

## ПРЕИМУЩЕСТВА СТРУКТУРНОЙ ИЕРАРХИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ОПЕРАТИВНО-ПРОГРАММИРУЕМЫХ ДИСКРЕТНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В.В. Руднев, Т.К. Берендс

Как известно, иерархия-принцип, широко используемый при построении сложных систем управления. В частности, это касается и систем управления, используемых в АСУ ТП. Примером может служить управление с помощью ЭВМ группой станков с числовым программным управлением и обслуживающих эти станки манипуляторов. ЭВМ образует верхний уровень иерархии, на нижнем уровне находятся системы управления отдельными станками или манипуляторами.

Однако, иерархический принцип возможно и целесообразно использовать и при реализации сравнительно несложных систем, таких, например, как устройство управления /УУ/ химическим агрегатом или роботом-манипулятором. Эта целесообразность базируется, в основном, на следующих соображениях:

а/ описанию управляемого технологического процесса соответствует описание работы верхнего уровня иерархии, которое может быть составлено на языке технологических команд, а не на языке непосредственных воздействий на исполнительные органы /ИО/ объекта. Язык технологических команд понятен как заказчику-технологу, так и исполнителю, позволяет описывать процесс укрупненно, а потом и более обозримо;

б/ уже на этапе составления задания на проектирование появляется возможность естественной декомпозиции УУ и выделения таких его узлов, которые многократно используются в процессе управления. Это позволяет составлять и исследовать описания достаточно сложных в целом систем, а также избежать аппаратурной избыточности.

Предлагаемая иерархическая структура УУ иллюстрируется на рис. 1. Верхний уровень этой структуры — блок команд БК. В этом блоке в виде последовательности команд реализуется программа управления технологическим процессом. Каждой команде соответствует свое состояние БК. Команда интерпретируется как совокупность воздействий на объект, соответствующих этапу технологического процесса и состоит из простых команд, выполнение которых начинается одновременно. Примеры простых команд — "обточить заготовку", "наполнить резервуар", "довести температуру узла до заданной и поддерживать ее на этом уровне" и т.д.

Простые команды являются входными сигналами нижнего уровня УУ и могут поступать на этот уровень от БК в режимах "автомат" и "потактовая обработка", а в режиме "оператор" непосредственно с пульта оператора. Этот уровень представляет собой совокупность конечных автоматов, названных нами "моторными" по образу двигательных механизмов в живых организмах. Кроме простых команд моторные автоматы /МА/ воспринимают сигналы  $x$  датчиков от управляемой ими части объекта /подобъекта  $ПО_i$ /. Выходами МА являются сигналы  $z$  на исполнительные органы /ИО/ подобъекта и сигнал  $u_i$ , выдаваемый  $МА_i$  на верхний уровень и свидетельствующий об исполнении простой команды.

Таким образом, входы и выходы МА распадаются на две группы. 1-я группа представляет собой связи с верхним уровнем иерархии. Входы этой группы — простые команды, а выход — сигнал "команда исполнена". 2-я группа — входы и выходы связаны со своим подобъектом. Входами этой группы являются сигналы датчиков, а выходами — сигналы на ИО.

Кроме этих двух уровней структура содержит промежуточное устройство — блок  $U$  синхронизации выходов 1-ой группы МА. При наличии сигналов  $u_i$  /"простая команда исполнена"/ на всех выходах  $U$ , выход  $u$  этого блока принимает значение "команда исполнена" и блоку БК разрешается, тем самым, переход к следующей команде.

Блок команд может также воспринимать сигналы от оператора /или устройства управления более высокого уровня/, а также иногда и от объекта /канал  $x'$  на рис. 1/.

Иерархический принцип построения УУ технологическим оборудованием приводит к значительному упрощению стыковки УУ с объектом управления, оперативной перенастройки УУ, стыковки УУ с устройством управления более высокого уровня /например, с ЭВМ/ и открывает пути к созданию универсальных УУ технологическими процессами. Остановимся на этом подробнее.

1. Наиболее ответственным при наладке УУ является этап его стыковки с объектом управления. При применении иерархического принципа этот процесс существенно упрощается, так как совместная работа каждого МА со своим подобъектом может быть отлажена в отдельности.

2. Иерархический принцип открывает большие возможности для оперативной перенастройки УУ, поскольку для изменения алгоритма управления требуется лишь изменение программы, реализуемой в БК, и не требуется перестройка структуры УУ в целом. Программа, составленная в укрупненных терминах технологических команд, имеет ясный технологический смысл, что облегчает ее оперативное составление и изменение.

