

УДК 681.142

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ (Состояние исследований. Проблемы)

Ю.И. Куравлев, А.Ф. Кулаков, А.И. Мартынов,
Б.Б. Тимофеев, И.М. Шенброт

Предмет исследования

В настоящее время системы управления производством и технологическими процессами с применением вычислительной техники вступили в стадию широкого промышленного внедрения. Промышленные предприятия, энергетические, транспортные и другие системы с иерархической структурой, в органах управления которых для преобразования потоков информации и оптимизации управления используются вычислительные машины и системы, образуют класс так называемых больших систем (БС) [1].

В общем случае любая из этих систем может быть представлена как система массового обслуживания, состоящая из элементов (комплексов) следующих типов [2] (рис. 1):

- датчиков информации о клиентах (ДК);
- датчиков информации о состоянии элементов системы (ДЭ);
- исполнительных органов (ИО);
- органа управления (УО);
- устройств передач информации (ПИ).

Так, например, клиентом (дходом) участка производства металлургического завода [3] является продукция мартеновского

цеха; датчиками информации о клиенте — датчики состояния плавок, занаса слитков на складе и т.п.; исполнительными органами — краны, обжимные, сортовые и прокатные станы, транспортные средства и др.

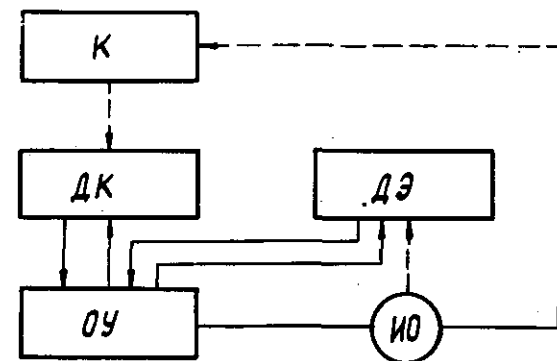


Рис. 1

Процесс создания БС заключается в выполнении ряда организационных и производственных мероприятий с целью создания алгоритмического и технического комплексов БС. Алгоритмический комплекс БС составляет реализованные в ней в виде программы алгоритмы, определяющие правила решения задач технико-экономического обеспечения, учета, контроля и управления.

Элементами технического комплекса БС являются средства производства, а также средства, с помощью которых реализуются алгоритмические комплексы (вычислительные машины, внешние устройства, средства сопряжения, отображения, линии связи, приборы и т.д.).

Алгоритмы управления производством и процессами составляют основу комплексной автоматизации и поэтому занимают особое важное место среди других алгоритмов, входящих в состав алгоритмического комплекса БС. Под алгоритмами управления здесь в соответствии с [5] понимается совокупность предписаний, определяющих характер воздействия управляющего объекта на управляемое с целью выполнения ими заданных алгоритмов функционирования. Алгоритмом функционирования называется совокупность

предписаний, ведущих к правильному выполнению технического процесса в каком-либо устройстве или совокупности устройств.

Алгоритм управления, как и всякий другой алгоритм, допускает различные реализации в зависимости от способов программирования и реализующих вычислительных средств. Любая формальная запись алгоритма называется программой. Программа может быть представлена в виде граф-схемы, операторной схемы, кодированной записи на бланках, перфокартах, перфолентах, магнитных лентах, в оперативной памяти вычислительной системы (ВС) [12], внешней памяти ВС и т.п. Из них только запись в оперативной памяти непосредственно воспринимается процессорами вычислительной системы, определяя ход управляемых процессов в ВС. Поэтому память вычислительной системы, приведенная в состояние, соответствующее алгоритму управления ВС, может рассматриваться как элемент органа управления ВС [6], содержащий правила преобразования входной (осведомляющей) информации в выходную (управляющую). Будучи специфичным по своей структуре, назначению, методам анализа и синтеза, данный элемент должен иметь самостоятельное место при исследовании ВС. Актуальность этих исследований обусловлена еще тем, что при создании первых электронных вычислительных машин сложилось неправильное мнение, будто само создание этих машин автоматически разрешает сложные проблемы управления ВС. На самом же деле вычислительная техника лишь открывает новые возможности для практического использования богатого арсенала теоретической и прикладной математики при решении проблем оптимального управления путем достижения тех или иных целей. Сами же эти проблемы специалистами по вычислительной технике не решаются, а должны решаться при разработке алгоритмов управления и их реализации в рамках самостоятельных теоретического и прикладного направлений. Для однозначности толкования предмета исследования в работах [7,8] алгоритм управления, реализованный в управляющей вычислительной системе ВС, назван алгоритмической системой управления (АлСУ).

Методологические основы исследования АлСУ

С точки зрения форм представления программ в настоящее время определились два направления: алгебраическое и геометрическое [9]. Системы понятий обоих направлений широко используются в исследовательских работах в области теоретического программирования и позволили получить ряд конкретных результатов. Вместе с тем при алгоритмизации ВС на базе использования ЭВМ и рассмотрения АлСУ как элемента ВС возникает необходимость в расширении этих понятий главным образом для более полного и явного отражения динамических, эксплуатационных свойств АлСУ и взаимодействия их с другими элементами ВС. При этом могут быть учтены следующие предпосылки.

Вычислительная и алгоритмическая системы управления составляют орган управления ВС (рис. 2). АлСУ выполняет функции

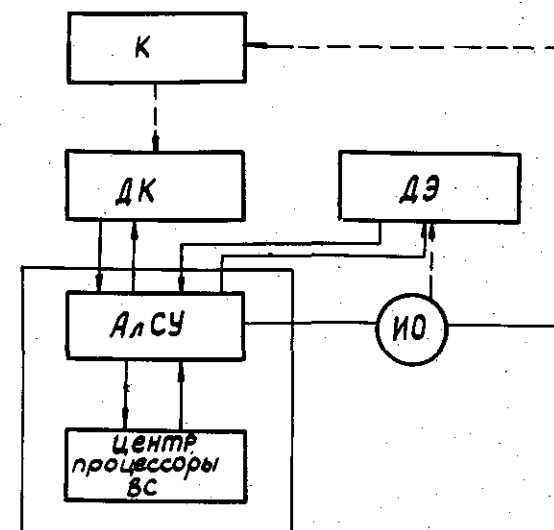


Рис. 2

преобразования входной информации в управляющую и, замыкая объекты ВС по информационным связям, обеспечивает автоматичес-

кое управление. Процессоры ВС выполняют элементарные предписания, содержащиеся в АлСУ, и в этом смысле играют вспомогательную, служебную роль в процессе управления. Степень пригодности управляющих сигналов для целей управления ВС зависит от структуры входных сигналов B_k , параметров АлСУ A_i и параметров ВС M_s :

$$E_f = E\{B_k, A_i, M_s\};$$

$$k = 1, 2, \dots, k_i^*; \quad i = 1, 2, \dots, i_s^*; \quad s = 1, 2, \dots, s_i^*$$

Если параметры ВС фиксированы и соответствуют заданным, то приведенное функциональное выражение примет вид:

$$E_f = E\{B_k, A_i\}.$$

Это значит, что, абстрагируясь от способа выполнения предписаний, содержащихся в АлСУ, и пренебрегая влиянием параметров ВС на качество управляющих сигналов (или учитывая его), преобразователем ВС можно считать алгоритмическую систему управления.

Алгоритмическая система управления представляет собой конечное множество операторов, каждый из которых отражает некоторую функцию. Физически операторы могут быть реализованы различными способами. Иногда для этой цели создаются специальные технические устройства. Элементы, реализующие операторы программы в электронных ВС, создаются из ячеек ОЗУ ВС путем приведения их в определенные состояния, соответствующие начальному состоянию операторов программы. При этом в ОЗУ ВС создается своеобразная информационная система [6] (АлСУ), обладающая полным набором системных признаков. Так, например, в любой такой системе можно выделить схему (элементы, память, полюса, информацию, координаты и функцию [10]).

Алгоритмическая система управления может быть представлена как агрегат [2, II] (рис. 3).

$$A = A\{\bar{a}^{(n)}, \bar{f}^{(m)}, \bar{x}^{(e)}, \bar{B}^{(k)}, \bar{C}^{(k)}, \bar{\beta}^{(h)}, f(\bar{a}, \bar{x})\},$$

где $\{\bar{a}^{(n)}\}$ - множество входных сигналов;
 $\{\bar{B}^{(k)}\}$ - множество элементарных команд, выполняемых ВС;
 $\{\bar{C}^{(k)}\}$ - множество результатов выполнения элементарных команд;
 $\{\bar{f}^{(m)}\}$ - множество управляющих сигналов;

$\{\bar{x}^{(e)}\}$ - множество состояний АлСУ;
 $\{\bar{\beta}^{(h)}\}$ - множество сигналов самоизменения структуры (состояний) АлСУ;
 $f(\bar{a}, \bar{x})$ - функция, устанавливающая соответствие между входными сигналами, состояниями АлСУ и выходными сигналами.

