитного) оборудования типа АРМ, графического дисплея и т. д., отвечает жизненным требованиям быстрого и экономного отслеживания многочисленных изменений, происходящих с проектом платы до, во время и после его завершения.

В статье описана система, удовлетворяющая этим требованиям. Она была создана в Томском институте автоматизированных систем управления и радиоэлектроники в 1979 (версия КАРЛ), 1980 (версия КАРЛ-2) и 1982 годах (версии КАРЛ-3 и КАРЛ-3Т) [2].

САКПП КАРЛ-3 предназначена для автоматизации работ по проектированию платы, получению конструкторской документации, управляющих перфолент, для построения фотошаблонов и сверления плат на станках с ЧПУ.

Функционально-модульная система математического обеспечения состоит из отдельных подсистем, блоков, программ, процедур, находящихся под управлением монитора. Это — система открытого типа, так как в ней достаточно быстро, легко, удобно производятся изменения структуры, отдельных процедур и наращивания извне.

Эта система расширяемая, так как имеет место передача из подсистемы в подсистему наборов данных, ее обслуживает единая база данных, единые каталог, оперативный архив и архив спроектированных изделий, ведущиеся автоматически, мобильна в среде технического (ЭВМ ЕС-1020, ЕС-1022, ЕС-1030, ЕС-1033,...) и математического (работает с версиями операционной системы MFT 4.1, MVT 4.1, MVT 6.1,...) обеспечения ЭВМ ЕС, она переносится с одной машины на другую без каких-либо переделок.

Программы системы написаны на языке высокого уровня ПЛ/1. Она хорошо обозрима, обладает целым рядом известных преимуществ по сравнению с системами, написанными на машинных или машинно-ориентированных языках.

Система отличается от существующих САКПП компактностью, экономичностью использования оперативной памяти, ориентацией на стандартные отечественные вычислительные и графические средства ЕС ЭВМ, телекоммуникационными возможностями с ведением диалога на всех этапах при проектировании платы, отсутствии реальных входных и внутренних ограничений. В частности, система в реальных ситуациях не имеет ограничений по габаритам конструируемой платы; числу дискретных площадок на плате; размеру шага дискрета; количеству ячеек кодировочного бланка; числу строк перечня элементов; числу размещаемых радиоэлементов; типов радиоэлементов с различными габаритами; размерам радиоэлементов и их отдельных частей; числу контактов у каждого элемента схемы; элементов в базе данных и характеристик; способам установки элементов на плату; числу, форме, размерам и расположению

запрещенных зон на обеих сторонах печатной платы, запрещающих раздельно или одновременно размещать элементы или печатные проводники; по числу маркируемых цепей; связей в схеме и по числу эквипотенциальных цепей; контактов на каждой эквипотенциальной цепи; проводимых трасс; поворотов трасс и т. д. Система позволяет конструктору работать с групповыми элементами, групповыми проводами и маркированными цепями.

Входными документами системы являются эскиз схемы принципиальной электрической, перечень элементов схемы, требования конструкторские (шаг сетки, размер, форма и расположение запрещенных зон, расположение и ориентация элементов начального размещения и т. п.) и технологические (форма и размер контактных площадок, минимальное допустимое расстояние между проводниками, между проводником и контактной площадкой и пр.). В систему (базу данных) однократно вводятся сведения о конструктивных размерах применяемых элементов, наборы технологических ограничений, способы изготовления геометрических объектов на конкретных устройствах графического вывода и т. д.

Во время работы системы на алфавитно-цифровом печатающем устройстве выдаются эскизы кодированного представления электрической схемы, размещения элементов и запрещенных зон на плате, трассировки на отдельных слоях и совмещенной трассировки с целью ускорения и облегчения взаимодействия конструктора с системой.

На выходе система выдает принципиальную схему по соответствующему ГОСТу; сборочный чертеж печатной платы; чертежи слоев платы; управляющие перфоленты для построения фотшаблона, для управления сверлильным станком и графопостроителями (все перфоленты контролируются на правильность); сводные ведомости и некоторые статистические сведения (количество и процент неразведенных трасс, число переходных отверстий, площадь металлизации, вес драгоценных металлов, содержащихся во всех элементах и покрытиях на плате, отношение суммарной площади моделей элементов к площади платы, время этапов машинного конструирования и т. п.).

САКПП КАРЛ-3 ориентирована на обработку заданий в пакетном (версия КАРЛ-3) и в диалоговом (версия КАРЛ-3Т) режимах. При пакетном режиме обработки монитор планирует прохождение заданий через систему, организует динамическое управление программами, входящими в различные подсистемы. Монитор подготавливает необходимые для работы программы данные, хранящиеся в оперативном архиве системы КАРЛ-3.

Конструирование платы выполняется поэтапно автоматически с участием человека в процессе машинного конструирования. Каждое задание проходит через все этапы и на каждом

из них может быть «оставлено» конструктором, который изучает результаты работы этапа, может откорректировать решение или получить несколько различных вариантов, указав управляющий вектор задания. Управляющий вектор задания идентифицирует этап, на котором ведется проектирование конкретной печатной платы, номер варианта на этом этапе. Если коррекции результатов работы отдельных подсистем не предполагается, то весь процесс конструирования платы идет автоматически.

В каталоге системы, который постоянно обновляется и пополняется монитором, хранятся сведения о всех заданиях, обрабатываемых системой (этап, на котором находится задание, количество вариантов на каждом этапе, значения управляющего вектора задания, статистическая информация о количестве элементов, целей, трасс, времени работы на этапе, дате подхода и пр.). Каталог является также ключом для доступа в оперативный архив системы.

Каждая обрабатывающая программа по завершению работы вырабатывает код возврата, который она передает монитору. В случае нормального завершения программы монитор пополняет каталог и оперативный архив. Состояние проекта платы на каждом этапе в виде наборов данных хранится в оперативном архиве, может быть в любой момент вызвано для выбора конструктором наилучшего из вариантов, внесения любых дополнений и изменений во время и после работы системы с проектом платы. Все этапы имеют свои корректирующие программы, что сокращает сроки внесения изменений. В системе использован простой, удобный, быстрый и эффективный язык корректировки на всех уровнях, начиная от корректировки трассировки до машинного этапа разводки трасс и после.

В САКПП КАРЛ-3 используется принцип динамического вызова обрабатывающих программ, которые хранятся в виде загрузочных модулей в библиотеке программ системы. Постоянно в оперативной памяти ЭВМ находится только ядро системы, осуществляющее динамическую загрузку программ. Все остальные программы, отработав, освобождают оперативную память. Динамическое распределение памяти позволяет избежать всевозможных ограничений, о которых написано выше.

Система позволяет одновременно вести проектирование до 500 печатных плат, исключает несанкционированный доступ к данным другого пользователя и несанкционированное изменение базы данных, может обслуживаться конструкторами, не имеющими специальной математической и программистской подготовки. В связи с этим она обеспечивает всеобъемлющий контроль правильности сведений, которые конструктор вводит в нее на отдельных этапах, на правильность контролируются и все выходные управляющие перфоленты.

В системе широко используется принцип умолчания. Пользо-

ватель далеко не всегда знает и использует все возможности или догадывается о их наличии. Тем не менее, это обстоятельство не мешает ему успешно проектировать печатные платы. Например, имена программ, работающих на разных этапах, «защиты» и загрузку этих программ в ЭВМ монитор осуществляет автоматически, без явного указания пользователя. Но при желании пользователь может изменить стандартно существующую последовательность работы программ, исключить некоторые из них, вызвать другие конкурирующие программы либо, самостоятельно разработав новую, включить ее в систему и дать монитору указание о ее вызове на отдельном этапе.

Система производит оперативный контроль за состоянием разработки проекта любой платы и выдает текущие сведения о работе исполнителя (историю и хронометраж работы) руководителю подразделения.

В системе использовано оригинальное пространственно-декомпозиционное описание принципиальной электрической схемы. В этом подходе схема пространственно декомпозируется на фрагменты, кодируется содержимое каждого фрагмента и далее происходит контролируемое автоматическое объединение всех фрагментов в единое описание. Осуществляется это следующим образом: на эскиз принципиальной схемы наносится система точек, условно разбивающих схему прямоугольной сеткой на ячейки, сведения о содержании ячеек (элементный состав) и связях (топология) кодируются и вводятся в ЭВМ либо с перфокарт (версия КАРЛ-3), либо с клавиатуры дисплея (версия КАРЛ-3Т). Этот подход реализован в виде языка KODOS описания схем принципиальных электрических, язык имеет металингвистическое описание с синтаксисом и семантикой, транслятор. Транслятор KODOS'a позволяет выявить все синтаксические ошибки кодирования и ввода, указывает на их тип и место и поэтому значительно ускоряет процесс отладки первого этапа.

Следующим этапом работы системы является размещение разногабаритных элементов с различными (всего их 8) стратегиями: максимально плотное размещение, размещение по зонам с различной разрешенной ориентацией микросхем и пр. Во всех случаях минимизируется суммарная длина соединений.

До начала трассировки возможно проведение начальных трасс (цепи питания и т. п.), для этого система выдает конструктору на АЦПУ бланк-заготовку. На этапе трассировки решается последовательно несколько задач, в частности, изучаются локальные ресурсы платы, и трассировка проводится с учетом этих ресурсов, строятся кратчайшие связывающие сети, используются такие математические методы, как теория потоков в сетях, кластерный анализ.

Система выдает на АЦПУ полный комплект текстовой конструкторской документации, включая сводные ведомости по

изделию, спецификации, перечни и другое по соответствующему ГОСТу.

Результатом работы подсистемы графического вывода является формирование управляющей информации для графических устройств и вывод этой информации на перфоленту. Выводятся перфоленты для изготовления чертежа расположения элементов на плате на графопостроителе ЕС-7054, для изготовления на ЕС-7054 чертежа печатной платы, для изготовления фотошаблона печатной платы на расчерчивающем устройстве «Луч-21» — «Луч-31».

В системе реализован блок технологического проектирования с выдачей на выходе управляющих перфолент для сверления отверстий в печатных платах на станках с ЧПУ: ВП-910, ВП-910М, ВМ-479, АКФ-25, РМ-4.

В системе имеется блок автоматизированного контроля уже изготовленных плат. Программы этого блока размещают «флажки» (контрольные контактные площадки) на концах трасс, причем по технологии это требуется делать с шагом 2,5 мм, формируют программу прозвонки цепей для контролирующей машины ОК.

Система выдает статистические сведения о плате и о работе системы над ее проектом: количество элементов, цепей, трасс, переходных отверстий; площадь металлизации; суммарный вес каждого фонного коммутируемого канала связи.

Система непрерывно расширяется и совершенствуется. Версия системы КАРЛ-4 (1983 г.) предусматривает стыковку ее с АРМ для тех пользователей, кто имеет такую технику и хотел бы пользоваться уже привычной технологией корректировок. Для этого система КАРЛ-4 будет выводить перфоленту, описывающую топологию печатной платы на языке ЯГТИ, с последующей ее обработкой на комплексе АРМ. Предусматривается также стыковка системы с графическим дисплеем ЕС-7064, управляемым рабочим местом монтажника. Ведутся работы по включению в систему этапов логического синтеза и моделирования.

Статистика эксплуатации системы показала, что время от поступления принципиальной схемы до выдачи готового фотошаблона составляет не более 24 ч рабочих, из них 2—3 ч машинного времени. Экономический эффект в расчете на одну печатную плату составляет 300—400 р.

Таким образом, система КАРЛ-3 значительно (в 8—10 раз) ускоряет процесс конструирования печатных плат, повышает пропускную способность конструкторских отделов и сокращает их численность, сохраняет качество раскладок на уровне качества работы конструктора средней квалификации, избавляет конструктора от монотонного, рутинного, тяжелого труда, улучшает качество проектируемых схем за счет возможности их итерационного оперативного изменения при разработке, что стано-

вится возможным лишь при оперативном внесении изменений в конструкцию плат.

Система внедрена и эксплуатируется на нескольких предприятиях Союза, а также используется как учебно-проектная САПР для обучения ежегодно 12 групп студентов по курсу «Автоматизация конструирования».

Список литературы: 1. Дендобренко Б. Н., Малика А. С. Автоматизация конструирования РЭА.— М.: Высш. школа, 1980.— 384 с. 2. СТП АЭС 5—80. КАРЛ-2. Система автоматизированная. Конструирование печатных плат.— Введ. 01.01.81.

Поступила в редколлегию 25.11.82.

УДК 65.012.122

А. А. АШИМОВ, К. С. САГЫНГАЛИЕВ,
Н. А. РАСШЕПКО, А. Г. НИ

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДСИСТЕМЫ МЕСЯЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И СТИМУЛИРОВАНИЯ

На XXVI съезде КПСС большое внимание уделялось вопросу повышения эффективности функционирования хозяйственного механизма управления экономикой. Системы планирования и стимулирования являются его составными частями. Их совершенствование в организационных системах является актуальным.

В статье рассматривается мелкосерийное многономенклатурное заготовительное производство (ЗП). Для планирования работы ЗП, как и многих приборостроительных предприятий, в качестве инструмента используется система непрерывного оперативно-производственного планирования (НОПП) [1] с автоматизированным ведением картотеки пропорциональности. Основная отличительная черта системы НОПП рассматриваемого производственного объединения — переход от планирования по суткокомплекту к поддетальному планированию. Это вызвано тем, что при планировании выпуска деталей комплектами происходило чрезмерное дробление размеров партий деталей, это, в свою очередь, приводило к снижению производительности труда и увеличению номенклатуры деталей, обрабатываемых в течение месяца.