3. Упрощается стыковка УУ с ЭВМ, используемой в качестве устройства более высокого уровня. Выходами на ЭВМ в этом случае могут быть уже не сигналы на ИО, а команды отдельным МА или блоку команд. Сигнал об исполнении своих команд ЭВМ может получать в виде укрупненного сигнала от блока U - "команда исполнена".

4. Иерархический принцип открывает путь к созданию универсальных УУ, поскольку в силу малой размерности становится возможной типизация МА, а программносителем является стандартный блок команд, или, в случае наиболее простых программ, просто считывающее устройство, например, с перфоленты. Появля-

ется возможность построения УУ в виде набора из нескольких МА и блока команд определенной размерности и простого согласования такого УУ с конкретным объектом, сложность которого не превышает возможностей такого универсального УУ.

При проектировании специализированного УУ конкретным объектом становится целесообразным представление о нижнем уровне структуры как о блоке дистанционного управления /БДУ/ объектом. В этом случае БДУ используется для управления объектом вручную, а также может служить буферным устройством в автоматическом режиме управления, когда в качестве верхнего уровня УУ применяется БК или/и ЭВМ.

Блок дистанционного управления состоит из нескольких МА, необходимых схем блокировки, блока синхронизации U, элементов связи с ЭВМ и пульта оператора, служащего для связи оператора с БДУ. Схемы блокировки, элементы связи с ЭВМ и организация пульта могут иметь несущественные особенности, связанные с иерархичностью УУ, на которые мы здесь не будем обращать внимания. Блок синхронизации может быть выполнен как схема совпадения по всем  $u_i$ .

Специфика, связанная с иерархичностью, в основном касается построения МА. МА является конечным автоматом, а потому к нему применимы все результаты теории синтеза конечных автоматов. Необходимо лишь помнить при этом, что входами такого автомата будут пары, состоящие из входов МА первой и второй групп /то же самое касается и выходов/. Однако, такой подход не всегда целесообразен. Во-первых, функцию выходов МА желательно представлять в виде двух функций выхода, отнесенных к различным выходным каналам МА. Это функции  $\lambda_o$  и  $\lambda_c$ . Функция  $\lambda_o$  относится к выходу  $z$  и чаще всего имеет форму функции выходов автомата Мура:  $\lambda_o: S \rightarrow Z$ . Функция  $\lambda_c$  относится к выходу  $u_i$  и всегда имеет форму функции выходов автомата Мили:  $\lambda_c: S \times S \rightarrow U$ . Во-вторых, следует помнить, что входы  $C$  и  $X$  имеют различное техническое содержание. Входы  $C$  /команды на МА/ связаны с работой не столько самого МА, сколько совокуп-

ности из МА и подобъекта. Часто эти команды определяют целую последовательность переключений в МА и ПО. Что касается входов  $X$ , то эти входы определяют работу МА в пределах такта /за этим следует воздействие на ПО со стороны МА/. Это различие накладывает ограничение и на схему значений входов. Так, подача новой команды  $cес$  допустима лишь после того, как совокупность "МА-ПО" придет в устойчивое состояние /при этом должно быть выработано соответствующее значение  $u_i$ /. Лучше всего строить схему МА так, чтобы в процессе отработки команды моторный автомат становился невосприимчивым к ее смене. Что же касается смены входа  $X$ , то здесь имеют место обычные ограничения.

Таким образом, МА может быть определен как

$$MA = \langle C \times X, S, Z \times U, \delta, \lambda_0, \lambda_c \rangle, \text{ где}$$

$S$  - множество состояний МА,  $\delta: C \times X \times S \rightarrow S$  - функция переходов, а смысл всех остальных символов определен выше. Кроме того, должны быть выполнены описанные выше ограничения.

Примеры реализации простейших моторных автоматов приводятся в приложении, а более детальное рассмотрение специфики синтеза МА выходит за рамки этого сообщения.

Технический синтез МА может быть проведен по любой известной структуре, но ввиду сравнительной простоты МА нам кажется наиболее целесообразным использовать сетевой принцип реализации, как наиболее экономный, тем более, что во многих случаях МА может не иметь собственной внутренней памяти /она может быть не нужной вообще, а может оказаться достаточно памяти объекта/. Это, конечно, не исключает применение стандартных схем МА в случае, когда автоматизированный класс объектов допускает типизацию подобъектов, и, как следствие, типизацию МА.