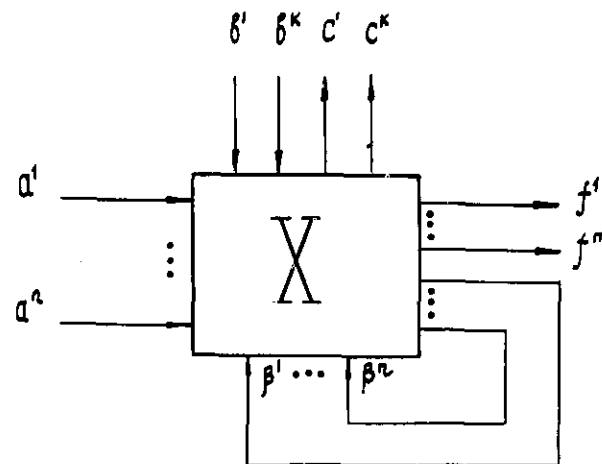


Рис. 3.

Под состояниями АлСУ здесь понимается отображение [13] $x = \psi(y)$, где множество $y = \{y\}$ составляют ячейки памяти ВС, занятые для реализации данного алгоритма, а $x = \{x\}$ есть множество элементов, называемых состоянием этих ячеек.

Алгоритмическая система управления функционирует в интервале времени $(T_n; T_k)$, длительность которого $T_\infty = T_k - T_n$ либо наперед задана, либо является функцией входных сигналов

$$T_\infty = \varphi\{\bar{a}^{(n)}\}_{T_n}^{T_k}$$

Интервал времени (T_n, T_k) состоит из отрезков T_j ($j = 1, 2, \dots, j^*$), представляющих собой такты работы АлСУ. В каждом такте работы на вход АлСУ поступают входные сообщения вида

$$\bar{a}_j^{(n)} = \begin{pmatrix} a_j^1 \\ a_j^2 \\ a_j^3 \end{pmatrix}$$

Алгоритмическая система управления по специальным каналам обменивается с процессорами ВС информацией в виде элементарных алгоритмических предписаний, подлежащих выполнению в ВС в данном такте ее работы $B^k \in \{B^k\}$, и результатов выполнения этих предписаний $C^k \in \{C^k\}$. Результатом данного процесса обмена информацией является преобразование входной информации $\bar{a}_j^{(n)}$ в выходную - управляющую

$$\bar{f}_j^{(m)} = \begin{pmatrix} f_j^1 \\ f_j^2 \\ f_j^3 \end{pmatrix}$$

и адаптирующую

$$\bar{\beta}_j^{(k)} = \begin{pmatrix} \beta_j^1 \\ \beta_j^2 \\ \beta_j^3 \end{pmatrix}$$

Управляющие сигналы передаются через периферийные устройства ВС и каналы связи на управляемые объекты ВС. Адаптирующие сигналы определяют процесс самозменения АЛСУ с целью приспособления к конкретным условиям функционирования. Связь между алгоритмическими системами разного уровня управления осуществляется через входные $\bar{a}_j^{(n)}$ и выходные $\bar{f}_j^{(m)}$ каналы.

Поступающая на вход АЛСУ информация о состоянии управляемых объектов, потоки требований и т.п. в реальных системах подвержены воздействию случайных возмущений (помех). Случайный характер векторов $\bar{a}_j^{(n)}$ предопределяет стохастический характер функционирования АЛСУ, так как ее состояние в j -такте работы определяется предшествующим состоянием и вектором $\bar{a}_j^{(n)}$:

$$x_j = \psi(x_{j-1}; \bar{a}_j^{(n)}).$$

В этом смысле вероятность перехода АЛСУ в j -такте работы из состояния x_α в состояние x_β определяется вероятностью поступления на вход АЛСУ соответствующего этому переходу вектора $\bar{a}_j^{(n)} = \bar{a}_{\alpha\beta}^{(n)}$, т.е.

$$P_{\alpha\beta} = P(\bar{a}_{\alpha\beta}^{(n)})$$

Вероятности типа $P_{\alpha\beta}$ в теории цепей Маркова носят на-

звание переходных вероятностей [14]. С помощью матриц переходных вероятностей можно описать процесс функционирования АЛСУ.

Аппарат теорий цепей Маркова, агрегатов, автоматов, стохастических сетей может быть использован для получения математических моделей функционирования АЛСУ и органов управления (ОУ) в целом. Однако эти модели, как правило, позволяют производить исследования ОУ ВС лишь с качественной стороны. Проблема получения математических моделей для количественных исследований ОУ остается нерешенной. Особенно большие трудности возникают в тех случаях, когда часть функций управления в ВС возлагается на человека.

Способ представления управляющих программ, реализованных в вычислительных системах как своеобразных информационных систем, описываемых понятиями агрегатов, автоматов, цепей Маркова и т.п., может быть назван техническим способом представления [15]. В отличие от традиционных способов представления программ (алгебраического и геометрического) при техническом представлении основное внимание уделяется функциональным (смысловым) характеристикам программ, а не их внешним (формальным) признакам. Основное достоинство технического способа представления заключается в том, что он позволяет, как будет показано ниже, успешно применять при разработке, эксплуатации и исследовании АЛСУ понятия, приемы и методы, ставшие традиционными при разработке и исследованиях технических объектов.

Некоторые терминологические проблемы

Автоматизация процессов управления на базе использования ВС является одним из наиболее новых научных и технических направлений с далеко еще неопределенной терминологией. Последнее обстоятельство вызывает серьезные затруднения в нахождении общего языка между специалистами, работающими в этой области, зачастую тормозит развитие общих идей.

Трудности терминологического характера усугубляются тем, что понимание сущности автоматического управления с помощью

БС базируется на математическом по своему происхождению понятии алгоритма, в соответствии с которым алгоритм представляет либо словесное описание заданного процесса и условий его выполнения, либо изображение его в виде графика, формулы, схемы и т.п. в то время, как реализация алгоритма управления в системе (включение его в систему) требует распространения на него общесистемных понятий, таких, как работы (функционирование) алгоритма, эксплуатации его, устойчивости к помехам и т.п. В этих условиях специалисты, работающие в области алгоритмизации БС, интуитивно чувствуют несоответствие некоторых понятий и терминов их практическому применению, но это, в свою очередь, порождает обилие новых терминов, что еще больше запутывает данную проблему. Так, например, для обозначения программы, записанной в памяти БС, используются термины "алгоритм управления", "программно-реализованный алгоритм", "программа", "управляющая программа", "алгоритмическая система" и, наконец, применяемый здесь термин "алгоритмическая система управления". На практике также возникает необходимость при анализе процессов управления говорить о работе программы во времени, понимая под этим процесс преобразования входной информации в управляющую в соответствии с данной программой. Однако такое понятие с трудом увязывается с представленными программами, например, как некоторого графа. В то же время приписывать процесс преобразования информации вычислительной системе также нет оснований, так как качество управления в основном определяется АЛСУ и может быть неудовлетворительным при нормальной работе всех технических элементов БС.

Все это свидетельствует о том, что назрела необходимость приведения терминологии, используемой в области алгоритмизации БС, в соответствие с истинной ролью алгоритмов управления в больших системах.

Организационно-технические вопросы проектирования АЛСУ

Организационно-технические вопросы разработки АЛСУ в настоящее время еще недостаточно изучены. По нашему мнению, при решении организационно-технических вопросов разработки АЛСУ

необходимо учитывать следующие обстоятельства:

1. Алгоритмические системы управления БС, как правило, являются системами исключительно высокой сложности, которая определяется не столько числом входящих в состав АЛСУ элементарных и обобщенных операторов, сколько количеством и сложностью потоков преобразуемой информации и сетью взаимосвязей между ними. Все это чрезвычайно затрудняет полное описание системы.

2. В разработке АЛСУ БС должны участвовать люди разных специальностей и квалификаций (экономисты, специалисты по управлению, вычислительной технике, программированию и т.п.).

3. Никто не может быть специалистом во многих областях одновременно. Поэтому бессмысленно искать человека, который способен понимать все цели, ограничения, методы и планы управления БС и мог бы при этом переводить все эти понятия на язык конкретных машин [16]. Также бессмысленно надеяться на то, что полный алгоритм управления БС может разработать одна группа людей, а реализовать его в виде программы — другая без активного взаимодействия с первой группой.

Поэтому организация разработки АЛСУ должна быть такой, чтобы каждый соисполнитель проекта выполнял свою роль при непрерывном обмене информацией между соисполнителями. Такая организация возможна в том случае, если все этапы разработки и программной реализации алгоритмов управления от функциональных исследований в области управляющих систем и экономики предприятия, изучения человеческих факторов в системах управления до комплектования выездных наладочных и эксплуатационных бригад считать единым процессом алгоритмизации БС.