В ЗП осуществлен переход к бригадной форме организации и оплаты труда по опыту ВАЗа, при этом в качестве основных показателей деятельности бригады приняты уровни выполнений нормированного задания, плана по номенклатуре (в связи с переходом к поддетальному планированию), планов по производительности труда и качеству выпускаемой продукции. Несмотря на введение в систему стимулирования бригад показателя «уровень выполнения плана по номенклатуре» (как

следствие недостаточного совершенства существующей системы планирования), в работе бригад стала намечаться тенденция к невыполнению плана по номенклатуре. При этом потери в заработной плате (ЗП) бригада компенсировала перевыполнением плана по нормированному заданию. Таким образом, возникла необходимость совершенствования систем планирования и стимулирования, т. е. хозяйственного механизма в целом. Предлагаем пути совершенствования системы планирования решением задачи оптимального месячного планирования в рамках НОПП и совершенствования системы оплаты труда, решением задачи синтеза системы стимулирования.

1. Содержательная постановка задачи месячного планирования и предлагаемые математические модели.

Основная причина невыполнения бригадой плана по номенклатуре — это нереальное планирование [2], т. е. планы, во-первых, не всегда обеспечены заготовками (так как планирование ведется уже не на один номер суткокомплекта по всем бригадам), во-вторых, бывают технологически невыгодными планируемые размеры партий. Таким образом, налицо недостатки существующей системы децентрализованного планирования: не принимаются во внимание ограничения на взаимные поставки деталей бригадами и учитывающие интересы бригады.

В качестве критерия деятельности ЗП выступает своевременное и ритмичное обеспечение сборочного производства деталями. Другими словами, необходимо минимизировать максимальное (суммарное) отставание карточек деталей от «нуля» картотеки пропорциональности к концу месяца. Локальными для бригад являются ограничения на суммарную трудоемкость деталей, выпущенных в течение месяца, которая не может превысить величины нормированного задания бригады. Глобальными являются ограничения на взаимные поставки деталей бригадами и отражают взаимосвязь бригад, т. е. перемещение карточки детали у бригады-потребителя не может быть запланировано на номер суткокомплекта больший, чем у бригады-поставщика. Размер партии деталей должен лежать в заданном интервале (партия технологична). Таким образом, задача формулируется так: минимизировать максимальное (суммарное) отставание карточек деталей от «нуля» картотеки пропорциональности при выполнении локальных и глобальных ограничений.

Для перехода к построению математических моделей введен ряд обозначений: $J = \{j\}$ — множество бригад заготовительного производства; $I_j = \{i\}$ — номенклатура деталей, выпускаемых j -й бригадой; $I = \bigcup_{j \in J} I_j$ — номенклатура деталей заготовительного производства; L_i — подмножество бригад, образующих технологический маршрут i -й детали; $J = \bigcup_{i \in I} L_i$, $k \rightarrow p$, $k, p \in L_i$ — обозначает, что

бригада k предшествует бригаде p в L_i технологическом маршруте; a^k — горизонт планирования; r_{ik} — опережение для i -й детали по

j -й бригаде; s_{ij} — суточная потребность в i -й детали j -й бригады; a''_{ij} — начальный номер суткокомплекта i -й детали по j -й бригаде; c_{ij} — стоимость обработки i -й детали по j -й бригаде; Θ_j — объем нормированного задания j -й бригады; λ_i, λ_{ij} — вспомогательные переменные, характеризующие величину задела по деталям в бригадах, x_{ij} — размер партии детали i -го типа, выпускаемой j -й бригадой.

Тогда локальные ограничения

$$\sum_{i \in I_j} c_{ij} x_{ij} \leq \Theta_j, \quad j \in J. \quad (1)$$

Ограничения на размер партии (технологические) $\underline{x}_{ij} \leq x_{ij} \leq \bar{x}_{ij}$, $i \in I, j \in J$ (2). Глобальные ограничения

$$\frac{1}{s_{ip}} x_{ip} - \frac{1}{s_{ik}} x_{ik} \leq a''_{ip} - a''_{ik}, \quad p, k \in L_i, k \rightarrow p. \quad (3)$$

Целевая функция 1

$$F^1_u = \max_{i \in I} \max_{j \in J} \max \left[\left(a^* - a''_{ij} - \frac{1}{s_{ij}} x_{ij} \right) k_{ij}(r_{ij}), 0 \right] \rightarrow \min. \quad (4)$$

Целевая функция 2

$$F^2_u = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \max \left[\left(a^* - a''_{ij} - \frac{1}{s_{ij}} x_{ij} \right) k_{ij}(r_{ij}), 0 \right] \rightarrow \min. \quad (5)$$

При выполнении условия $x_{ij} \geq 0$, $i \in I, j \in J$ (6). Таким образом, можно сформулировать две задачи, различающиеся лишь целевыми функциями:

Задача 1. Минимизировать F^1_u при ограничениях (1)–(3) и (6).

Задача 2. Минимизировать F^2_u при ограничениях (1)–(3) и (6).

Введение в целевые функции коэффициента $k_{ij}(r_{ij})$ означает, что деталям, имеющим различные r_{ij} , придается различный вес в целевой функции. В дальнейшем будем предполагать $k_{ij}(r_{ij}) = 1/r_{ij}$ (7). Как видно, задачи 1, 2 являются задачами с кусочно-линейными целевыми функциями и матрицей ограничений блочно-диагональной структуры со связывающими переменными (система ограничений включает цепное ограничение (3)). Введя дополнительную переменную λ_i и новые ограничения $\frac{1}{s_{ij}} x_{ij} + r_{ij} \lambda_i \geq$

$\geq a^* - a''_{ij}$, $i \in I, j \in J$ (8), перейдем от задачи 1 к эквивалентной ей задаче 1': $\phi^1_{ij} = \max_{i \in I} \lambda_i \rightarrow \min$ (9) при ограничениях (1)–(3), (6), (8).

Аналогично, введя λ_{ij} , перейдем от задачи 2 к задаче 2': $\phi^2_u = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \lambda_{ij} \rightarrow \min$ (10) при ограничениях (1)–(3), (6) и (11),

$\frac{1}{s_{ij}} x_{ij} + r_{ij} \lambda_{ij} \geq a^* - a''_{ij}$, $i \in I, j \in J$ (11).

Как видно, для переменных λ_j и λ_{ij} не накладывается ограничение на знак. Введем в задачи 1' и 2' дополнительные ограничения $\lambda_j < 0, j \in J$ (12); $\lambda_{ij} < 0, j \in J, i \in I$ (13). Это будет означать введение ограничений механизма функционирования [2] как безусловного требования вывода всех карточек за «ноль» картотеки пропорциональности.

Как было указано ранее, специфика матрицы ограничений задачи позволяет воспользоваться известными методами декомпозиции [3, 4]. Однако это связано с большими вычислительными сложностями, поскольку даже локальные задачи имеют большую размерность (в рассматриваемом ПО номенклатура достигает 20 тыс. наименований деталей и узлов, для отдельной бригады в среднем — 500—700 наименований, но достигает и нескольких тысяч). Решить задачу без декомпозиции вообще не представляется реальным с использованием существующих средств вычислительной техники и пакетов прикладных программ. Перечисленные выше причины заставили искать более простые эвристические приемы декомпозиции задачи.

2. Эвристическая декомпозиция задачи и предлагаемые алгоритмы решения локальных задач. Идея заключается в однозначном определении параметров ограничения (3) при расчете плана для отдельной j -й бригады и приведении их к $\underline{b}_{ip} \leq \frac{1}{s_{ip}} x_{ip} + a_{ip}^0 \leq \bar{b}_{ip}$ (14). Покажем методику решения задачи 1' и 2'.

1°. На основе анализа технологического графа определяем последовательность расчета планов для отдельных бригад, порядок решения локальных задач.

2°. Для j -й локальной задачи формируем b_{ij} и $\bar{b}_{ij}$ на основе результатов решения предыдущих 1-й — $(j-1)$ -й задач по определенным эвристическим правилам.

3°. Решаем j -ю локальную задачу одним из методов, который будет описан далее, либо с помощью ППП ЛПАСУ.

Локальные задачи имеют вид: задача 1' — $f_a^* = \lambda \rightarrow \min$ (15);

$$\frac{1}{s_i} x_i + r_i \lambda \geq a^* - a_i^n, i \in I_j \text{ (16); } \sum_{i=1}^n c_i x_i \leq a \text{ (17); } \underline{b}_i \leq \frac{1}{s_i} x_i +$$

$$+ a_i^n \leq \bar{b}_i, i \in I_j \text{ (18); } \underline{x}_i \leq x_i \leq \bar{x}_i, i \in I_j \text{ (19); } x_i \geq 0, i \in I_j \text{ (20);}$$

задача 2' — $f_a^* = \sum_{i \in I_j} \lambda_i \rightarrow \min$ (21) при ограничениях (18)—(21) и

$$\frac{1}{s_i} x_i + r_i \lambda_i \geq a^* - a_i^n, i \in I_j. \quad (22)$$

Примечание: индекс j -бригады опущен.

1° и 2° являются задачами линейного программирования. Очевидно, при отсутствии циклических маршрутов деталей, когда технологический граф является деревом, можно найти такой порядок решения локальных задач для отдельных бригад, при котором все ограничения (18) примут вид $0 < \frac{1}{s_{ij}} x_i + a_i^* < \bar{b}_{ij}$ (23), и все $\bar{b}_{ij}$ будут определены к моменту начала решения задачи. В условиях же реального производства при наличии в технологическом графе контуров можно определить лишь рациональный порядок, в смысле минимизации количества $\bar{b}_{ij}$, $\forall i \in J$, $i \in I_j$, неопределенных к моменту решения j локальной задачи. Определение рациональной последовательности решения локальных задач представляет самостоятельный интерес и в данной статье не приводится, отметим лишь, что она сводится к задаче о минимальном разрезе на графе и приближенный алгоритм ее решения предложен Раимбековым Р. Д.

На шаге 2° используются эвристические правила, в основе которых лежат идеи, заложенные в системе НОП. Этот шаг является аналогом координирующей задачи в классических методах декомпозиции [5—7].

На шаге 3° решение локальных задач проводится с помощью алгоритмов, разработанных авторами.

Для решения задачи 1° предложены

Алгоритм 1. Для решения задачи 1° без учета (18). Идея алгоритма — выделение из системы только «активных» ограничений путем проверки простых условий. Тем самым задача сводится к решению системы линейных уравнений. Алгоритм позволяет получить оптимальное решение.

Алгоритм 2. Основан на идее Корнан-Липтака [6] о перераспределении ресурсов. Алгоритм дает приближенное решение, т. е. не удавалось получить оптимальное решение. Однако в практических расчетах решение всегда получалось оптимальным.

Алгоритм 3. Использует правило дихотомии и также позволяет получить приближенное решение задачи.

Для решения задачи 2° предложен алгоритм 4, основанный на вычислении приоритетов. Размер партий деталей в зависимости от величины приоритета определяется либо верхней границей, зависящей от x_{ij} и $\bar{b}_{ij}$, либо нижней, зависящей от x_{ij} , $\bar{b}_{ij}$, $(a^* - a_i^*)$, либо принимает промежуточное значение в этих пределах.

При решении задач 1° и 2° данные алгоритмы более эффективны, чем симплекс-метод.

3. Задачи синтеза системы стимулирования. Как показали результаты обследования, существует такое негативное явление, как невыполнение плана по обязательной номенклатуре (ОН) по «вине бригады». Это влечет за собой нежелательные

результаты для завода в целом. Основная причина кроется в том, что при существующей в ПО системе стимулирования бригады заинтересованы в перевыполнении по ОН. То есть наблюдается ситуация неполного согласования интересов бригады и производства в целом.

Покажем в более общем виде, как возникает такое рассогласование.

Введем ряд обозначений и определений: y^* — наиболее выгодная реализация планов для бригады; x — план, выгодный производству; $T(x)$, $T(y)$ — затраты труда для достижения результата « x » (или « y »); $3(x)$, $3(y)$ — ЗП бригады при плане « x » (при реализации « y »); M — множество реализации планов, для которых $3(y) > 3(x)$; N — множество реализации планов, для которых $T(y) < T(x)$; $y_{\text{нз}}$ — уровень выполнения плана по нормированному заданию (НЗ); $y_{\text{он}}$ — уровень выполнения плана по обязательной номенклатуре (ОН).

Если $M \cap N = \emptyset$, то у бригады нет материального стимула выполнять « x ». Покажем это. Пусть « x » — напряженный план, т. е. $T(x)$ — максимально возможные трудозатраты бригады, тогда реализация определяется как $y^* = \arg \max_{y \in M \cap N} 3(y)$. Как видно из

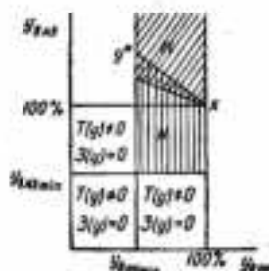


Рис. 1

рис. 1, в этом случае $y^* = x$. Очевидно, что $y^* \notin M \setminus M \cap N$, так как в этом случае $T(y^*)$ превышает возможности бригады и $y^* \notin N \setminus M \cap N$, так как в этом случае $T(y^*) < T(y)$, но $3(y^*) < 3(y)$.

При анализе системы оплаты труда бригад заготовительного производства ПО обнаружилась именно такая ситуация, для ликвидации которой было принято управленческим персоналом и сотрудниками ПЛ АСУ постановление о необходимости

решения задачи синтеза системы стимулирования (СС).

Математическая модель задачи синтеза СС включает в себя целевые функции центра (Ц) (планирующий орган) и активного элемента (АЭ) (бригада) и ограничения механизма функционирования, которые проводятся ниже.

Целевая функция центра $F_{\text{ц}} = \alpha_i f(k_i) + \alpha_j f(k_j) \rightarrow \max$ (24), где k_i , k_j — показатели выполнения планов по НЗ и ОН; α_i и α_j — веса, определяющие важность показателей k_i и k_j и устанавливаемые Ц; $f(\cdot)$ — произвольные дифференцируемые функции.