В заключении этой части сообщения отметим, что входы "с" в МА могут представлять собой объединение идентичных вхо-

дов от пульта оператора, блока БК и/или ЭВМ.

После того, как разработка БДУ завершена, можно перейти к проектированию блока команд БК. Функция этого блока заключается в замене оператора автоматом при выполнении всей программы управления объектом. Поскольку назначение БК - выдача последовательности команд, синтез этого блока целесообразно вести по структуре, содержащей по триггеру на каждую команду. Поскольку основным условием переключения состояния /триггера/ БК является сигнал  $u$  с блока синхронизации, коммутационные связи БК, относящиеся к переключениям состояний, могут быть сделаны стандартными. Каждое переключение состояний БК требует последовательной смены  $u \rightarrow \bar{u} \rightarrow u$ . Эта смена происходит следующим образом. Появление сигнала  $u$  на выходе блока синхронизации разрешает БК переключаться в состояние, соответствующее следующей команде программы. Моторные автоматы, получив при этом новые простые команды, выдают сигналы  $\bar{u}_i$ , что вызывает появление сигнала  $u$ . Этот сигнал подготавливает возможность следующего переключения состояния БК после отработки команды в МА и выдачи ими всеми сигналов  $u_i$ , что приведет к появлению сигнала  $u$ . Если какой либо моторный автомат своей команды не отрабатывает, то на его выходе не появится  $u_i$  и работа БК будет заблокирована.

В некоторых случаях наличия сигнала  $u$  может быть недостаточно для перехода к следующей команде, если реакция объекта на предыдущую команду может быть неоднозначной. Здесь потребуется информация от объекта - сигнал  $x'$  /рис. 1/, подаваемый в виде соответствующего условия переключения в БК.

Все вышесказанное относится и к случаям исполнения БК в виде устройств считывания с перфокарты или перфоленты.

Смена программы в БК осуществляется либо перекоммутацией специального поля /которое может быть сделано сменным/, либо сменой носителя в считывающем устройстве.

В заключении описания структуры отметим, что БК и моторные автоматы работают в ней по принципу "запрос-ответ", что позволяет межуровневые связи структуры сделать независящими от скорости работы отдельных ее блоков.

В заключении авторы выражают благодарность инж. Б.С. Шевченко за помощь и внимание к настоящей работе.

## Приложение

На рис. 2 и 3 показана реализация двух простейших моторных автоматов. Оба эти МА предназначены для управления двухпозиционными ИО, оснащенными одним или двумя конечными выключателями.

На рис. 2 показан МА с собственной внутренней памятью на триггере. Схемы ИЛИ на входах триггера служат для возможности подачи команд на МА с пульта оператора /сигнал  $c_{оп}^0$  и  $c_{оп}^1$ / и в нескольких тактах БК /сигналы  $c_{БК}^0$  и  $c_{БК}^1$ /. Выходы  $z^0$  и  $z^1$  соответствуют двум различным перемещениям ИО. Эти выходы сравниваются с сигналами  $x^0$  и  $x^1$  от датчиков /напр., конечных выключателей/ и лишь при соответствии команды на МА и положения ИО появляется сигнал  $u_i$ .

Рис. 3 иллюстрирует реализацию моторного автомата, не имеющего собственной внутренней памяти, и использующего память объекта. Если оба конечных выключателя выдают нулевые сигналы, свидетельствующие о том, что ИО находится в некотором промежуточном положении, то имеет место сигнал  $\bar{u}_i$ , в результате чего БК не может выработать на МА и воздествовать на МА представляется возможным лишь с пульта оператора. Если, например, имеет место сигнал  $x^0$ , то при отсутствии команды МА сам вырабатывает выходной сигнал  $z^0$ , удерживающий ИО в положении, соответствующем  $x^0$  /используется память объекта/. При подаче команды  $c^1$  выход  $z^0$  будет блокирован, зато появится выход  $z^1$ . По достижении ИО положения, соответствующего  $x^1$ , появится этот сигнал и будет иметь место ситуация, аналогичная случаю с  $x^0$ . Тактовый сигнал  $u_i$  вырабатывается при наличии сигнала от одного из концевиков, если при этом имеет место команда, соответствующая движению к этому концевнику, или отсутствуют обе команды.

Мы здесь не приводим пример МА, имеющих более двух внутренних состояний, несколько команд и осуществляющих по команде многотактное управление ПО. Это потребовало бы много места и невозможно ввиду ограниченности настоящего сообщения.