При этом необходимо заранее предусматривать возможность влияния отдельных этапов друг на друга — подобно сигналам обратной связи, которые приводят к повышению качества АЛСУ.

Разбивка процесса создания АЛСУ на этапы не является однозначной. Можно выделить следующие этапы:

- определение задач управления и степени автоматизации БС;
- решение организационно-технических вопросов;
- определение информационно-логической структуры БС;
- определение требований к АЛСУ и ее общей структуры;
- проверка основных принципов управления моделированием;

первый этап разработки АУ;
 определение структуры управляющей БС и требований к ней;
 второй этап разработки АУ применительно к конкретной БС;
 предварительная оценка качества АУ;
 программирование и отладка по частям;
 комплексная отладка программы;
 испытания АЛСУ;
 опытная эксплуатация АЛСУ в составе БС.

Блок-схема процесса алгоритмизации БС и вариант возможных связей между этапами этого процесса изображены на рис.4. Из блок-схемы, например, следует, что в результате выполнения предварительной оценки качества АУ возможен переход либо к этапу программирования (прямая связь), либо возвращение к этапу разработки (уточнения) АУ (обратная связь), а в результате комплексной отладки программы — либо к испытанию (прямая связь), либо к одному из следующих этапов: программированию, уточнению требований к АЛСУ (обратная связь).

Процесс алгоритмизации связан с общим процессом создания (совершенствования) БС через 1-й и 3-й этапы. Это означает, что некоторые изменения в структуре БС могут повлечь за собой либо изменения задачи управления и степени автоматизации системы, либо изменение ее информационных потоков. В обоих случаях может возникнуть необходимость изменения АЛСУ.

Рассмотрение конструирования, изготовления, испытания и опытной эксплуатации АЛСУ как единого процесса предъявляет определенные требования к организации этого процесса. Среди них назовем следующие:

1. Система организации должна обеспечить гибкое и эффективное взаимодействие между специалистами, выполняющими работы на разных этапах.

2. Система разработки алгоритма и программирования должна быть приспособлена к оперативному внесению доработок (изменений).

Алгоритмическая система управления приобретает конечные свойства лишь в результате выполнения (в общем случае многократного) всех этапов его создания, начиная от определения задач управления и кончая опытной эксплуатацией. Поэтому окончательную оценку качества АЛСУ следует производить лишь после

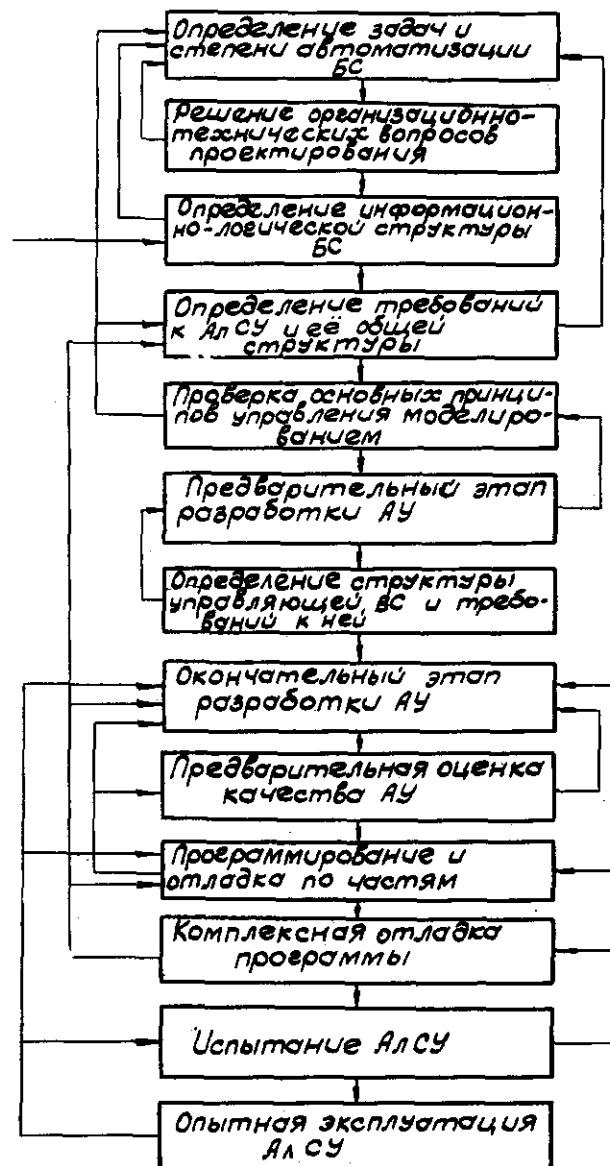


Рис. 4

завершения всех этапов ее разработки.

Сложность структуры АЛСУ и взаимосвязей ее элементов, а также вероятностный характер потоков входной информации, как правило, не позволяют описать ее, т.е. составить алгоритм управления, оставаясь только в рамках языка алгоритма управления и не прибегая к какому-либо внешнему дополнению. Роль внешнего дополнения должен выполнять поток входной информации, в том числе информации о реакции управляемых объектов или их моделей на управляющие воздействия. Из этого обстоятельства можно сделать вывод, что достаточно сложную АЛСУ можно создать только либо в реальном контуре управления, либо моделируя его. Этот вывод подтверждается опытом создания высокоавтоматизированных БС.

Таким образом, одним из основных инструментов "материального" обеспечения проектирования АЛСУ должны быть модели функционирования элементов БС и производственных процессов в целом.

Один из вариантов блок-схемы комплексного моделирующего стенда (КМС), выполняющего роль внешнего дополнения при создании АЛСУ, приведен на рис. 5. Назначения элементов КМС, за исключением блоков внутриапериодических регистраций (ВАР), и управления, определяются их названием и не требуют пояснений. Блок ВАР осуществляет регистрацию промежуточных результатов и параметров функционирования АЛСУ, необходимых для последующего анализа. Блок управления моделями осуществляет взаимодействие всех элементов КМС в режиме моделирования, обеспечивая при этом на входе АЛСУ необходимый диапазон условий.

На наш взгляд, полезно организовать специализированное конструкторское бюро, способное решать весь комплекс мероприятий.

Среди нерешенных организационно-технических проблем следует назвать проблему априорной оценки стоимости и времени проектирования и создания АЛСУ.

Внешнее проектирование АЛСУ

Внешнее проектирование АЛСУ заключается в согласовании ее

характеристик с характеристиками других объектов БС (рис. 2) и выработке на этой основе технических требований к АЛСУ и реализующим ее вычислительным средствам.

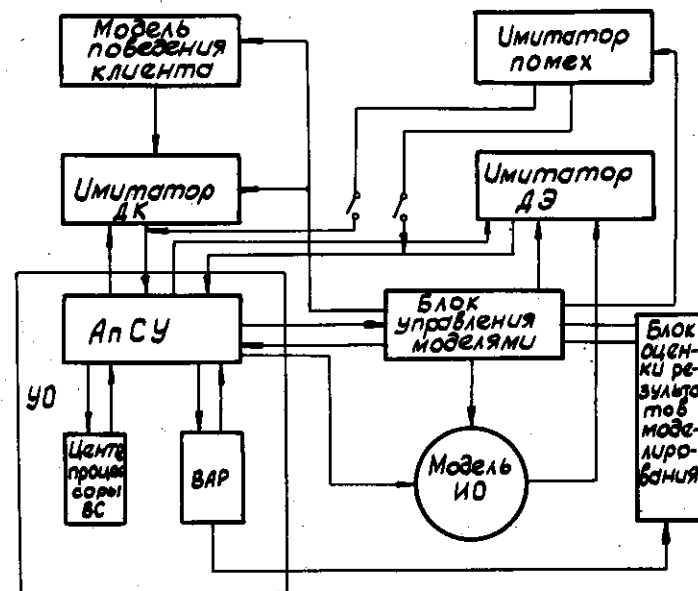


Рис. 5

Так как процесс управления зависит от информации о состоянии параметров управляемых объектов, а процесс преобразования информации зависит от целей управления, то этап внешнего проектирования должен начинаться с научения и описания потоков информации в БС для рационального выбора измеряемых и управляемых переменных. Эта задача довольно сложна и трудоемка. Сокращение трудоемкости этой работы может быть достигнуто путем разработки формализованных методов описания схем потоков информации, рассчитанных на реализацию с применением универсальных БС [17].

При внешнем проектировании требуется выбрать такие основные характеристики АЛСУ, которые позволяют затем сформулировать требования к техническим средствам, реализующим АЛСУ. К

таким основным характеристикам относятся производительность, память, точность.