Целевая функция активного элемента АЭ (бригада) $F_{\text{АЭ}} = \beta_i \varphi(k_i) + \beta_j \varphi(k_j) \rightarrow \max$ (25); $a_i \chi(k_i) + a_j \chi(k_j) \leq M$ (26), где β_i , β_j — веса, определяющие важность показателей k_i и k_j с точки зрения АЭ; a_i , a_j — коэффициенты, характеризующие затраты на выполнение k_i и k_j ; $\varphi(\cdot)$, $\chi(\cdot)$ — произвольные диф

ференцируемые функции; M — верхняя граница возможностей АЭ по достижению k_i и k_j .

К ограничениям механизма функционирования предъявляются следующие требования:

сохранение основных принципов системы оплаты труда, принятой на ВАЗе;

темп роста ЗП не должен превышать темп роста производительности труда и в условиях новой СС, при $k_i = 100\%$ рабочие должны получать ЗП не ниже средней при прежней СС;

фонд ЗП ограничен, и его перерасход не допускается;

потери в ЗП за невыполнение показателя k_j не должен компенсироваться приростом ЗП за счет перевыполнения плана по показателю k_i .

Задача синтеза системы стимулирования сводится к определению β_i , β_j и вида функции активного элемента $F_{AЭ}$.

Процедура решения задачи синтеза системы стимулирования производится в два этапа. На первом этапе решаем задачу АЭ, используя метод множителей Лагранжа. Полученное решение

$(\hat{k}_i, \hat{k}_j)$ подставляем в задачу Ц и приступаем ко второму этапу, т. е. решаем задачу Ц. В результате решения определяем β_i и β_j , доставляющие максимум целевым функциям $F_{AЭ}$ и $F_{Ц}$. Это означает, что при найденных значениях β_i и β_j достигается полное согласование интересов Ц и АЭ.

Приняв во внимание гипотезу о логарифмической зависимости трудозатрат от показателя k_i выполнения плана по обязательной номенклатуре, в результате решения задачи синтеза системы стимулирования определяем вид функции активного элемента $F_{AЭ} = \beta_{iЭ}(k_i) + \beta_j(-G \ln(1 - k_j) + \alpha) + B/100$ (27); $G = -d_{j \max}/\ln((1 - k_{j \min} + \alpha)/\alpha)$ (28); $B = G \ln(1 - k_{j \min} + \alpha)$ (29), где α — коэффициент, регулирующий крутизну логарифмической кривой; $d_{j \max}$ — доплата за показатель k_j при выполнении его на 100%; $k_{j \min}$ — уровень выполнения плана по ОН, при котором начинается поощрение за k_j .

При решении задачи синтеза использовались различные виды функции $\varphi(\cdot)$, $f(\cdot)$, $\chi(\cdot)$. При этом оказалось, что для произвольных $\varphi(\cdot)$, $f(\cdot)$, $\chi(\cdot)$ результат решения один и тот же: $\alpha_i/\alpha_j = \beta_i/\beta_j$ (30).

Это означает, что β_i и β_j принимают значения пропорционально весам α_i и α_j , устанавливаемым Ц.

Заметим, что результат решения задачи не зависит от коэффициентов α_i и α_j , характеризующих затраты активного элемента АЭ.

4. Практическое использование результатов. При внедрении методики решения задачи планирования работы ЗП на месяц была спроектирована автоматизированная подсистема, функциональная схема которой приведена на рис. 2. Связь подсистемы с АСУ осуществляется на уровне файлов информационной

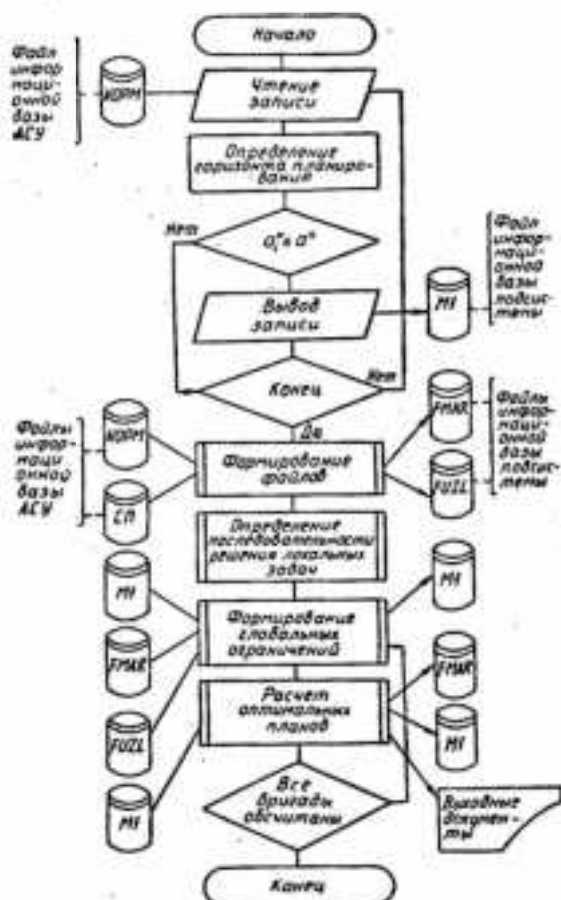


Рис. 2

базы АСУ. Программное обеспечение подсистемы состоит из трех программных модулей и сервисных программ для обработки исходных данных и вывода полученных результатов.

Модуль 1. Определение последовательности решения локальных задач.

Модуль 2. Формирование глобальных ограничений.

Модуль 3. Расчет оптимальных планов.

Все программы, входящие в программное обеспечение, написаны на языке PL/I в системе ОС ЕС.

В настоящее время проводятся опытно-промышленные испытания подсистемы в ЗП. Ожидаемый экономический эффект составит 132 тыс. р. Система стимулирования бригад была внедрена в 1981 г. с экономическим эффектом 121 тыс. р.

В заключение хотелось бы отметить, что результаты, полученные при разработке подсистемы, могут быть использованы на других предприятиях в условиях бригадной формы организации труда и при наличии соответствующей информационной базы АСУ.

- Список литературы: 1. Перельман А. Е. Построение моделей автоматизированных систем оперативного управления производством.— М.: Статистика, 1973.— 230 с. 2. Бурков В. Н., Кондратьев В. В. Механизмы функционирования организационных систем.— М.: Наука, 1981.— 384 с. 3. Цурков В. И. Декомпозиция в задачах большой размерности.— М.: Наука, 1981.— 178 с. 4. Glassey S. R. Dynamic linear programming for production scheduling operations research, 10, Numb. 1, 1971, с. 178—183. 5. Бурков В. Н. Математические основы теории активных систем.— М.: Наука, 1977.— 255 с. 6. Корнаи Н., Липтак Т. Планирование на двух уровнях.— В кн.: Применение математики в экономических исследованиях, 31.— М.: Мысль, 1965, с. 22—31. 7. Левин Г. М., Танаев В. С. Декомпозиционные методы оптимизации проектных решений.— Минск: Наука и техника, 1978.— 194 с.

Поступила в редколлегию 25.11.82.

УДК 621.391

В. А. КЕДРУС, д-р техн. наук, С. Ф. СЕВЕРИН

ПРИНЦИПЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Стремительное развитие сетей передачи дискретной информации (ПДИ), их качественный рост, увеличение числа обслуживаемых абонентов, возросшие требования к качеству передачи информации, тенденция к объединению всех видов сообщений в единую форму двончных последовательностей делают практически необходимым создание высокоорганизованных систем управления, способных адаптироваться к случайным и непредвиденным изменениям нагрузки и структуры сети. Создание такой системы управления требует разработки новых методов управления процессами передачи дискретной информации. Метод, на основе которого ведется управление, во многом зависит от формы передачи информации. Известно несколько способов коммутации, посредством которых производится передача дискретной информации между пользователями, непосредственно не связанными между собой. Это — методы коммутации каналов (КК), коммутации пакетов (КП), коммутации сообщений (КС), гибридной коммутации (ГК) и адаптивной коммутации (АК). Все эти методы подробно рассмотрены в работах [1—4].

Алгоритм адаптивного управления передачей дискретной информации реализуется устройством управления узлом адаптивной коммутации (УАК). Функционирование таких узлов предъявляет повышенные требования к управлению процессом распределения пропускной способности трактов между каналами,

работающими в различных режимах передачи. Но наряду с оптимальным распределением пропускной способности трактов между каналами необходимо решать задачу оптимального распределения потоков информации по сети, т. е. выбор оптимального пути следования информации к требуемому абоненту. Данная статья посвящена изложению принципов адаптивного управления распределением пропускной способности трактов и информационных потоков по сети.

Теоретический анализ [5], результаты экспериментов на действующих сетях [6] позволяют выделить с точки зрения нагрузки основные ситуации, возникающие при функционировании сети [2]: 1) малая нагрузка; 2) нагрузка, близкая к критической; 3) перегрузка. В каждой из этих ситуаций эффективность управления будет различной. Поэтому алгоритм функционирования УАК должен предусматривать оперативное изменение алгоритма управления распределением пропускной способности УАК и информационных потоков по сети. Всю сеть можно представить в виде иерархической структуры. Нижний уровень иерархии представляет собой абонентские пункты, уровни $(2-N)$ — узлы адаптивной коммутации (не исключается случай, когда к УАК этих уровней будут подключены также абонентские пункты). Такое построение обеспечит адаптивное управление процессами распределения пропускной способности трактов и информационных потоков по сети, причем, если рассматривать отдельный уровень иерархии, то относительно его УАК управление осуществляется в децентрализованной форме, но в то же время каждая составляющая i -го уровня способна централизованно управлять несколькими УАК $(i-1)$ -го уровня (рис. 1). Введем обозначения: УС — устройство сопряжения центрального процессора (ЦП) с коммутационной системой; УК — управляющие каналы; ИК — информационные каналы; i — номер уровня иерархии сети; Z, M, K — количество УАК в уровне.

Такая форма организации управления сочетает преимущества централизованного и децентрализованного способов управления. Степень централизации управления процессами распределения информации (учитывая и процесс перераспределения потоков информации в тракте между каналами, работающими в режимах КК и КП, и процесс распределения информационных потоков по сети) динамически изменяется в зависимости от нагрузки в текущий момент времени t_k , а также с учетом прогноза изменения нагрузки на следующий момент времени t_{k+1} .

Как уже указывалось выше, при функционировании сети возможны 3 ситуации. В первом случае наиболее эффективной формой управления распределением информационных потоков по сети является децентрализованный способ в форме статической маршрутизации [2]. При этом управление процессом распределения информационных потоков по сети и внутри трак-

тов осуществляет каждый УАК с помощью своего устройства управления (УУ). При перегрузках единственно эффективным управлением является ограничение нагрузки путем непредоставления обслуживания абонентам, круг которых может определяться различными способами: приоритетностью, очередностью прихода и т. п. В случае нагрузки, близкой к критической, управление будет квазистатическим [7] и по своему характеру займет промежуточное место между централизованным и децентрализованным управлением [8]. Учитывая то, что нагрузка изменяется непрерывно, непрерывно должен изменяться и способ управления, т. е. управление будет адаптивным.

Структура адаптивной информационной системы представлена своей типичной компонентой (рис. 2).

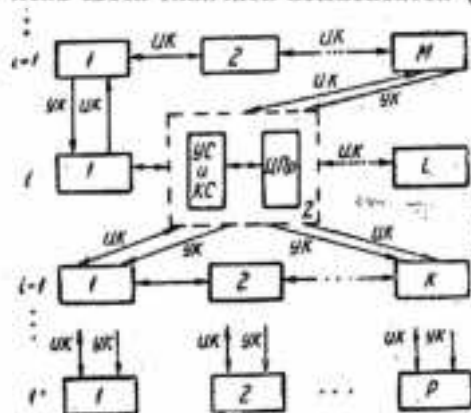


Рис. 1

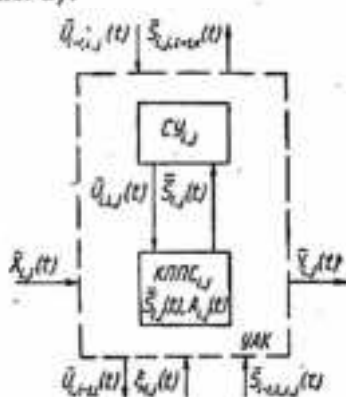


Рис. 2

Введем следующие обозначения: $СУ_{i,j}$ — система управления j -го узла i -го уровня иерархии; $КППС_{i,j}$ — коммутационная приемно-передающая система j -го узла i -го уровня иерархии; функции $СУ$ — выдача управляющих воздействий на основе прогноза нагрузки по всем возможным направлениям; функции $КППС$ — прием, коммутация каналов в требуемом направлении, хранение информации, передающейся в режиме КП, передача; $\bar{U}_{i,j}(t)$ — вектор управляющих воздействий $СУ$ i -го уровня для i, j -й $КППС$, т. е. для $КППС$ этого же узла; $\bar{U}_{i,i-1,j}(t)$ — вектор управляющих воздействий от $СУ$ i -го уровня к $i-1$ -му узлу $(i-1)$ -го уровня; функции $\bar{U}$ — на основе управляющих воздействий производится перераспределение пропускной способности трактов и информационных потоков по сети; $\bar{S}_{i,j,i+1,j}(t)$ — вектор состояния j -го узла i -го уровня, который передается в $i+1$ -й узел $(i+1)$ -го уровня. Эта информация передается периодически, но в случае, если j -й узел i -го уровня не способен обслужить пришедшие заявки, $\bar{S}_{i,j,i+1,j}(t)$ передается «вне периода». Вектор $\bar{S}_{i,j,i+1,j}(t)$ содержит

следующие данные: число и степень загруженности каналов по всем направлениям, информацию о заявках, которые узел не может обслужить, об изменении рельефа; $\bar{S}_{i,j}(t)$ — вектор состояния КППС j -го узла i -го уровня, передается периодически. Содержит следующую информацию: номер канала, по которому пришла заявка; режим, в котором она пришла; требуемое направление передачи информации; о неисправности канала; об изменении рельефа; $A_{i,j}(t)$ — алгоритм, по которому происходит обслуживание заявок в момент времени t ; $\bar{X}_{i,j}(t)$ — внешние неуправляемые воздействия — нагрузка на j -й узел i -го уровня; $\bar{\xi}_{i,j}(t)$ — внутренние неуправляемые воздействия — отказы в оборудовании; $\bar{Y}_{i,j}(t)$ — вектор выходных параметров системы, характеризующий процесс обслуживания заявок j -м узлом i -го уровня:

$$\bar{Y}_{i,j}(t) = F[\bar{X}_{i,j}(t), \bar{S}_{i,j}(t), A_{i,j}(\bar{U}_{i,j}(t))].$$

Управление процессами распределения информационных потоков по сети и пропускной способности трактов между каналами, работающими в различных режимах, заключается в целенаправленном изменении структуры КППС $\bar{S}_{i,j}(t)$ и алгоритма обслуживания информационных потоков $A_{i,j}(t)$. Изменение состояния структуры КППС и алгоритма $A_{i,j}(t)$ происходит под воздействием $\bar{U}_{i,j}(t)$. Эти управляющие воздействия формируются в СУ либо на основе состояния структуры $\bar{S}_{i,j}(t_{k-1})$ в предыдущий момент времени и прогноза на следующий момент, либо на основе управляющих воздействий $\bar{U}_{i+1,j^1}(t)$ от СУ $_{i+1,j^1}$. Причиной, которая побуждает к изменению структуры КППС $\bar{S}_{i,j}(t)$ и алгоритма обслуживания $A_{i,j}(t)$ в данной системе, является неоптимальное использование пропускной способности узла.