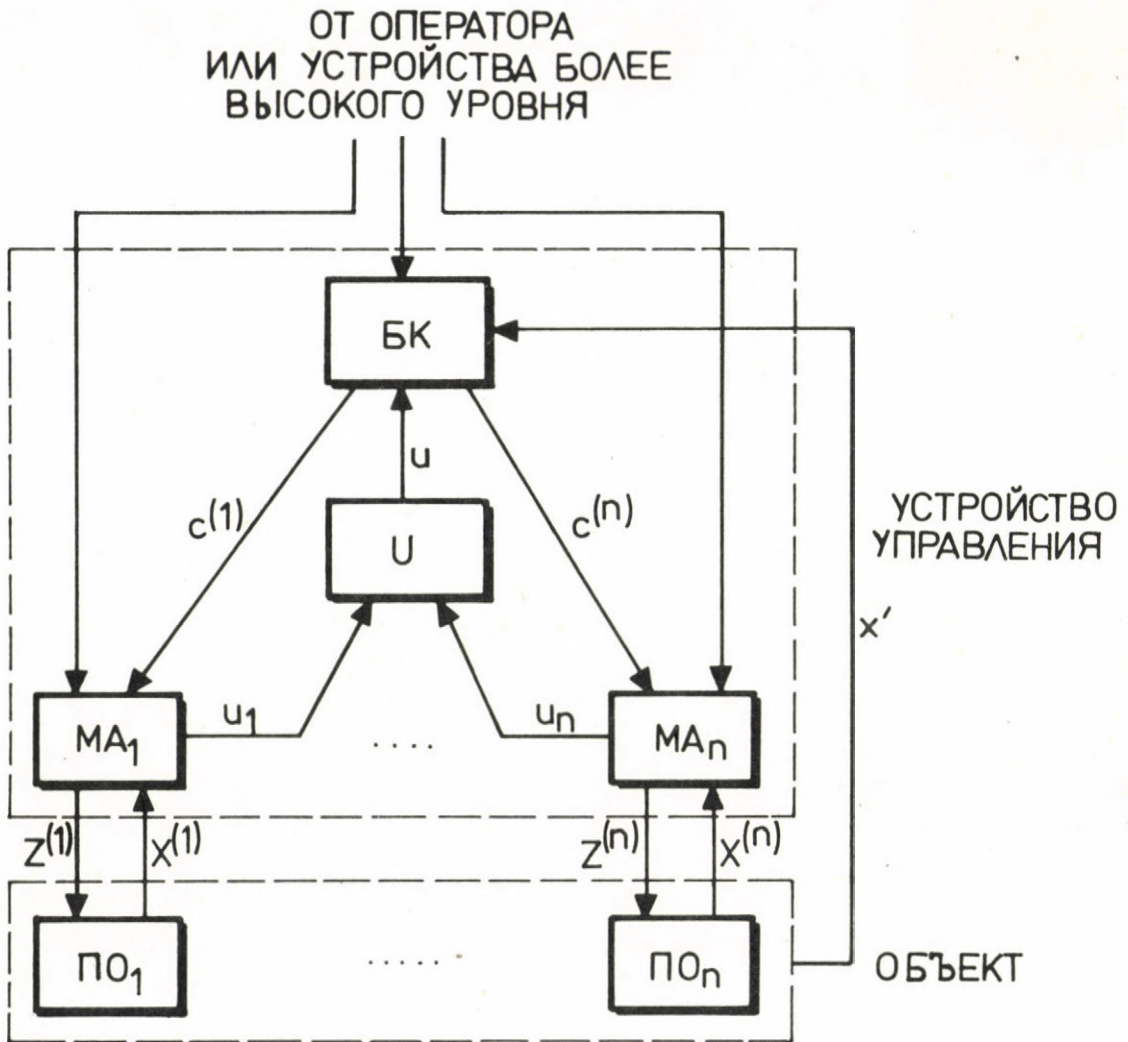


Рис. 1. Иерархическая структура устройства управления.