Наиболее специфической характеристикой АЛСУ по сравнению с алгоритмическими системами, не предназначенными для управления, является ее производительность (в единицу времени). Расчет этой характеристики при проектировании зависит от того, каким способом привязана ИЛС АЛСУ к реальному времени. Здесь возможны два случая:

а) моменты поступления заказов на решение отдельных (не связанных) задач определяются некоторыми внешними событиями;

б) заказы на решение задач вырабатываются внутри АЛСУ.

В случае а) поток заказов на решение задач содержит регулярную и случайную составляющие. Случайный поток обычно предполагается простейшим, и АЛСУ рассматривается как система массового обслуживания. Ряд работ посвящен выбору дисциплины обслуживания, оптимальной по некоторому критерию, например, минимизирующей средневзвешенное время пребывания заказов в системе [19-22]. Для случая б) была поставлена и решена проблема [23] о выборе производительности АЛСУ и периода решения задач в системе автоматизированного управления по минимуму суммарных затрат и потерь; при этом задачи решаются с постоянным, но неодинаковым для разных задач периодом. При решении этой проблемы следует учитывать зависимость потерь от периода решения задачи, найденную пока лишь для статической модели [24]. Предстоит найти эту зависимость для динамической модели, а также проанализировать целесообразность адаптивного изменения периода решения.

Важный вопрос внешнего проектирования АЛСУ — оценка точности исходных данных для решения тех или иных задач. Здесь требуется статистический подход к проблеме, однако более простые методы анализа, справедливые лишь для небольших ошибок, может дать применение теории чувствительности. При этом статистические оценки получаются только для нормального распределения ошибок. В задачах линейного программирования и теории игр полезные результаты дает метод маргинальных значений [25].

Вопрос о частоте сбора исходных данных следует решать в рамках расчета их точности, т.е. учитывать ту дополнительную ошибку, которую вносит импульсный опрос. При этом должны быть

учтены возможности экстраполяции (а иногда и интерполяции, хотя последняя в АЛСУ играет меньшую роль), в том числе оптимальной экстраполирующей фильтрации (решение этой задачи в сравнительно простой постановке дано в [26]), а также фактически применяемый способ экстраполяции. В данном случае теория чувствительности не дает сколько-нибудь полезных результатов, приходится прибегать непосредственно к использованию теории случайных процессов. Задача о выборе периода опроса по заданной ошибке решена только для сравнительно простых способов экстраполяции (см., например, [27]).

Определение требований к АЛСУ по памяти, точности вычислений и другим параметрам, не связанным непосредственно с работой в реальном времени, а также оценка количества операций по решению тех или иных задач — проблемы, которые уже достаточно давно разрабатываются, — и полученные результаты, разумеется, должны применяться при внешнем проектировании АЛСУ.

Вопрос о надежности до настоящего времени практически не разрабатывался. Здесь предстоит решить, как перенести методы теории надежности аппаратуры на АЛСУ, т.е. в какой степени можно заменить аппаратные узлы, рассматриваемые теорией надежности, графами ИЛС. Экономическая оценка АЛСУ, как обязательная сторона внешнего проектирования, особенно, если речь идет об АЛСУ народнохозяйственного назначения, не может быть дана в отрыве от той аппаратуры, на которой эта АЛСУ реализуется. Как и проблема надежности АЛСУ, проблема экономической оценки АЛСУ свидетельствует о том, что АЛСУ и технические средства, ее реализующие, — это две стороны системы управления, в равной степени важные.

Содержание требований к ВС, являющихся основой автоматизированных систем управления, определяется содержанием и информационными характеристиками АЛСУ, характером и особенностями организации работы ВС [28, 61].

В общем эти требования сводятся к вопросам, связанным с техническим оснащением ВС, логической структурой и математическим обеспечением вычислительных систем.

Подсистема хранения и обработки информации должна быть оснащена комплексом устройств подготовки, ввода цифро-буквенной информации, размножения документов, сопряжения ВС с перифе-

рийными средствами сбора и передачи информации, набором устройств памяти разных типов, устройств синхронизации работы системы в реальном масштабе времени.

Необходимо также наличие мощной системы прерывания программы, многоступенчатой переадресации, облегчающей работу с распределенными массивами, возможности работы со словами произвольной длины, эффективных аппаратных средств контроля и др.

Реализация АЛСУ ставит специфические требования к производительности вычислительных систем (процессоров), связанные в основном с тем, что в структуре алгоритмической системы содержится большое количество обращений к внешним устройствам.

В соответствии с [60] за меру оценки производительности ВС может быть принята величина, характеризующая количество решаемых обобщенных задач в единицу времени, или же обратная этому показателю величина — время решения некоторой обобщенной задачи [12].

В связи с этим представляет практический интерес обработка статистических материалов и исследование закономерностей организации хранения, перераспределения, а также способов поиска элементов информации с целью уменьшения стоимости обработки данных при заданной производительности системы, повышения эффективности АЛСУ, сокращения времени перемещения информации.

Математическое обеспечение автоматизированных систем управления должно обеспечить эффективную эксплуатацию ВС и всех технических средств. В последние годы стало очевидным, что по сложности и объему работы этот вопрос требует к себе большего внимания создателей БС и их ВС, чем это можно было предположить. Причем наиболее узким местом оказалось само программирование алгоритмов. Это привело к потребности разработки более простых методов общения человека с машиной как на этапе программирования, так и в процессе функционирования АЛСУ, что связано с вопросами так называемого внешнего математического обеспечения, включающего в себя гамму языков программирования, операционной системы, библиотеки пользователей. Соответствующие программы и словари должны обеспечить перекодирование информации с внешнего языка на машинный и обратно.

Следует подчеркнуть необходимость исследований по увеличению надежности ввода информации. Анализ показывает, что ор-

ганизация ввода, основанная на существующем документообороте, является избыточной и малонадежной. Объясняется это, главным образом, большими объемами информации, заносимой человеком в документ. Один из путей улучшения связи человек-документ-система заключается в значительном уменьшении количества заносимой в документ информации. Этого можно достигнуть путем применения специальных документов, аналоги которых находятся в памяти ВС, за исключением заносимых человеком отклонений.

Наличие в составе АЛСУ стандартных программ организации приема информации, а также ее размещения в заданном спектре систем памяти существенным образом улучшает организацию обмена информацией в автоматизированной системе управления.

Мощным методом внешнего проектирования АЛСУ служит статистическое моделирование, получающее широкое развитие [22], [29-31]. Существенно упрощает задачу этапа математического описания БС разработка специальных языков [33]. Большой интерес представляет проблема построения математических моделей отдельных классов (типов) БС с унифицированным набором ограничений и переменных.

Синтез алгоритмов управления

В области разработки общих принципов рационального конструирования (синтеза) алгоритмов управления (АЛУ) проблемы значительно преобладают над решенными задачами. Более того, по непонятным причинам многие проблемы этой области не сформулированы и пока еще не привлекали серьезного внимания ученых и конструкторов, занимающихся вопросами автоматизации производственных процессов. Основными проблемами здесь являются разработка методики формирования алгоритмов управления, основанной на едином методологическом и математическом базисе и удобной для реализации на ВС, а также развитие методов оптимизации процессов управления [4, 34].

В качестве одного из приемлемых направлений решения этих задач можно назвать разработку общих алгоритмов управления возможно большим количеством процессов. Наличие общего алгоритма

может позволить составить программу диспетчера, автоматически комплектующую на базе стандартных программ и некоторых указаний оператора алгоритмы управления конкретными процессами, а также обосновать требования к управляющим вычислительным машинам [35, 36, 62].

Вопросам развития методов оптимизации процессов управления за последнее время было посвящено большое количество работ. Значительная часть их обсуждается в обзорной статье [37]. Можно только с сожалением отметить, что эффективность работ в этой области снижается их разобщенностью.

Процесс синтеза АЛУ по аналогии с синтезом сложных автоматов [60] можно разбить на этапы блочного, абстрактного, структурного и надежного синтеза при следующей интерпретации задач этих этапов.

На этапе блочного синтеза осуществляется выделение блоков из схемы АЛУ, определяются задачи, решаемые каждым блоком, исходя из потоков преобразуемой информации, определяется общий план обмена информации между блоками. Результатом выполнения этого этапа должны быть обобщенная блок-схема АЛУ и граф-схема информационных связей [13].

На этапе абстрактного синтеза на основании задач, решаемых каждым блоком, ориентировочно определяется объем памяти, необходимый для реализации данного блока, общий объем памяти, а также максимальное число операций, необходимое для решения всех задач одного цикла. Иными словами, на данном этапе оценивается потенциальная реализуемость задач управления на располагаемых вычислительных средствах и в случае необходимости производится уточнение блок-схемы АЛУ.

На этапе структурного синтеза осуществляется выбор общих математических методов решения задач каждого блока, задачи оптимального управления в целом, а также реализации этих методов в виде развернутых записей числовых и логических функций. Результатом выполнения этого этапа является написание полного АЛУ.