Весь алгоритм обслуживания заявок укрупненно можно представить в виде трех частей.

1. Оценить соотношение пропускной способности УАК и нагрузки в моменты времени t_k и t_{k+1} . В случае, если пропускная способность тракта не позволяет удовлетворить заявки на передачу в требуемом направлении при заданном качестве обслуживания, функции управления передаются в СУ УАК более высокого уровня иерархии. При этом увеличение уровня иерархии означает, что в динамический процесс управления передачей дискретной информации привлекаются новые УАК с целью обеспечения оптимального использования пропускной способности узлов и организации обходных путей оптимальной длины.

2. Оптимально распределить пропускную способность тракта между каналами, работающими в режимах КК и КП.

3. Выбрать оптимальный план распределения информационных потоков по сети.

При этом первой решается задача оценки соотношения нагрузка — пропускная способность. При условии получения положительного решения переходят к параллельному решению пп. 2 и 3. Рассмотренный алгоритм приведен на рис. 3.

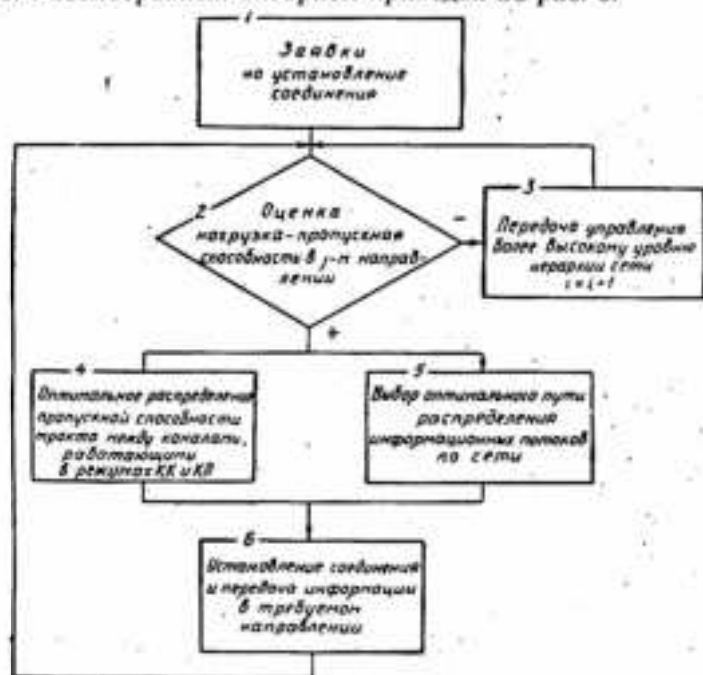


Рис. 3

Таким образом, адаптивное управление сетью в реальных условиях работы, характеризуемых статистической неопределенностью параметров и нагрузок, случайным процессом выхода из строя отдельных элементов, оказывается единственным возможным, обеспечивающим максимальное использование пропускной способности трактов и распределение информационных потоков по сети оптимальным образом. Необходимо отметить, что процесс управления должен носить итерационный характер и базироваться на прогнозировании изменения нагрузки. В зависимости от разности между реальным и прогнозированным значением нагрузки будут выбираться управляющие воздействия на следующий момент времени и необходимая степень централизации управления. Важно также отметить, что реальные адаптивные системы обладают ограниченной способностью

к адаптации. Это обусловлено конечным быстродействием работы СУ по обнаружению изменений в системе, принятию решений и их реализации.

Список литературы: 1. Самоделенко С. Н. Метод адаптивной коммутации.— Электросвязь, 1981, № 6, с. 8—12. 2. Казаченко Ю. М. Выбор метода динамического управления потоками информации на сети связи.— Тр. IV Всесоюз. симпозиума по проблемам управления на сетях и узлах связи.— Переславль-Залесский, 1980.— с. 160. 3. Умрихин Ю. Д. Некоторые теоретические и прикладные аспекты системного подхода к синтезу адаптивного управления сетью передачи и распределения информации.— Системы и средства передачи по каналам связи, 1980, с. 9—36. 4. Емельянов Г. А., Шварцман В. О. Передача дискретной информации.— Радио и связь, 1982.— 200 с. 5. Старобинец С. М. Исследование эффективности использования обходных путей при динамическом управлении на сетях КК: Автореф. дис... канд. техн. наук.— М., 1977.— 20 с. 6. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями.— М.: Мир, 1979.— 600 с. 7. Казаченко Ю. М. Современное состояние и перспективы развития СУ потоками информации на сетях связи.— Л.: ЛЭИС, 1979.— 56 с. 8. Берштейн П. В. Структура и построение системы управления телеграфной сетью.— Тр. ЦНИИС, 1977, № 6.— 140 с.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

УДК 519.95

Я. А. ФАСТОВСКИЙ

К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПООПЕРАЦИОННЫХ РАСПИСАНИЙ

Функция формирования пооперационного расписания в АСУП наиболее сложная. При ее разработке применяются современные математические методы. Трудность проектирования определяется наличием в производственном процессе множества тяжелоформализуемых факторов; отсутствием точных нормативов выполнения детапеопераций ввиду их большого разнообразия и частой сменяемости, случайным характером фактической длительности выполнения детапеопераций, зависящей от большого количества производственных факторов. Наиболее ярко эти сложности проявляются в условиях мелкосерийного производства.

После их преодоления разработчик сталкивается с еще большими трудностями внедрения описываемого комплекса на производстве. Прежде всего это связано с недостаточно хорошими эксплуатационными характеристиками сформированных расписаний. Важнейшей, по мнению автора, эксплуатационной характеристикой является подверженность расписания к срывам в результате воздействия внешних возмущений (отсутствие заготовок, инструмента, невыход рабочего и т. д.). Под срывом понимается сдвиг вправо фактического момента выполнения пункта расписания по сравнению с планируемым.

Введем некоторые термины.

Машина — совокупность следующих элементов: станка, вспомогательного оборудования, инструментов, а также рабочего, управляющего процессом обработки деталей на данном станке. Характеристика машины определяется характеристиками рабочего.

Требование — одна или группа технологических операций, выполняемых последовательно; рассматривается при построении расписания как неделимый элемент технологического процесса.

Работа — конечная, упорядоченная совокупность требований, обслуживание которых приводит к выпуску партии деталей.

Ресурс — некоторая производственная характеристика, потребляемая при обслуживании требований, выполнении работ или при функционировании прибора.

Коалиция — совокупность требований, работ или машин (элементы коалиции), потребляющих один вид ресурса при следующих условиях: перераспределение ресурса между коалициями не допускается; следовательно, суммарный ресурс, потребляемый коалицией, — величина постоянная; размер ресурса, потребленного любым элементом коалиции, может изменяться от нуля до величины суммарного ресурса коалиции.

Будем различать два типа ресурса: фактический (R_j^A) — величина k -го ресурса, фактически имеющаяся у j -й коалиции и требуемый (p_j^k) — минимальное значение k -го ресурса, потребляемое элементами j -й коалиции.

Полностью сбалансированный план — производственный план, удовлетворяющий условию $\bar{R}_j - \bar{p}_j = 0, \forall j (1)$, где $\bar{R}_j, \bar{p}_j$ — векторы размерности v фактического и требуемого ресурса, потребляемого j -й коалицией, k -я компонента вектора соответствует k -му виду ресурса; v — количество видов ресурсов, рассматриваемых при подборе плана.

Рассмотрение полностью сбалансированного плана в реальных условиях производства не имеет смысла по двум причинам: 1) в реальных условиях практически невозможно создать план, удовлетворяющий (1); 2) даже в предположении, что (1) выполнимо, полностью сбалансированный план нежизнеспособен, поскольку любое внешнее возмущающее воздействие приводит к срыву всего плана в целом.

Следовательно, необходимо рассматривать план $\{\pi\}$, удовлетворяющий условию $\bar{R}_j - \bar{p}_j > 0, \forall j (2)$. План $\{\pi\}$ будем называть выполнимым, $\{\pi\}$ характеризуется векторами

$$\Delta_j = \Delta_j(R_j^{(1)} - p_j^{(1)}, R_j^{(2)} - p_j^{(2)}, \dots, R_j^{(v)} - p_j^{(v)}) = \bar{R}_j - \bar{p}_j. \quad (3)$$

Поскольку выбор выполнимого плана $\{\pi\}$ — задача более высокого уровня по отношению к рассматриваемой, будем считать план $\{\pi\}$ и векторы $\bar{\Delta}_j$ для всех j заданными.

Опыт показывает, что потребление ресурса — величина случайная, зависящая от множества факторов.

Уточненным нормативом потребления k -го ресурса i -м элементом j -й коалиции будем называть такое значение ресурса r_k , при котором вероятность перерасхода k -го вида ресурса есть величина p_0 . Решение выбора оптимального p_0 — задача самостоятельная, не входящая в план данного изложения.

Обозначим вероятность превышения r_k i -м элементом j -й коалиции на величину не более Δr_k как $P_{ij}^k(\Delta r_k)$. Легко видеть, что $P_{ij}^k(0) = 1 - p_0$; $P_{ij}^k(\Delta r_k)$ — есть монотонно возрастающая функция; $\lim_{\Delta r_k \rightarrow 0} P_{ij}^k = 1$ ($\forall i, j, k$).

Предположим, что имеем возможность получить достаточную статистику поведения $P_{ij}^k(\Delta r_k)$ ($\forall i, j, k$). Рассмотрим однопараметрическое семейство функций $\chi | (1 - p_0) e^{-a_{ij}^k \Delta r_k} |$ (4), обладающих отмеченными свойствами функции $P_{ij}^k(\Delta r_k)$, и будем аппроксимировать $P_{ij}^k(\Delta r_k)$ элементами χ :

$$P_{ij}^k(\Delta r_k) = (1 - p_0) e^{-a_{ij}^k \Delta r_k}. \quad (5)$$

Определение a_{ij}^k для всех i, j, k есть обычная задача аппроксимации, решаемая, например, методом наискорейшего спуска [1, с. 328].

При условии, что потребление k -го ресурса элементами коалиций для всех i, j — события независимые, вероятность выполнения всех пунктов расписания Ω :

$$V_k(\Omega) = \prod_{i, j} P_{ij}^k(\Delta r_k). \quad (6)$$

Величину $V_k(\Omega)$ будем называть устойчивостью расписания по k -му виду ресурса. Будем предполагать, что потребление ресурсов всех видов — процессы независимые, поэтому возможно проводить оценку устойчивости Ω по всем видам ресурсов независимо. Кроме того, потребление ресурсов коалициями также (по определению) процессы независимые. Следовательно, можно проводить решение задачи и для каждой коалиции независимо.

Постановка задачи. Пусть определен выполнимый план (π) , т. е. задан вектор Δ . По k -му виду ресурса (π) состоит из N коалиций. Количество элементов в j -й коалиции равно m . Потребление ресурса i -м элементом ($i = \overline{1, m}$) коалиции является случайной функцией, принадлежащей семейству χ . Параметр a_i известен для всех i . Суммарный требуемый (R) и фактический (R) ресурс коалиции — величины постоянные.

Необходимо так распределить величину $\Delta = R - p$ (7), чтобы добиться максимальной устойчивости $V(\Omega)$.

Алгоритм решения. Формально условие задачи запишется в виде

$$\begin{cases} U(\Omega) = \prod_i P_i(\Delta r_i) \rightarrow \max; \\ \sum_i \Delta r_i = \Delta. \end{cases} \quad (8)$$

Поскольку решение проводится для каждой коалиции по каждому виду ресурса отдельно, в системе (8) отсутствуют индексы j и k . С учетом (5) система (8) преобразуется:

$$\begin{cases} U(\Omega) = \prod_i (1 - p_0)^{-\frac{\Delta r_i}{a_i}} \rightarrow \max; & \left\{ \begin{array}{l} \sum_i e^{-\frac{\Delta r_i}{a_i}} \rightarrow \min; \\ \sum_i \Delta r_i = \Delta, \text{ а затем} \\ \sum_i \Delta r_i = \Delta. \end{array} \right. \end{cases} \quad (9)$$

Система (9) — задача на нахождение условного экстремума. Решив систему (9) методом неопределенных множителей Лагранжа [1, с. 198], получим $\Delta r_i = \Delta \cdot a_i / S_2 + a_i \cdot S_1 / S_2 - a_i \cdot \ln a_i$ (10), где $S_1 = \sum_i a_i \ln a_i$; $S_2 = \sum_i a_i$.