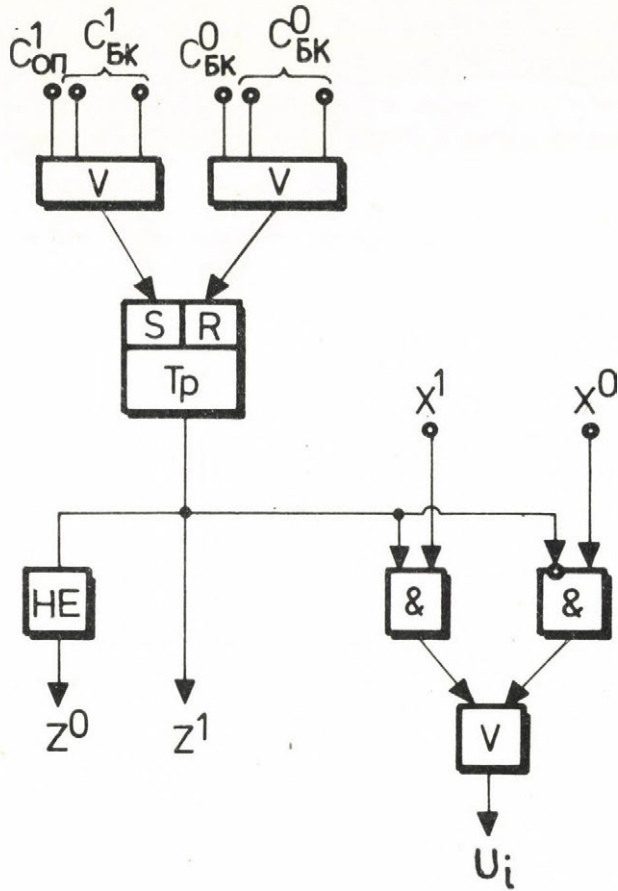


Рис. 2. Моторный автомат с собственной внутренней памятью.

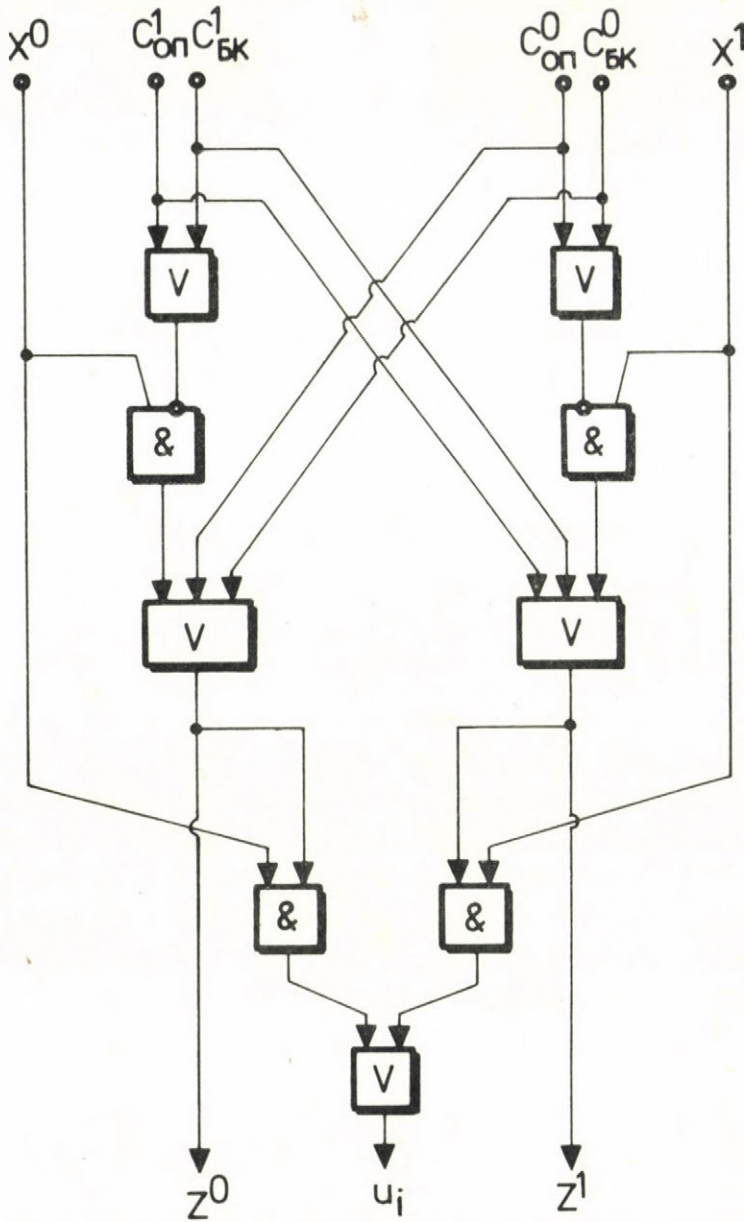


Рис. 3. Моторный автомат без памяти, использующий память объекта.