Задачей этапа надежного синтеза является преобразование и дополнение АЛУ с целью обеспечения устойчивых и оптимальных решений при воздействии помех на входные сигналы и сбоях в работе центральных процессоров ВС, приводящих к искажению ре-

зультатов выполнения элементарных предписаний или искажений самой структуры АЛУ. При решении этих задач могут быть использованы методы теории систем автоматической оптимизации при наличии реальных помех, методы планирования экстремальных экспериментов по отысканию оптимальных параметров производственного процесса с помощью минимального количества проб (экспериментов), а также методы статистического моделирования, при которых показатель качества оптимизируется в условиях помех. Широкое распространение получают также различные методы контроля информации на достоверность, отбраковки и ложных сигналов и результатов счета.

Однако эти методы нуждаются в серьезном научном обобщении и развитии. В этой связи, по-видимому, целесообразно сформировать специальное направление синтеза АЛУ — синтез помехоустойчивых алгоритмов.

В связи с перспективой широкого использования в органах управления ВС вычислительных систем, серьезного внимания заслуживают работы, посвященные исследованию свойств алгоритмов с точки зрения возможности представления процесса их реализации в виде большого числа параллельно выполняемых операций.

Такие работы ведутся в Сибирском отделении АН СССР [12], [38] и в некоторых других организациях. Вместе с тем следует заметить, что особенности распараллеливания класса алгоритмов управления практически изучено мало.

Для управления большими системами используются десятки и сотни частных алгоритмов [39], зависящих друг от друга как по используемой информации, так и по формированию сигналов управления. Ввиду этого важное значение имеет разработка методики составления и формы записи полного алгоритма управления, учитывающей удобство компоновки, компактность, простоту и однозначность толкования, а также методики оценки реализуемости АЛУ на конкретных ВС и предварительной оценки качества до программной реализации.

Программная реализация АЛУ

Особенности больших систем (работа в реальном времени, мод-

ные потоки осведомляющей информации, особые требования к диапазонам и устойчивости работы системы, эволюция системы в процессе эксплуатации) предъявляют следующие специфические требования к АЛСУ:

максимальная экономичность АЛСУ по занятости оперативной памяти и времени счета;

устойчивость АЛСУ ко всякого рода искажающим воздействиям (сбоям по входным сигналам, сбоям и частичным отказам в работе ВС и т.п.);

обеспечение желаемых эксплуатационных характеристик АЛСУ (простота и удобство подготовки к работе, демонстративность работы, приспособленность к анализу результатов работы, приспособленность к внесению доработок, доступность изучения);

необходимость организации мультипрограммной работы и распараллеливания АЛСУ при ее реализации на вычислительных системах.

Каждое из этих требований становится специфической проблемой программирования больших АЛСУ наряду с такими "вечными" проблемами программирования, как автоматизация и отладка программ.

Комплексное решение перечисленных проблем еще далеко от завершения.

Функционирование АЛСУ обеспечивается соответствующим построением программного аппарата системы, по назначению как бы продолжающего устройства управления вычислительных машин и включающего в общем случае управляющую (операционную) программу, программу-диспетчер, транслирующие и интерпретирующие программы, библиотеки программ и информационных массивов, сервисные программы, в том числе, программы обеспечения надежности обмена информацией между производством и системой и между устройствами памяти в системе.

Программный аппарат должен способствовать организации, по возможности, пакетной обработки идентичных задач, используя информацию о типе задач, характеристике системы программирования, исходных данных, внешних устройствах их и т.д.

Программный аппарат системы может быть представлен в виде иерархической структуры [61], в которой управляющая программа находится на высшем уровне и выполняет управление временным

распорядком работы и организует обмен информацией в системе, программа-диспетчер - на втором уровне иерархии, содержательные программы АЛСУ, реализующие операторы решения планово-экономических и информационно-справочных задач управления, - на третьем уровне иерархии, и, наконец, стандартные и обслуживающие программы - на четвертом уровне иерархии программного аппарата.

Программа-диспетчер выполняет функции организации решения задач, установления очередности поступления информации, рационального распределения загрузки в системе, вызов программ в ВС в соответствии с принятой системой приоритетности [63]. Программы ввода информации обеспечивают прием и размещение исходных данных, позволяют более эффективно использовать вводные устройства и центральный вычислитель в зависимости от признаков срочности информации и источника ее получения.

Программы вывода позволяют фиксировать информацию в виде документов установленной формы.

В настоящее время средства автоматизации программирования еще не нашли широкого применения при создании больших АЛСУ. Это объясняется малой практикой создания больших АЛСУ, а также тем, что качество и эксплуатационные характеристики автоматически транслированных программ не удовлетворяют требованиям, изложенным выше. Существуют скептические [43] и осторожные [18] мнения о роли автоматизации программирования в создании больших АЛСУ, потому что в целом проблема еще не вышла за рамки постановки.

Для автоматизации процесса составления управляющих программ применяются некоторые методы, используемые при разработке программ обычных вычислительных процедур, в частности, методы создания и использования библиотек стандартных программ. При этом удалось установить ряд специфических стандартных программ для задач контроля и управления. Сюда относятся опрос датчиков и сравнение их показаний с нормой, осуществление блокировочных зависимостей машин и механизмов, визуальное отображение хода процесса управления и создания объектов ВС и т.п.

Разработке этих стандартных подпрограмм посвящены работы [41, 42]. Однако использование стандартных подпрограмм не освобождает программистов от необходимости выполнения большого объема работ по ручному программированию.

Многочисленность коллективов программистов при "ручной" реализации больших АЛСУ приводит к ряду специфических организационных проблем. К ним относятся планирование и организация процесса программирования, контроль за ходом программирования и обмена информацией между исполнителями. На наш взгляд, подтвержденный зарубежной практикой, процесс программирования больших АЛСУ должен быть организован, подобно процессу проектирования больших технологических объектов в конструкторских бюро.

О т л а д к а п р о г р а м м

Центральной проблемой создания больших АЛСУ следует считать проблему отладки. Под отладкой традиционно понимается система мероприятий, позволяющая установить факт адекватности представления исходного алгоритма его программной реализации. Проблема отладки программ БС настолько сложна, что ее "даже не пытаются решать математически или какими-нибудь объективными средствами, переводя все проблемы в сферу человеческих отношений доверия и ответственности ..." [40].

В активе проблемы отладки, помимо широко распространенного метода ручных просчетов, пока имеются частные конструктивные предложения о необходимости создания демонстрирующих устройств хода программ [44] и учета "истории выполнения алгоритмов в понятии его выхода" [45], а также сообщения о создании отдельных типов демонстрирующих технических устройств [46,47] и де-кодированных программ [48].

Практика программирования внесла в актив проблемы отладки рекомендации, "не обещающие спокойный сон, но, по крайней мере, оберегающие от кошмаров" [43], а также такие традиционные методы, как "прокрутка", дополненная встроенными программами печати [49].

Проектировщики новейших БС предусматривают аппаратные системы прерывания и контроля, позволяющие фиксировать места незапланированных отклонений в ходе программ. Этот краткий перечень исчерпывает существующие идеи и методы, которые могут найти применение при отладке больших программ.

Комплексная отладка программ. Большие программы обычно состоят из десятков и даже сотен вза-

имодействующих между собой подпрограмм. В этих условиях особенно большие затруднения возникают при так называемой комплексной отладке программы как единого целого. Целью комплексной отладки является проверка адекватности представления полного алгоритма его программой.

На этапе комплексной отладки качество исходного алгоритма сомнению не подвергается.

В качестве одного из вариантов можно предложить следующую схему проведения комплексной отладки.

Ввиду высокой сложности АЛСУ комплексная отладка ее производится в два этапа:

статическая отладка (проверка приемлемости и изоморфизма схем АЛСУ и исходного алгоритма);

динамическая отладка (проверка эквивалентности функций АЛСУ и исходного алгоритма).

Считаем, что схема АЛСУ в общем смысле является граф-схемой [50], заданной в виде матрицы смежности множества элементов-распознавателей (команд условного перехода).

Схема исходного алгоритма составляется вручную по его блок-схеме, схема АЛСУ автоматически снимается специальной программой из памяти ЭВМ.

Схема считается приемлемой, если не существует распознавателей, недостижимых из входа схемы, и отсутствуют распознаватели, из которых недостижим выход схемы [52]. Приемлемость схем может быть определена по известным алгоритмам [53]. Вопрос об изоморфизме схем АЛСУ и исходного алгоритма наиболее просто решается в случае, когда распознаватели обозначены в одном и том же алфавите (например, в виде попарно совпадающих адресов оперативной памяти). Известны алгоритмы установления изоморфизма схем, обозначенных в различных алфавитах [54].