В качестве конкретного приложения метода приведем решение задачи повышения устойчивости формируемых расписаний для основного цеха одного из Харьковских предприятий с мелкосерийным типом производства. Поскольку большинство срывов происходит из-за отсутствия точных нормативов выполнения деталей операций, то в качестве ресурса выбрано время выполнения деталей операций. Технологические процессы выпуска деталей позволяют сформировать унифицированный технологический процесс (УТП) обработки деталей в терминах агрегированных технологических операций (АТО), выполняемых одним цехом-кооператором. Технология конкретной детали в терминах АТО совпадает с УТП, возможно, пропуская некоторые из пунктов УТП. Наиболее важным моментом планирования работы основного цеха является планирование сроков межцеховых поставок, влияющих на общезаводское планирование в целом. Построение расписания происходит в два этапа: построение агрегированного расписания в разрезе АТО (планирование межцеховых поставок); построение собственно пооперационного расписания, использующего результаты первого этапа в качестве директивных сроков.

Первый этап. Конкретизируем определенные выше понятия: требование — АТО, т. е. элемент УТП; работа — УТП, т. е. совокупность последовательно выполняемых АТО; ресурс — разность (Δ) между фактически имеющимся фондом времени (R) на обслуживание всех требований и нормативной длительностью цикла (p) обслуживания требований; коалиция — работа, т. е. совокупность требований, среди которых возможно перераспределение ресурса.

Основная, но не единственная цель первого этапа — формирование наиболее устойчивого расписания. В реальных условиях требуется учитывать также некоторые регулярные [2, с. 24] критерии, такие как равномерность загрузки оборудования, ритмичность выпуска деталей, которые в общем случае противостоят критерию устойчивости. Предлагается следующий компромиссный подход к решению данной проблемы. Ресурс делится на две части: активная часть ресурса коалиции, идущая на повышение устойчивости расписания $\Delta_a = \Delta x_1$ и пассивная часть ресурса коалиции, используемая для удовлетворения критериям загрузки и ритмичности $\Delta_n = \Delta (1 - x_1)$.

Коэффициент x_1 — подстраиваемый параметр первого этапа решения задачи ($0 \leq x_1 \leq 1$).

Отметим, что Δ_n во всяком случае не ухудшает устойчивости выходного расписания, но распределяется Δ_n в смысле критерия устойчивости неоптимально. Используя (10), получим

$$T_i = t_i + \Delta_a \cdot \frac{a_i}{S_2} + a_i \cdot \frac{S_1}{S_2} - a_i \cdot \ln a_i,$$

где T_i — оптимальная длительность в смысле критерия устойчивости i -го требования рассматриваемой работы; t_i — уточненный норматив обслуживания i -го требования рассматриваемой работы.

Следующим шагом первого этапа является определение моментов начала (конца) обслуживания всех требований, входящих в план, при котором критерии ритмичности (F_1) и загрузки (F_2) максимально удовлетворяются. Поскольку критерии F_1 и F_2 противоречивы, вводится компромиссный критерий F_0 как суперпозиция критериев F_1 и F_2 : $F_0 = \frac{F_1}{F_{m_1}} + \frac{F_2}{F_{m_2}}$, где F_{m_1} , F_{m_2} — наилучшее значение критериев F_1 и F_2 соответственно при независимом решении, определяются при каждом решении.

Задача определения оптимальных моментов начала обслуживания требований решается методом формирования случайных допустимых расписаний и выбором среди них наилучшего.

Первый этап считается законченным в том случае, если для каждого требования, входящего в агрегированное расписание, выбран момент начала (конца) обслуживания с учетом критерия F_0 , а также длительность обслуживания, оптимизирующая критерий устойчивости.

Второй этап. Уточним используемые термины: требование — элементарная технологическая операция; работа — АТО, т. е. совокупность требований, обслуживаемых в одном цехе-кооператоре, ресурс — разность (Δ) между фактическим фондом времени (T_i) и суммой уточненных нормативов требований, входящих в работу, коалиция — работа.

Аналогично первому этапу величина Δ разбивается на активную и пассивную части с использованием подстраиваемого

коэффициента χ_2 . Отметим, что решение задачи формирования пооперационного расписания при $\Delta_n=0$ практически нереализуемо.

Длительность обслуживания требований считается по формуле (10) для всех коалиций, после чего определяются моменты начала (конца) обслуживания требований с использованием адаптивного генератора допустимых расписаний [3, с. 198].

Для проверки качества описаний алгоритм сравнивается с двумя более простыми алгоритмами: равномерного распределения ресурса между элементами коалиции и случайного (равномерный закон) распределения ресурсов между элементами коалиции, что соответствует ситуации, когда при построении расписания не уделяется внимания распределению ресурсов.

Для моделирования выбрана некоторая коалиция, состоящая из k элементов, i -й элемент коалиции характеризуется функцией распределения вероятности потребления ресурса вида (4). Для каждого элемента коалиции задано значение параметра a_i ($i=1, 2, \dots, k$). Параметрами, характеризующими коалицию в целом, являются среднее значение (A) и дисперсия (D) параметров a_i ($i=1, 2, \dots, k$).

Оценка работы описанных трех алгоритмов происходила в следующей последовательности: выбор значений параметров a_i ($i=1, 2, \dots, k$) при заданном параметре A , распределение ресурсов соответственно при трех оцениваемых алгоритмах, оценка устойчивости расписаний, построенных по оцениваемым алгоритмам (соответственно — V_1, V_2, V_3).

После проведения M опытов при неизменном значении A и для различных значений D получаем M оценок устойчивости работы каждого из трех алгоритмов.

Надежной оценкой алгоритма в смысле устойчивости (V_i) будем называть такое число, больше которого 95 % из M конкретных оценок устойчивости алгоритма.

Расчетная зависимость надежной оценки работы алгоритма ($V_1^{(1)}, V_1^{(2)}, V_1^{(3)}$) от среднего значения дисперсии (A) приведена на рис. 1.

Автором была также получена зависимость надежной оценки работы алгоритма от количества элементов в коалиции (m) (рис. 2). Обе описанные зависимости позволяют охарактере-

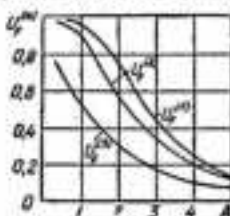


Рис. 1

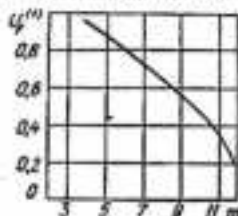


Рис. 2

ризовать область повышения надежности расписания, в которой получается наибольший эффект от применения алгоритма.

Список литературы: 1. Фиксгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 1.— М.: Физматгиз, 1962.—607 с. 2. Конвей Р. В., Максвелл В. Л., Миллер Л. В. Теория расписаний.— М.: Наука, 1975.—360 с. 3. Тамбов В. С., Шкурба В. В. Введение в теорию расписаний.— М.: Наука, 1975.—256 с.

Поступила в редколлегию 29.01.81.

УДК 519.96

В. В. ДУБРОВСКИЙ, канд. техн. наук,
А. Л. ОКСМАН, канд. техн. наук,
А. Л. ФИГОТИН, канд. физ.-мат. наук

О КЛАССИФИКАЦИИ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕДИНЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ТИПИЗАЦИИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ АСУ

Важнейшей задачей, поставленной в решениях XXVI съезда КПСС, является экономия трудовых, материальных и финансовых ресурсов за счет повышения эффективности и качества управления производством. Ее выполнение особенно актуально для газотранспортных систем, получающих значительное развитие в 11—12-й пятилетках.

Общезвестна существенная роль структуры управления технологическим объектом для устойчивой и эффективной работы последнего. Тем более велика эта роль для таких сложных технологических объектов, как производственные объединения (ПО) по транспортировке и поставкам газа. Необоснованные решения в построении структуры управления приводят к нарушению устойчивого ритма работы объекта, неполному использованию его технологических возможностей и, в конечном счете, понижению эффективности и экономичности работы ПО. Так что структура управления каждого ПО должна быть максимально приспособлена к индивидуальным особенностям данного ПО, т. е. к объему транспортируемого и распределяемого им газа, технологическому оборудованию и трудовым ресурсам, количеству крупных потребителей газа, региону, перспективам развития и к многим другим показателям. С другой стороны, любая пара ПО по транспортировке и поставкам газа имеет в силу совпадения их основных функций много общего, что должно отразиться в схожести определенных элементов структуры управления. Естественно возникает вопрос о разбиении (классификации) ПО на более или менее однородные по технико-экономическим показателям группы. Это необходимо для

дальнейшей разработки элементов организационной структуры по каждой группе, т. е. для разработки типовых решений по структуре и функциям управления ПО с учетом автоматизации.

Таким образом, классификация производственных объединений по транспортировке и поставкам газа производится с целью декомпозиции типовых групп предприятий на уровни управления с выбором подходящих принципов управления и комплекса технических средств, обеспечивающих механизацию и автоматизацию информационных и управленческих функций; построения дерева целей управления и повышения эффективности функционирования для каждой типовой группы (подкласса) с разработками комплексного алгоритма управления, функций задач для каждого уровня управления, методологии организации вычислительного, информационного и управленческого процессов; определения типовых организационных структур автоматизированного управления производственными объединениями с учетом требований АСУ-газ; организации рациональных методов обслуживания и ремонта; создания типовых проектных решений для групп (подклассов) объединений; анализа и повышения эффективности функционирования ПО.

Классификация осуществляется с учетом перспектив развития объединений в 11—12-й пятилетках, а также требований, предъявляемых к подсистемам АСУ ТП и АСУП (АСУ ОТ), и направлена, в конечном итоге, на экономию трудовых, материальных и финансовых ресурсов служб эксплуатации объектов управления и проектировщиков систем автоматизированного управления.

В статье дан анализ технико-экономических показателей и классификации на его основании ПО на группы и подгруппы. По каждому технико-экономическому показателю x (перечень которых приведен ниже) имеющиеся ПО разбиваются на несколько однородных групп (математическая сторона этого вопроса рассмотрена ниже), причем такое разбиение, вообще говоря, зависит от выбранного показателя x . Каждому технико-экономическому показателю x отвечает определенный элемент структуры управления, который в дальнейшем будет выбираться для данного ПО в соответствии с группой по этому параметру x . Рассмотрим разбиение ПО на группы по показателю x так, чтобы внутри каждой группы объекты «мало» отличались между собой по признаку x . Кроме того, будем приписывать каждому ПО вес p , характеризующий его «масштабы». Другими словами, рассматривается вопрос о разбиении множества действительных чисел $X = \{x_n\}$ ($n = \overline{1, N}$) с заданной весовой функцией p_n ($n = \overline{1, N}$) на k компонент, где $k < N$, т. е. о представлении множества X в виде объединения k непересекающихся его компонент X_i

$$X = \bigcup_{i=1}^k X_i.$$

Припишем каждой компоненте X_j некоторое среднее значение c_j входящих в нее чисел, которое находится из условия минимальности выражения

$$\min_c \sum_{x \in X_j} p(x) (x - c)^2, \quad (1)$$

где $p(x) = p_n$, если $x = x_n$, т. е. c_j — это число, доставляющее минимум выражению (1).

Искомым разбиением X на компоненты X_j будем считать разбиение, доставляющее минимум выражению

$$\min_{\substack{k \\ \bigcup_{j=1}^k X_j = X}} \sum_{j=1}^k \sum_{x \in X_j} p(x) (x - c_j)^2. \quad (2)$$

Не будем приводить полный анализ, ведущий к нахождению искомого разбиения, а сформулируем лишь окончательный результат. Перенумеруем объединения так, чтобы числа $\{x_n\}$ ($n = \overline{1, N}$) образовали неубывающую последовательность. Тогда поиск разбиения, доставляющий минимум выражению (2), сводится к следующему. Необходимо указать $k-1$ натуральных чисел $0 = n_0 < n_1 < \dots < n_{k-1} < n_k = N$ таких, что компоненты $X_j = \{x_m | n_{j-1} < m \leq n_j\}$ ($j = \overline{1, k}$) образовали искомое разбиение множества X . Определим числа $n_1, \dots, n_{k-1}$. Если для пары натуральных чисел $1 < m_1 < m_2 < N$ ввести функцию

$$F(m_1, m_2) = \left[\sum_{i=m_1}^{m_2} p_i x_i \right]^2 \left[\sum_{i=m_1}^{m_2} p_i \right]^{-1}, \quad (3)$$

то числа $n_1, n_2, \dots, n_{k-1}$ должны доставлять максимум выражению

$$\max_{0=n_0 < n_1 < \dots < n_{k-1} < n_k=N} \left\{ \sum_{j=1}^k F(n_{j-1}, n_j) \right\}. \quad (4)$$

Определив эти числа и построив компоненты X_j , как указано выше, решим поставленную задачу о поиске оптимального распределения на группы множества действительных чисел $X = \{x_n\}$ ($n = \overline{1, N}$). Поскольку в рассматриваемом случае $N=30$ (число ПО), а число групп, на которые будем разбивать ПО, не больше четырех, то ввиду простоты выражений (3), (4) задача поиска оптимального распределения может быть численно решена на ЭВМ.

Проанализируем основные технико-экономические показатели (ТЭП), характеризующие производственно-хозяйственную деятельность ПО по транспортировке и поставкам газа.

Большинство их при малом количестве ПО не дает четкую классификацию по отдельным ТЭП.

Классификация и кодирование обозначений для ПО по транспортировке и поставкам газа с целью типизации функций автоматизированного управления, таким образом, осложняются тем, что число степеней свободы, характеризующих ПО, огромно, а наборов регламентных показателей до сих пор не существует.

Учитывая изложенное выше, целесообразно разработать обобщенные классификационные признаки (критерии) и определить разбиение на классы (подклассы) по этим признакам.