Статическая отладка не гарантирует правильности функции АЛСУ из-за возможных ошибок в реализации арифметических блоков. Поэтому следующим этапом предварительных испытаний должен быть этап проверки работоспособности АЛСУ в процессе ее функционирования (динамическая отладка).

Основным принципом динамической отладки является проверка всех без исключения участков АЛСУ (дуг ее граф-схемы) путем сравнения эталонных и реальных результатов счета.

Динамическая отладка АЛСУ может включать в себя два подэтапа: подэтап планирования и подэтап эксперимента с АЛСУ.

Общая постановка задачи планирования отладки некоторой подпрограммы АЛСУ заключается в следующем: дана граф-схема подпрограммы с отмеченными входными и выходными элементами-распознавателями; необходимо найти некоторое минимальное множество траекторий счета (путей вход-выход) [55], включающее в себя все дуги схемы. Назовем такие траектории траекториями минимального покрытия. Требование минимальности покрытия вполне естественно. Его выполнение дает минимум числа вариантов ручного счета для получения эталонных данных и уменьшение числа экспериментов с программой. Подэтап планирования заканчивается организацией ручного счета по выбранным траекториям минимального покрытия и определением начальных условий, обеспечивающих их прохождение.

Подэтап эксперимента с АЛСУ заключается в установлении факта прохождения выбранных траекторий и сравнении результатов машинного и ручного счета.

Динамическая отладка, проведенная по описанной методике, завершает этап комплексной отладки. Совместно со статической отладкой она позволяет выявить большинство некорректностей программной реализации исходного алгоритма.

Изложенная методика требует вполне конкретной материальной базы в виде программ счета матриц смежности из памяти БС, выявления простых путей схемы, определения приемлемости схемы и нахождения минимального покрытия, а также программ определения траекторий счета АЛСУ [55].

Комплексная отладка АЛСУ не позволяет сделать окончательного вывода об эффективности АЛСУ, так как при отладке не ставится задача оценки качества исходного алгоритма.

Испытания АЛСУ

Характерным моментом, связанным с созданием больших АЛСУ, является появление нового понятия "испытания программ" [8, 15, 18]. Тем самым подтверждается правомерность выделения АЛСУ в специфическую категорию реальных объектов и указывается на

вполне очевидное расширение понятия "отладка программ", которое в своем традиционном смысле уже не отражает специфики создания больших АЛСУ.

Приведем некоторое обобщение взглядов на испытания больших АЛСУ, сложившихся в ряде отечественных организаций.

Испытания АЛСУ по аналогии с испытаниями технических устройств [56] можно определить как процесс, конечной целью которого является проверка гипотезы о правильном и устойчивом функционировании АЛСУ во всем диапазоне начальных условий и входов.

Испытания АЛСУ могут быть сведены к проверке соответствия ее действительных характеристик заданным. Такой подход возможен в том случае, если определены технические требования на АЛСУ. Однако проблема обоснования требований и согласования их с общей целью управления БС сама по себе сложна и до настоящего времени не разрешена. Поэтому при отсутствии заранее сформулированных требований испытания АЛСУ сводятся к оценке показателей качества. При этом могут быть использованы три группы показателей:

- функциональные;
- операционные;
- стоимостные.

Функциональные показатели характеризуют приспособленность АЛСУ к преобразованию входных сигналов в управляющие для обеспечения в некотором смысле оптимальных режимов управления объектами БС.

Операционные показатели характеризуют приспособленность АЛСУ к решению задач, связанных с планированием и обеспечением функционирования АЛСУ, анализом результатов функционирования, доработкой АЛСУ по результатам анализа и поддержанием ее работоспособности.

Стоимостные показатели характеризуют стоимость затраченных на реализацию АЛСУ средств (стоимость разработки исходного алгоритма, программирования, эксплуатации, а также стоимость вычислительной системы, обеспечивающей функционирование АЛСУ).

Оценка функциональных показателей качества может быть произведена по некоторым частным показателям, характеризующим расхождение управляющих сигналов относительно их истинных (эталон-

ных) значений или по обобщенному показателю. В качестве обобщенного показателя может быть принята вероятность достижения цели функционирования АЛСУ при заданном диапазоне условий на ее выходе. Наиболее сложной проблемой здесь является проблема установления количественных показателей, характеризующих достижение цели функционирования, т.е. эталонных значений выходных сигналов.

Ряд авторов [18,62] в качестве основы критерия эффективности функционирования предлагают использовать величину энтропии или какого-либо связанного с ней показателя. Легко видеть, что все названные выше критерии взаимно связаны, и в отдельных случаях применение одного из них может оказаться предпочтительным по сравнению с другими.

Иногда воспользоваться общим критерием трудно из-за сложности сопутствующих расчетов. В этих случаях, исходя из конкретных соображений, формула критерия упрощается путем обобщений или усреднения некоторых показателей.

Если тем или другим способом удалось выделить слабо связанные факторы, входящие в общий критерий эффективности, то они могут быть использованы как частные критерии для отдельных блоков или же как ограничения для более динамичных показателей качества АЛСУ.

Испытания АЛСУ могут включать в себя два подэтапа. На первом из них (этапе испытания моделированием) АЛСУ испытывается без использования реальных объектов системы. Цель данного подэтапа — проверить правильность взаимодействия подпрограмм АЛСУ при заданном диапазоне условий на входе.

Основной проблемой первого подэтапа следует считать создание программных имитаторов объектов — информаторов. Несмотря на солидную теоретическую и практическую проработку приемов моделирования реальных объектов, создание таких имитаторов является достаточно трудной задачей. Прежде всего, это написание алгоритмов, сложность которых иногда немногим меньше сложности самой АЛСУ. Кроме того (и это главное), очень трудно, особенно на начальной стадии проектирования системы, выбрать допустимую степень "упрощения" имитатора по сравнению с реальным объектом.

Среди других не менее важных проблем следует указать проблемы создания имитаторов: ошибок объектов и выбора критериев

оценки качества модельных экспериментов с АЛСУ.

Нет надобности подробно характеризовать все проблемы создания имитаторов, поскольку они рассматриваются в рамках теории моделирования и не имеют прямого отношения к предмету рассмотрения (АЛСУ). Заметим только, что на начальном этапе собственно испытаний АЛСУ полезны даже очень простые (символические) имитаторы, в которых соблюдаются лишь некоторые коренные (например, по времени) соотношения вход-выход. Создание и использование таких имитаторов, разумеется, не может служить альтернативой созданию корректных моделей реальных объектов, поскольку такие важные работы, как оптимизация большой системы по выбранному критерию эффективности, проверка планируемых работ системы и др. могут быть выполнены только при наличии таких моделей. Поэтому создание и постоянное совершенствование тщательно отлаженных имитаторов объектов, объединенных общей управляющей программой в так называемый комплексный моделирующий стенд (КМС), следует считать важнейшей задачей при проектировании и эксплуатации большой системы. Важность этой задачи столь значительна, что установка специальной ВС для реализации КМС может оказаться экономически целесообразной для целого ряда систем.

Второй подэтап испытаний АЛСУ (натуральные испытания) заключается в проверке взаимодействия АЛСУ и объектов при работе в реальном времени.

Одной из главных проблем этого подэтапа является проблема анализа результатов работ с реальными объектами.

Суть ее состоит в том, что естественные ограничения на память и быстроедействие ВС не позволяют фиксировать информацию, достаточную для анализа (кстати говоря, само это понятие является условным и неопределенным). Выход, по-видимому, состоит в том, чтобы иметь возможность воспроизводить для анализа любую информацию, имеющую место в АЛСУ при ее функционировании. Сделать это можно путем фиксации входной (осведомляющей) информации совместно с временем ее поступления. Если АЛСУ является строго детерминированной системой, то повторное (многократное) использование этой информации должно привести к повторению (воспроизведению) результатов этой работы. Поскольку время поступления информации было зафиксировано, темп ее считывания может

быть произвольным, т.е. появляется возможность выводить на печать любую информацию, необходимую для анализа. Иногда интересно получить информацию о динамике взаимодействия программ АлСУ, реализованных на ВС с аппаратным прерыванием. В этом случае используется информация о траекториях счета АлСУ, фиксируемая в реальном времени [55].

В заключение отметим, что даже столь тщательная и трудоемкая проверка (испытания) АлСУ отнюдь не гарантирует абсолютной эффективности АлСУ в реальном окружении, что вызывает необходимость введения этапа опытной эксплуатации АлСУ.

Эксплуатация и совершенствование АлСУ

Эксплуатация АлСУ заключается в контроле состояния записи программ в памяти ВС, подготовке к включению и включению в работу, анализе результатов работы, вводе и изменении параметров АлСУ и ее совершенствовании. Все эти виды работ, как правило, возлагаются на операторов АлСУ. Совершенствование АлСУ в период опытной эксплуатации может проводиться специальными группами инженеров-разработчиков. Поддержание же работоспособности вычислительных средств возлагается на операторов.

Приспособленность АлСУ к ее эксплуатации характеризуется следующими показателями:

- удобством изучения АлСУ и обучения обслуживающего персонала правилам ее эксплуатации;

- простотой и удобством обеспечения функционирования АлСУ и поддержания ее работоспособности;

- удобством и доступностью проведения анализа результатов функционирования АлСУ и ВС в целом;

- приспособленностью к внесению доработок.

Удобство изучения АлСУ и обучения обслуживающего персонала правилам ее эксплуатации достигается за счет наличия соответствующей документации и специальных тренажеров.

По своему назначению документация АлСУ может быть подразделена на техническую и эксплуатационную. В состав технической документации должны входить:

- описание задач и формульных зависимостей, реализованных в

АлСУ;

- блок-схемы АлСУ и отдельных ее элементов;

- временная диаграмма режимов работ;

- текст реализуемой программы на специальных бланках;

- описание расположения элементов АлСУ в оперативном и внешнем запоминающих устройствах;

- характеристика обмена информацией между АлСУ и другими элементами системы;

- структурная схема системы и схема взаимодействия элементов системы.

В состав эксплуатационной документации входят:

- инструкция по обеспечению функционирования АлСУ, включающая в себя наставления по подготовке к запуску АлСУ, а также по контролю за правильностью ее функционирования;

- инструкция по выводу информации, необходимой для анализа результатов функционирования АлСУ;

- инструкция о порядке проведения анализа функционирования АлСУ;

- инструкция по внесению доработок АлСУ;

- инструкция о порядке контроля состояния АлСУ.

Простота и удобство обеспечения функционирования АлСУ и поддержания ее работоспособности достигается благодаря высокой степени автоматизации следующих процессов:

- контроля состояния АлСУ и ее работоспособности;

- запуска АлСУ;

- ввода параметров и их изменения;

- демонстративности и работы системы.

Для обеспечения качественного анализа функционирования АлСУ необходимо предусмотреть элементы, обеспечивающие запоминание той информации о процессе функционирования, которая может быть полезной для анализа, а также элементы, обеспечивающие оперативный вывод информации.

Приспособленность АлСУ к внесению доработок характеризуется наличием соответствующих запасов по памяти и быстродействию, а также степенью автоматизации процесса внесения доработок.

Количественная оценка операционных показателей качества АлСУ затруднительна, хотя, по-видимому, возможна. Качественная

оценка этих показателей возможна путем определения конкретных содержательных требований к факторам, влияющим на эти показатели. Так, например, не вызывает значительных затруднений определение требований к технической и эксплуатационной документации, системе вывода информации и т.п.

Реальная эксплуатация БС всегда приводит к модернизации АЛСУ. Это объясняется и значительным несовершенством алгоритма управления и заманчивостью повышения эффективности БС через совершенствование АЛСУ без изменения технического комплекса. Необходимость модернизации АЛСУ нередко бывает связана и с техническими усовершенствованиями БС.

Совершенствование АЛСУ производится на основе анализа процесса ее функционирования в реальном окружении. Поэтому разработке и внедрению аппарата анализа должно быть уделено серьезное внимание. Большая часть этого аппарата может быть заимствована из арсенала испытаний АЛСУ. Мы имеем в виду такие методы, как фиксация и вывод траекторий счета и воспроизведение функционирования АЛСУ.

Использование реальной информации о клиентах ("электронный архив") в качестве входов КМС позволит в некоторых случаях проверить и сравнить варианты изменений АЛСУ. При использовании в КМС реальных входов от клиентов в качестве исполнительных органов (ИО) выступают их модели (имитаторы).

На создание "электронных архивов" следует обратить особое внимание. "В электронных архивах должны накапливаться массивы экспериментальных данных, к которым возможны повторные обращения в будущем... При этом желательно иметь в виде таких массивов именно первичные данные, не подвергавшиеся обработке или обработанные в минимально возможной степени" [59]. Для создания электронных архивов необходимо иметь достаточные емкости памяти на магнитных лентах, картах, дисках и т.д.

Таким образом, аппарат статистических испытаний АЛСУ может быть использован в полном объеме для совершенствования АЛСУ и средств системы. Последнее является еще одним аргументом в пользу создания такого аппарата.

Разумеется, арсенал средств совершенствования АЛСУ не исчерпывается перечисленными методами.

Необходимо создать специальный алгоритмический комплекс

для решения экстремальных производственных задач. В этот комплекс должны входить программы решения задач теории игр, линейного и динамического программирования, детерминированного и случайного поиска экстремума, факторного эксперимента и т.п.

На наш взгляд, в больших системах необходимо создавать и обеспечивать всем необходимым специальные группы исследования операций, решающие задачи оптимизации системы в целом и АЛСУ, в частности. Опыт создания таких групп уже имеется и их эффективность доказана [57, 58].

Общие выводы

1. Алгоритмические системы управления БС, будучи специфичными по своему назначению, структуре, методам анализа и синтеза, занимают особое место в БС и поэтому должны иметь самостоятельное место при исследовании больших систем. Целесообразно всю проблематику алгоритмизации БС объединить в одно научное направление. В качестве первоочередного мероприятия необходимо создание всесоюзного совета или секции по данной проблематике и выделение специальных рубрик в периодических изданиях.

2. Включение АЛСУ в состав БС вызывает необходимость расширения некоторых математических по своему происхождению понятий алгоритма и программы на основе общесистемного (технического) их представления.

3. Высокая сложность АЛСУ и взаимосвязей ее элементов, а также вероятностный характер потоков преобразуемой информации не позволяют производить ее исследования, оставаясь в рамках алгоритма управления и не прибегая к какому-либо внешнему дополнению. Роль внешнего дополнения при этом должен выполнять имитированный поток информации от объектов БС, в том числе информация о реакции управляемых объектов на управляющие воздействия. При этом математическими моделями АЛСУ могут служить агрегаты, автоматы, стохастические сети и цепи Маркова.

4. Все этапы разработки и программной реализации АЛСУ от функциональных исследований в области управляющих систем и экономики предприятия до комплектования выездных и эксплуатационных бригад, обеспечивающих функционирование АЛСУ, целесообразно

но считать единым процессом алгоритмизации БС, а влияние отдельных этапов друг на друга следует рассматривать как сигналы обратной связи, направленные на повышение качества АЛСУ. Поэтому организация производства АЛСУ должна быть такой, чтобы каждый соисполнитель проекта выполнял свою роль при непрерывном обмене информацией между соисполнителями. Назрела необходимость в создании специализированных научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, выполняющих комплексные работы по алгоритмизации промышленных и других предприятий.

5. Сильная зависимость эффективности БС от качества ее АЛСУ вызывает необходимость производить испытание АЛСУ в широком диапазоне условий на ее входе. Целью испытания АЛСУ, в отличие от цели отладки программ, является комплексная проверка как соответствия программы алгоритму, так и оптимальности самого алгоритма. Отсутствие аналитических методов оценки АЛСУ делает статистические испытания АЛСУ с помощью моделирования наиболее перспективными.

Л и т е р а т у р а

1. ПЕТРОВ Б.Н., ПОСПЕЛОВ Г.С. О путях развития больших систем управления. "Известия АН СССР", Техническая кибернетика, 1966, № 2.
2. БУСЛЕНКО Н.П. К теории сложных систем. "Известия АН СССР", Техническая кибернетика, 1963, № 5.
3. ВУДРА Ф.Р., МАСЛОВСКИЙ Е.К. Алгоритмы оперативного управления участком производства металлургического завода. "Управление производством", М., "Наука", 1967.
4. ТИМОФЕЕВ Б.Б. Автоматизированные системы управления (на украинском языке), Киев, "Знання" УССР, 1968.
5. "Основные понятия автоматики". Терминология. М., "Наука", 1966.
6. КАРВЕР В. Электронные вычислительные машины и машинные языки. "Электронное моделирование и машинное управление в экономике". М., "Мир", 1965.
7. КУЛАКОВ А.Ф. О соотношении между ЦВМ и алгоритмами управления. "Известия АН СССР", Техническая кибернетика, 1966, № 4.
8. КУЛАКОВ А.Ф. Оценка качества управляющих алгоритмических систем. "Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам", Новосибирск, 1967, вып. I.
9. ЕРШОВ А.П., ЛЯПУНОВ А.А. О формализации понятия про-

граммы. "Кибернетика", К., 1967, № 5.

10. ЛЯПУНОВ А.А., ЯБЛОНСКИЙ С.В. Теоретические проблемы кибернетики. "Проблемы кибернетики", М., Физматлит, 1963, вып. 9.

11. БУСЛЕНКО Н.П., ОРКЕВИЧ О.М. Об операциях над агрегатами в сложных системах. "Известия АН СССР", Техническая кибернетика, 1964, № 2.