Анализ основных ТЭП по всем существующим в настоящее время ПО с учетом перспективы их развития к 1985 г. позволил определить ряд обобщенных классификационных признаков, разбить ПО по классам (подклассам) и установить типовые комплексы функциональных задач автоматизированного управления и принципы управления системами в соответствии с классификационным кодом.

Для классификации ПО с точки зрения реализации функций автоматизированного управления следует учесть совокупность обрабатываемых системой информационно-советующих функций и функций управления; принцип декомпозиции системы на иерархические уровни управления; количество точек контроля и управления с учетом числа управляющих элементов, реализующих управление материальным потоком; используемый комплекс технических средств автоматизации и АСУ; способы передачи и хранения многократно используемой информации и ее использование; отображение входной и выходной информации; регламент принятия решений и их реализации; организация управления в зависимости от принципов декомпозиции системы.

Обобщенные классификационные признаки характеризуют функциональное предназначение ПО по транспортировке и поставкам газа. ПО могут осуществлять транзит газа, передавая его в другие объединения по газотранспортной системе. По магистралям таких объединений отбор газа потребителями почти отсутствует, составляя всего несколько процентов от общего объема транспортируемого газа. Существуют объединения, в которых объем поставляемого потребителям газа составляет 20—30 или 50—70 %, и, наконец, ряд объединений, практически весь полученный от предыдущих по магистралям объединений газ распределяет потребителям в своих границах.

Характерный признак, определяющий отношение объема распределяемого в границах ПО газа ко всему транспортируемому (товарному) объему, $\alpha = Q_{\text{распр}}/Q_{\text{тов}}$.

Функциональная деятельность ЦДП ПО по контролю, анализу, учету и управлению режимами зависит в большой степени от количества и характера потребителей, газ которым распределяется в границах объединения (количества потребителей, их

распределения по трассе и т. д.) и объемов товаротранспортной работы по поставке газа потребителям.

Определим классификационный признак, характеризующий распределительную работу объединения. Один из основных признаков — товаротранспортная работа по распределению газа A_p .

Значение A_p определяется следующим образом. Обозначим через $q_{i,\beta}$ объем газа, получаемого β -м потребителем через i -ю ГРС, а через $l_{i,\beta}$ — соответственно длину газопровода от i -й ГРС до β -го потребителя. Тогда $A_p = \sum_{i,\beta} q_{i,\beta} l_{i,\beta}$.

Полученное выражение требует большого объема информации для вычисления значения A_p . Поэтому желательно ввести параметр, приблизительно совпадающий с A_p , но не требующий для своего определения большого объема информации.

В предположении равномерного расположения ГРС и распределяемого газа можно получить следующий оценочный параметр γ (классификационный признак) $\gamma = Q_p \sqrt{n_{ГРС}}$, где Q_p — распределяемый в границах объединения газ; $n_{ГРС}$ — количество газораспределительных станций.

От величины γ зависит объем задач по контролю и управлению ГРС, определению мгновенных и интегральных расходов газа, а также оперативное планирование режимов с учетом неравномерности газопотребления, комплекс работ по газоснабжению буферных потребителей.

Проведенные исследования показывают, что по признаку γ можно четко выделить классы объединений, существенно отличающиеся по количеству распределяемого газа: транспортные (транзитные); транспортно-распределительные и распределительно-транспортные; распределительные.

При этом второй из указанных классов естественным образом распадается по показателю γ на два подкласса — транспортно-распределительный и распределительно-транспортный. Результаты этого разбienia приведены в гистограмме, где по оси абсцисс

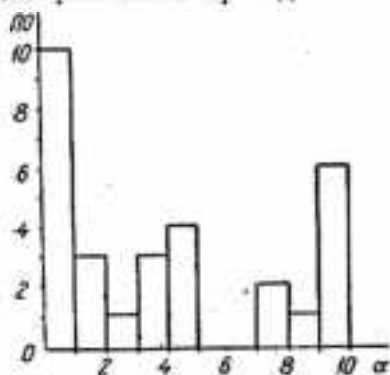


Рис. 1

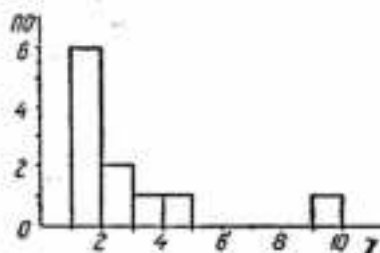


Рис. 2

отложены значения показателя α и γ в относительных единицах и указаны границы упомянутых выше классов и соответственно подклассов, а по оси ординат — количество объединений, приходящихся на соответствующий интервал (показатели α и γ определялись по плановым данным на 1985 г.). Для α 0—1 — транспортные (транзитные) ПО, 1—5 — транспортно-распределительные и распределительно-транспортные, 7—10 — распределительные (рис. 1); для γ 1—2 — транспортно-распределительные, 2—10 — распределительно-транспортные (см. рис. 2). Приведем примеры типичных представителей каждого подкласса: транспортные (транзитные) объединения — Тюментрансгаз, Средазтрансгаз; транспортно-распределительные — Куйбышевтрансгаз, Львовтрансгаз; распределительно-транспортные — Уралтрансгаз, Киевтрансгаз; распределительные — Узбектрансгаз, Донецктрансгаз.

Поступила в редколлегию 22.04.82.

УДК 519:622.691

В. Б. ШИФРИН, канд. техн. наук, Н. Г. БИЗЮК

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЖЕСТКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ТРАНСПОРТА ГАЗА

Разработка автоматизированных систем управления газотранспортными системами требует решения задач прогнозирования нестационарных гидравлических процессов.

Нестационарные режимы рассчитываются в тех случаях, когда они являются рабочими для определенных машин, например: планируемые пуски и остановки насосных агрегатов, подключение и отключение путевых отборов и т. д., а также в аварийных ситуациях. При расчете определяются режимные параметры потоков газа (давление, температура, массовый расход) и их изменения во времени в определенных сечениях системы.

Для формализации описания сетевых систем используются структурные графы, дуги которых соответствуют технологическим элементам (линейный участок — «труба», «источник», «потребитель», компрессорная станция). В общем случае модель объекта описывается системой алгебраических (топология) и нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных (элементы). Отсутствие аналитического решения в общем виде требует упрощенного описания модели. В ряде случаев осуществляется переход к обыкновенным дифференциальным уравнениям, которые затем решаются на ЭВМ с помощью

стандартной программы, реализующей явный метод Рунге — Кутты. Результаты являются удовлетворительными только для простейших схем. Усложнение сети ведет к значительному увеличению времени счета или к неустойчивости решения.

Модель газотранспортной сети включает элементы, обладающие различной инерционностью, что вызывает значительный разброс временных характеристик. Система дифференциальных уравнений в этом случае относится к типу жестких (жесткость уравнений определяется понятием Ю. В. Ракитского [1], наиболее общим в настоящее время).

Распространенным классом линейных многошаговых методов для жестких задач являются формулы дифференцирования назад (ФДН) [2].

Рассмотрим модель вида $f(x, \dot{x}, t) = 0$, $0 \leq t \leq T$ (1), где f и x — векторы. Интервал $(0, T)$ разбивается на участки с переменным шагом точками $t_0, t_1, \dots, t_{n-k}, t_{n+1-k}, \dots, t_N$.

Производная в текущей точке $\dot{x}_{n+1}$ аппроксимируется по $k+1$ значениям x_{n+1-i} ($0 \leq i \leq k$) — метод порядка k :

$$\dot{x}_{n+1} = - \frac{1}{t_{n+1} - t_n} \sum_{i=0}^k \alpha_i x_{n+1-i}, \quad (2)$$

что приводит (1) к системе нелинейных алгебраических уравнений относительно x_{n+1} : $f(x_{n+1}, \dot{x}_{n+1}(x_{n+1}), t_{n+1}) = 0$ (3).

Система может быть эффективно решена методом Ньютона. При этом в качестве начального приближения для x_{n+1} используется явное прогнозирующее выражение:

$$x_{n+1}^0 = \sum_{i=1}^{k+1} \gamma_i x_{n+1-i}. \quad (4)$$

Коэффициенты формул (2) и (4) зависят от соотношения временных шагов на интервале интегрирования. ФДН порядка k ($1 \leq k \leq 6$) являются жесткоустойчивыми. Сочетание метода ФДН с алгоритмами, основанными на использовании текущего значения погрешности дискретизации для выбора временных шагов Δt и порядка интегрирования k , позволяет существенно уменьшить общее число временных шагов, необходимое для численного решения системы дифференциальных уравнений.

Погрешность дискретизации $E^{(k)}$ для момента t_{n+1} в методе порядка k определяется выражением

$$E^{(k)} = \frac{t_{n+1} - t_n}{t_{n+1} - t_{n-k}} (x_{n+1} - x_{n+1}^0), \quad (5)$$

где x_{n+1} — решение системы уравнений (3); x_{n+1}^0 — прогноз для x_{n+1} .

Изменение величины временного шага допускается на каждом временном интервале, исходя из соотношения

$$h_{\text{нов}} = \sqrt[k]{\frac{e_i}{E_i^{(k)}}} h_{\text{стар}},$$

где $e_i = |\epsilon \times x_i|$; ϵ — заданная относительная погрешность; i — номер компоненты вектора x ; $E_i^{(k)}$ — ошибка дискретизации по x_i .

Изменение порядка производится только после выполнения $k+1$ шагов по методу заданного k -го порядка. Для этого требуются оценки погрешности каждой составляющей вектора x_i для методов порядка $k-1, k, k+1$: $E_i^{(k-1)}, E_i^{(k)}, E_i^{(k+1)}$.

Среди погрешностей выбираются те, которые соответствуют наименее точным компонентам вектора x ,

$$E^{(i)} = \max_i E_i^{(i)}, \quad i = k-1, k, k+1.$$

Порядок метода выбирается равным порядку, при котором величина $E^{(i)}$, $i = k-1, k, k+1$ минимальна.

Рассмотрим упрощенную систему, описывающую нестационарное течение газа в узлах газотранспортной сети [3]

$$-\frac{dP_j}{dt} = B \sum_{i \in \{j\}} Q_{ji}, \quad j = 1, \dots, N, \quad (6)$$

где P_j — давление в точке разветвления j ; Q_{ji} — расход газа в трубе между узлами j, i ; B — коэффициент; $\{j\}$ — множество узлов, соединенных с узлом j трубой; N — количество узлов; t — приведенное время.

Давления в узлах j и i , соединенных трубой, связаны зависимостью $P_j^2 - P_i^2 = C Q_{ji} |Q_{ji}|$ (7), где C — коэффициент сопротивления трубы.

Решение системы уравнений (6) с учетом уравнений (7) и начальными условиями $P_j(0) = \text{const}$ позволяет прогнозировать давления в узловых точках для моментов времени $t > 0$. Система решалась методами ФДН и Рунге — Кутты для различных технологических схем.

Анализ результатов показал, что для простейших схем, например соединение двух линейных участков, методы равноценны. При усложнении схемы метод ФДН требует меньше вычислительных затрат, так как допускается значительное увеличение шага интегрирования. На рисунке, а приведена схема кольцевого газопровода из четырех труб, источника с коэффициентом сопротивления $C_n = 10^5$, поддерживающего давление $P_n = -2026 \cdot 10^2$ ГПа потребителя с фиксированным расходом $Q = 0,6$ тыс. м³/сут. Расчеты при различных сочетаниях значений коэффициентов сопротивления

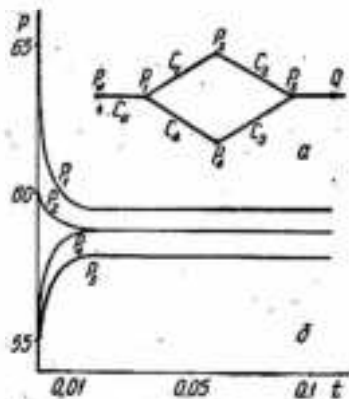


Рис. 1

труб С показали, что метод ФДН позволяет получать приемлемые результаты в тех случаях, когда метод Рунге — Кутты расходуется ($C_1=0,01$; $C_2=C_3=C_4=1000$). При коэффициентах сопротивления $C_1=C_2=C_3=C_4=1000$ соотношение времен расчета переходного процесса методами Рунге — Кутта и ФДН (рисунок, б) составляет 5:1, причем это соотношение растёт с увеличением размерности системы.

Использование метода ФДН для прогнозирования позволит сократить время расчета переходных режимов, особенно в случае разнесения собственных значений интегрируемой системы на несколько порядков.

Список литературы: 1. Ракитский Ю. В., Устинов С. М., Черноуцкий Н. Г. Численные методы решения жестких систем. — М.: Наука, 1979. — 208 с. 2. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. — М.: Мир, 1979. — 312 с. 3. Салам А. П. Добыча и транспорт нефти и газа. Ч. 2. — М.: Недра, 1980. — 264 с.

Поступила в редколлегию 22.01.82.

УДК 621.396.6

А. И. БЕЦКОВ, канд. техн. наук,
В. И. СТЕЦЕНКО, канд. техн. наук,
А. В. ХИТРОВ, канд. техн. наук

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ АСУ ТП

Для оценки эффективности АСУ ТП используют определенные показатели. Показатели эффективности АСУ ТП не всегда рассчитываются с учетом показателей надежности. Как показывает практика эксплуатации АСУ ТП, их эффективность существенным образом зависит от уровня надежности. Низкий уровень надежности приводит к снижению эффективности и может вообще дискредитировать саму идею создания АСУ ТП.

В настоящее время проблемы повышения надежности и эффективности усложнились. Следует ожидать еще большего усложнения и в дальнейшем, когда АСУ ТП будут создаваться на основе многомашинных и многопроцессорных управляющих вычислительных комплексов со сложной иерархической структурой.

Наблюдается объективный процесс возрастания роли надежности как решающего направления в повышении эффективности АСУ ТП и прежде всего в связи с ростом ответственности функций, возлагаемых на современные АСУ ТП. Внедрение АСУ ТП требует повышения внимания к вопросам надежности, так как очевидно, что отказы в работе АСУ ТП, выражающиеся в прекращении функционирования или в передаче ложных команд, могут привести к значительным экономическим потерям.

В настоящее время еще не разработаны теории сложных систем и надежности сложных систем, позволяющие производить анализ и синтез любых сложных систем с учетом их особенностей, что также в определенной мере усложняет решение проблем надежности и эффективности АСУ ТП, относящихся к сложным системам [1].

Основой исследования вопросов эффективности АСУ ТП является выбор и обоснование показателей эффективности. Следует подчеркнуть, что от того, какая характеристика АСУ ТП выбрана в качестве показателя эффективности, зависят интерпретация свойств системы и результаты ее исследования.

Характер показателя эффективности определяет основные направления в поиске свойств системы, которые обеспечивают ее оптимальность (с точки зрения выбранного показателя эффективности).

Для оценки эффективности АСУ ТП целесообразно предложить следующую совокупность показателей эффективности, конкретное применение которых производится в соответствии с поставленными задачами исследования.

1. Коэффициент рентабельности капитальных вложений $R_K = \Pi/K$ (1), где Π — годовая прибыль от применения АСУ ТП, определяется как разность стоимости (Π) и себестоимости (C) объема годового производства продукции $\Pi = \Pi - C$.

2. Срок окупаемости капитальных вложений. Этот показатель эффективности однозначно связан с коэффициентом рентабельности капитальных вложений R_K и характеризует то время промышленной эксплуатации АСУ ТП, в течение которого полученная прибыль становится равной капитальным затратам на АСУ ТП и определяется $T_{ок} = 1/R_K = K/\Pi$ (2).

3. Чистая прибыль за счет применения АСУ ТП (в расчете за 1 год) $\Pi_2 = \Pi - E_p K$ (3), где E_p — нормативный коэффициент экономической эффективности.

4. Приведенные затраты $\Pi_3 = C + E_n K$ (4), где E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, выражает минимально допустимую экономию себестоимости на рубль капитальных вложений.

5. Годовой экономический эффект. Этот показатель эффективности является производным от показателя приведенных затрат и определяется: $\Delta = (\Pi_{31} - \Pi_{32}) V_2$ (5), где V_2 — объем годового производства продукции с использованием АСУ ТП; Π_{31} — приведенные затраты на предыдущей организации производства продукции; Π_{32} — приведенные затраты с использованием АСУ ТП.

Анализ зависимостей (1) — (5) показывает, что все предложенные показатели с точки зрения надежности являются функцией от параметров: объема годового производства продукции (V); себестоимости годового производства продукции (C); стоимости годового производства продукции (Π).

В связи с этим последующие выкладки будут посвящены определению этих параметров с учетом надежности.

Учитывая вероятностный характер функционирования АСУ ТП, параметры V , C и Π также суть случайные величины, вследствие чего в дальнейшем целесообразно использовать их математические ожидания и обозначать следующим образом: $\bar{V}_0$, $\bar{C}_0$, $\bar{\Pi}_0$ — математические ожидания объема, себестоимости и стоимости годового производства продукции, определенные для абсолютно надежной АСУ ТП; $\bar{V}$, $\bar{C}$, $\bar{\Pi}$ — математические ожидания объема, себестоимости и стоимости годового производства продукции, определенные с учетом реальной надежности АСУ ТП.

Для определения объема годового производства продукции $\bar{V}$ необходимо определить производительность АСУ ТП в работоспособном состоянии P_0 при различных видах отказов ($0 < p_i < P_0$) [2]. Тогда объем годового производства продукции

$$V = \sum_{i=1}^n P_i \bar{\theta}_i + P_0 \left(\theta - \sum_{i=1}^n \theta_i \right), \quad (6)$$

где θ_i — математическое ожидание времени пребывания АСУ ТП в течение года в i -м отказовом состоянии; n — количество видов отказов, по-разному влияющих на производительность АСУ ТП;

θ — годовой располагаемый фонд рабочего времени АСУ ТП. Первое слагаемое формулы (6) характеризует объем производства продукции в течение суммарного времени нахождения АСУ ТП в отказовых состояниях, второе слагаемое — объем производства продукции в течение времени нахождения АСУ ТП в работоспособном состоянии.

Величины θ_i могут быть определены при заданных показателях безотказности и ремонтпригодности (в результате специальных испытаний или в процессе промышленной эксплуатации) по всем видам отказов. При этом $\theta_i = \bar{Q}_i T_{в.г}$ (7), где $\bar{Q}_i$ — математическое ожидание числа отказов i -го вида; $T_{в.г}$ — среднее время восстановления работоспособности при возникновении отказов i -го вида.

Величину $\bar{Q}_i$ можно определить из соотношения

$$\bar{Q}_i = \frac{\theta}{(T_i + T_{в.г})}, \quad (8)$$

где T_i — наработка на отказ i -го вида.

Показатели T_i и $T_{в.г}$ определяются в соответствии с ГОСТ 13377—75 [3]. Годовой располагаемый фонд рабочего времени θ — это время плановой работы АСУ ТП, определяется путем вычитания из календарного фонда праздничного, выходного, внесменного времени, времени планового технического обслуживания, а также суммарного времени простоя технологического

оборудования, если эффективность АСУ ТП определяется без учета данного технологического оборудования.

Подставляя в формулу (6) выражения (7) и (8), выражение для объема годового производства продукции с учетом надежности можно записать:

$$\bar{V} = \theta \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i T_{ni}}{T_i + T_{ni}} + P_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{T_{ni}}{T_i + T_{ni}} \right) \right] \quad (9)$$

Учитывая связь стоимости и объема годового производства продукции $\bar{C} = C_1 \bar{V}$ (10), с учетом формулы (9) следует, что

$$\bar{C} = C_1 \theta \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i T_{ni}}{T_i + T_{ni}} + P_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{T_{ni}}{T_i + T_{ni}} \right) \right] \quad (11)$$

где C_1 — стоимость единицы продукции.

Рассмотрим теперь себестоимость объема годового производства продукции $\bar{C}$. В общем случае совокупность составляющих себестоимости объема годового производства продукции целесообразно разделить на две группы и представить в виде $\bar{C} = \bar{C}_0 + \bar{C}_{\text{пн}}$ (12), где $\bar{C}_{\text{пн}}$ — математическое ожидание повышения себестоимости объема годового производства продукции за счет простоев АСУ ТП, вызванных возникающими отказами.

Себестоимость объема годового производства продукции при абсолютно надежной АСУ ТП определится $\bar{C}_0 = \bar{C}_n + C_{\text{ам}} + C_{\text{пто}} + \bar{C}_{\text{пр}} + \bar{C}_{\text{нпр}} + C_c$ (13), где C_n — стоимость аппаратуры, комплектующих материалов, изделий, электроэнергии, рабочей силы; $C_{\text{ам}}$ — годовые амортизационные отчисления на покрытие капитальных вложений; $C_{\text{пто}}$ — стоимость планового технического обслуживания АСУ ТП в течение года; $C_{\text{пр}}$ — накладные расходы; $C_{\text{нпр}}$ — отчисления на проводимые научно-исследовательские работы; C_c — отчисления на социальное страхование.

Повышение себестоимости объема годового производства продукции за счет простоев АСУ ТП, вызванных возникающими отказами, целесообразно представить в виде $\bar{C}_{\text{пн}} = \bar{C}_{\text{пм}} + \bar{C}_p + \bar{C}_n$ (14), где $\bar{C}_{\text{пм}}$ — повышение стоимости комплектующих материалов, изделий, электроэнергии, рабочей силы, вызванных простоями из-за возникающих отказов АСУ ТП; $\bar{C}_p$ — годовые затраты на ремонт; C_n — потери из-за простоев АСУ ТП.

Составляющие формулы (14) целесообразно определить следующим образом:

$$\bar{C}_{\text{пм}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{пм}_i} \cdot \bar{V}_i = \theta \sum_{i=1}^n \frac{\bar{C}_{\text{пм}_i}}{T_i + T_{ni}} \quad (15)$$

где $\bar{C}_{\text{пл}i}$ — повышение стоимости комплектующих материалов, изделий, электроэнергии, рабочей силы, вызванных простоями из-за отказов i -го вида;

$$\bar{C}_p = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{pi} \bar{Q}_i = \theta \sum_{i=1}^n \frac{\bar{C}_{pi}}{T_i + T_{ni}}, \quad (16)$$

где $\bar{C}_{pi}$ — затраты на ремонт при возникновении отказа i -го вида;

$$\bar{C}_n = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{ni} \bar{Q}_i = \theta \sum_{i=1}^n \frac{\bar{C}_{ni}}{T_{ni} + T_i}, \quad (17)$$

где C_{ni} — потери от простоев АСУ ТП, обусловленные стоимостью недополученной продукции из-за отказа i -го вида.

Для обобщенной оценки надежности в дальнейшем будем использовать следующий подход, который является наиболее целесообразным для АСУ ТП как сложных систем.

Пусть определен один или несколько показателей эффективности для АСУ ТП, определенные с учетом реальной надежности ($\Xi_1, \Xi_2, \dots, \Xi_N$) и для абсолютно надежной АСУ ТП ($\Xi_{10}, \Xi_{20}, \dots, \Xi_{N0}$). Тогда под обобщенной оценкой надежности данной системы будем понимать совокупность показателей вида

$$H_{01} = \frac{\Xi_1}{\Xi_{10}}, H_{02} = \frac{\Xi_2}{\Xi_{20}}, \dots = \frac{\Xi_N}{\Xi_{N0}}; \quad (18)$$

$$H_{A1} = |\Xi_1 - \Xi_{10}|, H_{A2} = |\Xi_2 - \Xi_{20}|, \dots = |\Xi_N - \Xi_{N0}|, \quad (19)$$

где H_{0i} — относительный обобщенный i -й показатель надежности; H_{Ai} — абсолютный обобщенный i -й показатель надежности.

Применяя такой подход к предложенным показателям эффективности (1)–(5) и полученным зависимостям (9), (11), (12), характеризующих зависимость основных параметров показателей эффективности от надежности АСУ ТП, общие зависимости (15) и (19) после несложных преобразований будут иметь вид

$$H_{\text{орк}} = \frac{\Pi_0 \bar{V} - \bar{C}}{\Pi_0 \bar{V}_0 - \bar{C}_0}; \quad (20)$$

$$H_{\text{арк}} = \frac{\Pi_0 (\bar{V}_0 - \bar{V}) - (\bar{C} - \bar{C}_0)}{K} \quad (21); \quad H_{\text{от}} = \frac{\Pi_1 \bar{V}_0 - \bar{C}_0}{\Pi_1 \bar{V} - \bar{C}}; \quad (22)$$

$$H_{\text{ат}} = K \frac{\Pi_1 (\bar{V}_0 - \bar{V}) - (\bar{C} - \bar{C}_0)}{(\Pi_1 \bar{V}_0 - \bar{C}_0) (\Pi_1 \bar{V} - \bar{C})} \quad (23); \quad H_{\text{опч}} = \frac{\bar{V} \Pi_1 - \bar{C} - E_p K}{\Pi_1 \bar{V}_0 - \bar{C}_0 - E_p K}; \quad (24)$$

$$H_{\text{АПЧ}} = C_0(\bar{V}_0 - \bar{V}) - (\bar{C} - C_0) \quad (25); \quad H_{\text{ОПЗ}} = \frac{\bar{C} + E_{\text{НК}}}{\bar{C}_0 + E_{\text{НК}}}; \quad (26)$$

$$H_{\text{АПЗ}} = \bar{C} - \bar{C}_0; \quad (27)$$

$$H_{\text{ОЗ}} = \frac{(\bar{C}_1 - \bar{C}_2 + E_{\text{Н}_1}K_1 - E_{\text{Н}_2}K_2) \bar{V}_2}{(\bar{C}_{10} - \bar{C}_{20} + E_{\text{Н}_1}K_1 - E_{\text{Н}_2}K_2) \bar{V}_{20}}; \quad (28)$$

$$H_{\text{АЗ}} = (\bar{C}_{10} - \bar{C}_{20} + E_{\text{Н}_1}K_1 - E_{\text{Н}_2}K_2) \bar{V}_{20} - \\ - (\bar{C}_1 - \bar{C}_2 + E_{\text{Н}_1}K_1 - E_{\text{Н}_2}K_2) \bar{V}_2, \quad (29)$$

где $H_{\text{ОРК}}$, $H_{\text{АРК}}$ — относительный и абсолютный обобщенные показатели надежности для коэффициента рентабельности капитальных вложений; $H_{\text{ОРТ}}$, $H_{\text{АТ}}$ — относительный и абсолютный обобщенные показатели надежности для срока окупаемости капитальных вложений; $H_{\text{ОПЧ}}$, $H_{\text{АПЧ}}$ — относительный и абсолютный обобщенные показатели надежности для чистой прибыли, получаемой за счет использования АСУ ТП; $H_{\text{ОПЗ}}$, $H_{\text{АПЗ}}$ — относительный и абсолютный обобщенные показатели надежности для приведенных затрат; $H_{\text{ОЗ}}$, $H_{\text{АЗ}}$ — относительный и абсолютный обобщенные показатели надежности для годового экономического эффекта.

Таким образом, получены аналитические выражения для исследования эффективности с учетом надежности АСУ ТП, а также обобщенные показатели надежности для различных показателей эффективности. Полученные результаты являются основой для проведения исследований, направленных на повышение надежности и эффективности АСУ ТП.