12. ЕВРЕЙНОВ Э.В., КОСАРЕВ Ю.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука" СО, 1966.

13. ЛЯПУНОВ А.А. К алгебраической трактовке программирования. "Проблемы кибернетики", 1962, вып. 8.

14. РОМАНОВСКИЙ В.И. Дискретные цепи Маркова, М., Гостехиздат, 1949.

15. КУЛАКОВ А.Ф. Техническая трактовка программирования. (в печати).

16. ОРЧАД-ХЕЙС У. Управление машинами для обработки данных и связь между ними и человеком. "Электронное моделирование и машинное управление в экономике". М., "Мир", 1965.

17. ЗИШТЕЙН В.Л. Математическая модель потоков информации и определение объема информационного базиса автоматизированной системы управления. "Управление производством", "Наука", 1967.

18. ГОЛУБЕВ-НОВОХИЛОВ Ю.С. Многомашинные комплексы вычислительных средств. М., "Сов. радио", 1967.

19. HILLIER F.S. The application of waiting line theory to industrial problems. Journ. of Industrial Engng., 1964, v. 15, No. 1.

20. ДЕГТЯРЕВ Е.К. Стохастические модели функционирования асинхронных ЦВМ. "Известия АН СССР", Техническая кибернетика, 1967, № 2.

21. БРОНШТЕЙН О.И., РЫКОВ В.Б. Об оптимальных дисциплинах обслуживания в управляющих системах. "Управление производством", "Наука", 1967.

22. БРОНШТЕЙН О.И., ЦИРИКУН А.Д. Об иерархических системах управления. "Автоматика и телемеханика", 1968, № 1.

23. АЛЕШИН Б.В., ПИГГОТ С.Г., ЦЕГЕЛЬСКИЙ Ю.В., ШЕНБРОТ И.М. Общие принципы и методы разработки систем автоматизированного управления промышленными предприятиями с непрерывными технологическими процессами. Доклад на II Всес. конференции по оперативному управлению производством, Ленинград, 6-10 февр. 1968.

24. АЛЕШИН Б.В., ЦЕГЕЛЬСКИЙ Ю.В., ШЕНБРОТ И.М. К расчету периода решения задач оптимизации в системах управления непрерывными производствами. "Известия АН СССР", Техническая кибернетика, 1968, № 2.

25. МИЛС Х.Д. Маргинальные значения матричных игр и задач линейного программирования. "Линейные неравенства и смежные вопросы", ИЛ, 1959.

26. HUESMANN R., GOLDBERG R. Evaluating computer systems through simulation. Computer Journ., 1967, v. 10, No. 2.

27. ШЕНБРОТ И.М. Графоаналитические определения среднего квадрата методической ошибки дискретного измерения. - "Измерительная техника", 1963, № 8.

28. ТИМОФЕЕВ Б.Б., КОЗЛИК Г.А., ЛИТВИНОВ В.А., СЕМЕНОВ И.Г. О принципах и методах разработки автоматизированной системы управления металлургическим заводом. - "Доклад на II Всесоюзной конференции по оперативному управлению производством", Ленинград, 6-10 февраля 1968 г.

29. TOU J.T. Statistical design of digital control systems IRE Trans. on Automatic Control, 1960, v. AC-5, No. 4.

30. БУСЛЕНКО Н.П. Математическое моделирование производственных процессов, М., "Наука", 1964.

31. ЕРМУРАТСКИЙ П.В., ЛЕНКИН Э.К. Общие вопросы экспериментальных исследований сложных технологических процессов. - "Системы автоматического управления производством", ч. I, Московский дом НТИ им. Дзержинского, 1967.

32. ХОРАФАС Д.Н. Системы и моделирование, М., "Мир", 1967.

33. КУЛИК В.Т., ЛЮБЧЕНКО Г.Г., САПРЫКИН В.Н. Автоматизация алгоритмического описания сложных систем управления производством. - "Управление производством", "Наука", М., 1967.

34. У Всесоюзное научно-техническое совещание по созданию и внедрению систем управления с применением вычислительной техники. - "Изв. АН СССР", Техническая кибернетика, 1968, № 1.

35. МАЛИНОВСКИЙ Б.Н., ЯНОВИЧ И.А. Вопросы выбора параметров и структуры вычислительной машины для управления непрерывным процессом. - "Управление производством", М., "Наука", 1967.

36. ШАХАНОВ В.С. Об алгоритме оптимального управления энергетическими комплексами с применением ЭВМ. - "Управление производством", М., "Наука", 1967.

37. МИХАЛЕВИЧ В.С., ЕРМОЛЬЕВ Ю.М., ШКУРБА В.В., ЦОР Н. З. Сложные системы решения экспериментальных задач. - "Кибернетика", Киев, 1967, № 5.

38. КОСАРЕВ Ю.Г. О методике решения задач на универсальных вычислительных системах. - "Вычислительные системы", Новосибирск, "Наука" СО, 1965, вып. 17.

39. Техническая кибернетика. Проблема управления и информация. М., "Наука", 1966.

40. ЕРШОВ А.П. Вычислительное дело в США (по материалам поездки в США на III конгресс I PR 25-29/V-65 г.), Новосибирск, 1966.

41. ТРАХТЕНГЕРЦ Э.А., ЮРЧЕНКО В.Е. Рациональные методы программирования процессов контроля и управления непрерывным производством... - "Приборы и средства автоматизации", 1964, № 4.

42. ИЦКОВИЧ Э.Л., ТРАХТЕНГЕРЦ Э.А. Минимизация объема памяти программы, реализующей алгоритмы централизованного контроля и управления производством I и II. - "Автоматика и телемеханика", 1966, № 8, 10.

43. ГУТЕР Р.С. и др. Практика программирования. М., "Нау-

ка", 1965.

44. ФЕДОСЕЕВ В.А. Методы автоматизации программирования на ЭВМ, - "Проблемы кибернетики", М., ФМ, 1960, вып. 4.

45. ЕРШОВ А.П. Оперативные алгоритмы П., - "Проблемы кибернетики". Физматгиз, вып. 8, 1960.

46. TSNI FRANK F.A. A flexible and inexpensive method of monitoring program execution in a digital computer, IRE Trans. Electronic Comput., 10, No. 2, 1961.

47. КАРР Дж. Лекции по программированию, М., ИЛ, 1964.

48. БАНТРУСОВ Ю.И. Восстановление формул по известной программе. - "Цифровая вычислительная техника и программирование", М., "Сов. радио", 1967, вып. 3.

49. КОРОЛЕВ Е.А., ТРИФОНОВ Н.П. Курс программирования. М., "Наука", 1964.

50. КАЛУЖНИН Л.А. Об алгоритмизации математических задач. - "Проблемы кибернетики", М., ФМ, 1959, вып. 2.

51. БЕРК К. Теория графов и ее применение, М., ИЛ, 1962.

52. КАРП Р.М. Заметки о приложении теории графов к программированию ЦВМ. - "Кибернетика", Киев, 1962, вып. 4.

53. RAMAMOORTHY C.V. Connectivity consideration of graphs representing discrete sequential systems, IEEE Trans. Electron. Comput., No. 12, No. 5, 1965.

54. UNGER STEPHEN H. GTT - a heuristic program testing pairs of directed line graphs for isomorphism. Commun. Assoc. Comput. Mach.

55. МАРТЬЯНОВ А.И. Понятие о траекториях счета управляющей программы ЭВМ (в печати).

56. ГУД Г.Х., МАККОЛ Р.Э. Системотехника, введение в проектирование больших систем. М., "Сов. радио", 1962.

57. РАЙВЕТТ П., АКОФФ Р.Л. Исследование операций, М., "Мир", 1966.

58. ЧЕРЧМЕН У., АКОФФ Р., АРНОФ Л. Введение в исследование операций, М., "Наука", 1968.

59. ГЛУШКОВ В.М. Перспективы использования вычислительной техники, - "Доклад на выставке "Интерортехника - 66".

60. ГЛУШКОВ В.М. Синтез цифровых автоматов, М., ФМ, 1962.

61. ТИМОФЕЕВ Б.Б., КОЗЛИК Г.А. Основные направления и задачи автоматизации управления промышленными предприятиями. - "Материалы республиканской научно-технической конференции", Киев, Изд. УкрНИИТИ, 1968.

62. КРАСОВСКИЙ А.А., ПОСПЕЛОВ Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики, М.-Л. Госэнергоиздат, 1962.

63. АЙВАЗЯН Д.А., МОЛЧАНОВА В.С., КОЗЛИК Г.А. Некоторые вопросы построения программы диспетчера систем автоматизированного управления. - "Материалы республиканской научно-технической конференции", Изд. УкрНИИТИ, Киев, 1968.