Список литературы: 1. Буслегко Н. П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978. — 399 с. 2. Надежность и эффективность АСУ/Ю. Г. Заренкин, М. Д. Збырко, Б. П. Креденер и др. — К.: Техніка, 1975. — 368 с. 3. Бецов А. И., Пиеничный Ю. В., Стеценко В. И. К вопросу об оценке надежности и эффективности сложных информационно-управляющих систем. — АСУ и приборы автоматики, 1981, вып. 3, с. 5—7.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

СОДЕРЖАНИЕ

Свиридов В. В., Шамша Б. В., Васильцова С. В. Об автоматизации проектирования системы идентификации в АСУ ТП	3
Дабагин А. В. Современные задачи автоматизированного проектирования	11
Волколупова Р. Т. Вопросы автоматизации проектирования сложных сетевых систем	17
Ивченко Н. Б. Формирование информационных структур взаимодействующих АСУ и определение в них контуров	23
Петров Э. Г., Тыричева Е. А. Методика определения производительности КТС региональной сети ВЦ	32
Гриша С. Н., Галица А. А., Москаленко А. И. Об одном подходе к проектированию архитектуры систем управления производством	37
Жевнов С. С. О сравнении многомерных альтернатив в диалоговых процессах принятия решений	40
Вольвах А. Г., Юдаков А. Г. О проблеме принятия плановых решений коллективом ЛПР	45
Заруба В. Я., Выпинашко И. Н., Иванов Л. В. Разработка алгоритмического обеспечения автоматизированных систем коллективного принятия плановых решений	50
Борячок М. Д., Шостак В. Ф. Координация многосвязных технологических комплексов методом обобщенного приведенного градиента	55
Сытина Ю. Б., Гендельман Л. А., Сапрыкина И. А. Автоматизированное проектирование программ ведения информационной базы в режиме телеобработки данных	60
Ткачук Н. В., Баженов В. Г. Особенности структур данных и программ в математическом обеспечении САПР	64
Макаренко А. В., Цыхманов Г. В., Виноградов С. А. Построение оптимального типоразмерного ряда изделий	68
Большак А. Н., Сиренко А. Н. Некоторые вопросы построения оптимальных типоразмерных рядов изделий	71
Шевченко С. В. Применение метода ветвей и границ для решения задачи размещения систем технического обслуживания	75
Коноваленко М. К. Математическое и кибернетическое моделирование изделий	78
Телетов А. С. О некоторых задачах повышения эффективности систем управления качеством работы в условиях АСУ	85
Гнидин В. В., Носов А. Л., Черников В. В. Дальнометрическая система автоматического восприятия крупногабаритных деталей на транспортном конвейере	89
Винтизенко И. Г., Малых И. Г., Мирных Ю. Ф. КАРЛ-3 — система автоматизированного конструирования печатных плат	93
Ашимов А. А., Сагынгалеев К. С., Расхепко Н. А., Ни А. Г. Опыт разработки и внедрения автоматизированной подсистемы месячного планирования и стимулирования	99
Кедрус В. А., Северин С. Ф. Принципы адаптивного управления сетью передачи и распределения информационных потоков	107
Фастовский Я. А. К вопросу об устойчивости пооперационных расписаний	112
Дубровский В. В., Оксман А. Л., Фиготин А. Л. О классификации газотранспортных объединений с целью типизации проектируемых АСУ	118
Шифрин В. Б., Бизюк Н. Г. Метод решения жестких систем для прогнозирования режимов транспорта газа	123
Бецков А. И., Стеценко В. И., Хитров А. В. К вопросу об оценке надежности и эффективности АСУ ТП	126

УДК 681.5

Об автоматизации проектирования системы идентификации в АСУ ТП. Свиридов В. В., Шамша Б. В., Васильцова С. В. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 3—10.

Рассмотрены основные задачи автоматизации проектирования модульных систем обработки данных (СОД) в АСУ ТП. Приведены главные этапы функционирования адаптивной системы управления с идентификатором и определены решения на каждом этапе. Даны структурные схемы систем управления и проектирования. Описан алгоритм работы управляющей программы в системе проектирования. Ил. 4. Библиогр.: 8 назв.

УДК 658.512.2

Современные задачи автоматизированного проектирования. Дабагия А. В. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 11—17.

Разработана новая концепция автоматизированного проектирования. Изложены основы системного подхода к задачам проектирования машин. Рассмотрены принципы применения современных цифровых ЭВМ для решения задач САПР. Библиогр.: 2 назв.

УДК 621.391

Вопросы автоматизации проектирования сложных сетевых систем. Волколуца Р. Т. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 17—23.

Рассматривается метод представления структур проектируемых сложных сетевых систем с помощью сетевых множеств. Дается определение сетевых множеств смежностей и инцидентий и их свойства. Проводится сравнение сетевых множеств с матрицами. Определяется область использования рассмотренного метода при автоматизации проектирования сложных сетевых систем.

УДК 519.7

Формирование информационных структур взаимодействующих АСУ и определение в них контуров. Ивченко Н. Б. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 23—32.

Сформулирована постановка задачи проектирования взаимодействия АСУ и рассматривается математическая модель построения информационных структур, являющихся исходными для решения этой задачи. Структуры формируются на основе функциональной связи между системами (объектами) и информационной связи между задачами взаимодействия и представляют собой связанные ориентированные подграфы. Предлагаются модель и алгоритм определения элементарных контуров в структурах. Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.395

Методика определения производительности КТС региональной сети ВЦ. Петров Э. Г., Тыричева Е. А. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 32—36.

Рассматривается постановка и метод решения задачи выбора характеристик сети взаимодействующих ВЦ-мощностей центров и пропускных способностей каналов связи между ними, минимально необходимых для своевременного решения комплекса регулярных информационно-связанных за-

дач АСУ с заданными директивно сроками обслуживания на сети. Приведены алгоритмы поэтапного решения проблемы, которые легко интерпретируются для задач развития сети, когда часть параметров сети задана.

Библиогр.: 5 назв.

УДК 658.012

Об одном подходе к проектированию архитектуры систем управления производством. Гриша С. Н., Галица А. А., Москаленко А. И. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 37—40.

Рассматривается задача построения архитектуры систем управления производством в рамках нормативно-алгоритмического подхода. Предлагается технология проектирования и выбора вариантов архитектуры систем управления.

Библиогр.: 6 назв.

УДК 519.81.2

О сравнении многомерных альтернатив в диалоговых процессах принятия решений. Женинов С. С. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 40—45.

Приведено употребление в процессах принятия плановых решений некоторых интерактивных процедур сравнения многомерных альтернатив. Описываются компенсационные схемы сравнения альтернатив с уровнем притязаний, способы получения информации от ЛПР.

Библиогр.: 8 назв.

УДК 519.6.3

О проблеме принятия плановых решений коллективом ЛПР. Вольвах А. Г., Юдаков А. Г. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 45—50.

Рассмотрено коллективное принятие плановых решений в условиях функционирования сложных иерархических объектов. Предлагаются системы моделей различной степени детализации, способы агрегирования информации, методы вертикального и горизонтального согласований моделей, ориентированные на использование в интерактивном режиме.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 65.012.122

Разработка алгоритмического обеспечения автоматизированных систем коллективного принятия плановых решений. Заруба В. Я., Выпинаш-ко И. Н., Иванов Л. В. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 50—54.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение автоматизированных систем коллективного принятия плановых решений в двухуровневой иерархической системе центр — элементы. Предлагается диалоговая процедура распределения ресурса, предназначенная для решения задач отраслевого планирования. Библиогр.: 3 назв.

УДК 62—50

Координация многосвязных технологических комплексов методом обобщенного приведенного градиента. Борячок М. Д., Шостак В. Ф. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 55—60.

Описывается эффективная двухуровневая вычислительная процедура решения задач оперативной оптимизации многосвязных технологических

комплексов. Двухуровневый алгоритм строится путем модификации известного метода обобщенного приведенного градиента.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 658.5

Автоматизированное проектирование программ ведения информационной базы в режиме телеобработки данных. Сытина Ю. В., Гендельман Л. А., Сапрыкина И. А. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 60—64.

Описывается пакет прикладных программ (ППП) ведения информационной базы с использованием системы отображения информации ЕС-7920, предназначенный для автоматизации процесса создания программ ведения индексно-последовательных и последовательных файлов с записями фиксированной длины. Реализованы типовые процедуры, характерные для ведения файлов в режиме теледоступа.

УДК 658.512.2

Особенности структур данных и программ в математическом обеспечении САПР. Ткачук Н. В., Баженов В. Г. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 64—67.

Рассмотрена концептуально-единая методика проектирования и реализации информационно-программного обеспечения проблемно-ориентированных САПР, основанная на последовательном применении принципа разделения между логическим и физическим уровнями в представлении данных и определенных над ними операций.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 658.512.2

Построение оптимального типоразмерного ряда изделий. Макаренко А. В., Цыхманов Г. В., Виноградов С. А. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 68—70.

Приведена задача построения оптимального типоразмерного ряда изделий. Предложено два метода приближенного ее решения: дихотомии и объединения заявок. Приведено подробное описание метода объединения заявок. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 658.512.2

Некоторые вопросы построения оптимальных типоразмерных рядов изделий. Большаков А. Н., Сиренко А. Н. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 71—75.

Рассматривается задача построения поля заявок и аппроксимации аналитическими зависимостями затрат на обслуживание заявок. Построение поля заявок ведется на базе рядов предпочтительных чисел. Аппроксимация статистических данных ведется мультипликативными функциями для случая аддитивной ошибки. Библиогр.: 6 назв.

Применение метода ветвей и границ для решения задачи размещения систем технического обслуживания. Шевченко С. В. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 75—78.

Рассмотрена проблема построения оптимальной сети систем технического обслуживания, которая сводится к задаче нелинейного дискретного программирования. Для решения задачи применяется метод ветвей и границ. Приводятся алгоритм вычисления оценки ветвистого множества, способы задания начальной вершины и правило ветвления. Библиогр.: 2 назв.

Математическое и кибернетическое моделирование изделий. Коноваленко М. К. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 78—85.

Предложен метод моделирования заготавливаемой техники с целью формирования оптимальных планов предприятиям и установления математических зависимостей с другими видами продукции. В качестве модели используется мультиграф в трехмерном пространстве. Формой представления мультиграфа используется матрица смежности вершин.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

О некоторых задачах повышения эффективности систем управления качеством работы в условиях АСУ. Телетов А. С. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 85—89.

Предлагается критерий оценки снижения качества труда производственных подразделений на примерах задач «Контроль за своевременной проверкой средств измерения», «Анализ простоев рабочих и оборудования по заводу». Разработаны алгоритмы решения задач, которые позволят повысить ритмичность производства, сократить потери от брака, рекламаций, расходы на переделку. Ил. 2. Библиогр. ссылка в подстроч. примеч.

Дальномертическая система автоматического восприятия крупногабаритных деталей на транспортном конвейере. Гиядин В. В., Носов А. Л., Черныков В. В. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 89—93.

Описывается система автоматического восприятия, построенная на базе сканирующего лазерного дальномера и предназначенная для получения на основе обработки поступающей от дальномера визуальной информации данных, используемых для автоматической адресации крупногабаритных деталей на конвейере и для подачи их с конвейера на места сборки с помощью автоматических манипуляторов. Приводятся технические характеристики дальномера.

Библиогр. ссылка в подстроч. примеч.

КАРЛ-3 — система автоматизированного конструирования печатных плат. Виятисенко И. Г., Малых И. Г., Мирных Ю. Ф. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 93—99.

Приводятся структура, особенности построения, возможности промышленно-эксплуатируемой системы автоматизированного конструирования пе-

чатных плат КАРЛ-3. Детально излагаются функции монитора, особенности языка описания принципиальных электрических схем, базы данных, подсистемы технологического проектирования. Библиогр.: 2 назв.

УДК 65.012.122

Опыт разработки и внедрения автоматизированной подсистемы месячного планирования и стимулирования. Ашимов А. А., Сагмыгалеев К. С., Расщепко Н. А., Н и А. Г. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 99—107.

Рассматривается заготовительное производство (ЗП). Предлагаются пути совершенствования системы планирования при помощи решения задачи оптимального месячного планирования в рамках НОП и пути совершенствования системы оплаты труда посредством решения задачи синтеза системы стимулирования.

Ил. 2. Библиогр.: 7 назв.

УДК 621.391

Принципы адаптивного управления сетью передачи и распределения информационных потоков. Кедрус В. А., Северин С. Ф. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 107—112.

Дается обоснование использования адаптивного метода управления как способного обеспечить оптимальное управление процессами передачи и распределения информационных потоков между пользователями, непосредственно не связанными между собой. Дана структура адаптивной информационной системы, функционирование которой основано на прогнозировании изменения нагрузки, поступающей на узел адаптивной коммутации (УАК).

Ил. 3. Библиогр.: 8 назв.

УДК 519.95

К вопросу об устойчивости пооперационных расписаний. Фастовский Я. А. АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 112—118.

Статья посвящена актуальной проблеме повышения устойчивости формируемых пооперационных расписаний в условиях мелкосерийного производства.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

УДК 519.96

О классификации газотранспортных объединений с целью типизации проектируемых АСУ. Дубровский В. В., Оксман А. Л., Фиготин А. Л. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 118—123.

Предлагается метод классификации газотранспортных предприятий по их основным технико-экономическим показателям с целью типизации проектируемых АСУ. Эффективность метода проиллюстрирована на примере классификации по двум важным показателям.

Ил. 1.

УДК 519:622.691

Метод решения жестких систем для прогнозирования режимов транспорта газа. Шифрин В. Б., Бизюк Н. Г. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 123—126.

Предлагается многошаговый метод «дифференцирования назад» (ФДН) для решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих динамическую модель газотранспортной сети.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.396.6

К вопросу об оценке надежности и эффективности АСУ ТП. Бецков А. И., Стеценко В. И., Хитров А. В. — АСУ и приборы автоматики, 1984, вып. 70, с. 126—131.

Для оценки эффективности АСУ ТП предлагается использовать пять показателей, которые отражают различные стороны функционирования АСУ ТП. Выделены зависящие от надежности параметры показателей экономической эффективности.

Библиогр.: 3 назв.

АВТОМАТИЗИ- РОВАННЫЕ СИСТЕ- МЫ УПРАВЛЕНИЯ

И ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
СБОРНИК

Основан в 1965г.

Сборник публикуется по инициативе и при поддержке

