

**ОДНОРОДНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗ МИНИ - МАШИН**

**В.Г. Винокуров, В.К. Дмитриев, Э.В. Евреинов, В.М. Костелянок, Г.М. Лехнова, Н.Н. Миренков, В.В. Резанов, В.Г. Хороневский**

Концепция однородных вычислительных систем (ОВС) была сформулирована в работах [1,2]. ОВС, строящиеся на принципах параллельности выполнения операций, переменности и однородности структуры, способны удовлетворить требованиям, предъявляемым к современным средствам вычислительной техники.

В ОВС достаточно просто реализуются различные режимы функционирования (коллективное пользование, пакетная обработка и др.), способы управления вычислительным процессом (централизованное, децентрализованное и др.) и структурные схемы (изолированные ЭВМ, подсистемы с произвольным числом ЭВМ и т.д.). Переменность и однородность структуры ОВС позволяет достичь заданных значений показателей надежности и живучести и расширить возможности самоконтроля и самодиагностики [3]. Значения производительности, емкости памяти, скорости ввода-вывода информации и т.д. достигается путем подбора числа ЭВМ в ОВС. Нарядиваемость ОВС осуществляется простым подключением дополнительных машин, причем математическое обеспечение может настраиваться (программно) на любое число ЭВМ в системе. Это обеспечивает совместимость вычислительных средств для различных областей применения.

Подключение к М-6000 арифметического расширителя позволяет выполнять дополнительные команды (см. табл.). Многоуровневая система приоритетного прерывания обеспечивает эффективное использование процессора.

Устройство ввода-вывода (ввода с носителей и вывода на них, печати, связи с оперативным персоналом и т.п.), внешние запоминающие устройства, а также устройства связи с объектом и согласователи подключаются к М-6000, РВВ или КПД через унифицированное сопряжение 2К. Это сопряжение упрощает подключаемые к нему УВВ за счет реализации ряда функций, выполняемых обычно устройствами управления УВВ по программе процессора. Вместе с тем появляется возможность упростить ЭВМ за счет возложения функций канала ввода-вывода на процессор (если не требуется высокая скорость передачи информации) или обеспечить высокую пропускную способность системы ввода-вывода с помощью канала прямого доступа к памяти.

Процессор имеет 8 выходов на сопряжение 2К, число которых можно увеличить за счет подсоединения к процессору расширителей ввода-вывода. Два из восьми выходов процессора на сопряжение 2К отводятся для подключения каналов.

Устройство ввода-вывода может быть подсоединено либо к сопряжению 2К процессора или РВВ (программный канал), либо к сопряжению 2К КПД. В первом случае вся работа с устройством выполняется по программе, во втором — программно организуется только начало работы устройства. Дальнейшая работа УВВ управляется от КПД. Этот способ обеспечивает высокую скорость передачи данных (вплоть до предельной, определяемой скоростью ОЗУ).

В наборе предусмотрена возможность компоновки многопроцессорных систем различной структуры (рис. 2) с помощью модуля четвертой группы, называемого дуплексным регистром (ДР).

Возможны два способа связи между ЭВМ: через пару дуплексных регистров (рис. 2, а-в) и через дуплексный регистр и канал межпроцессорной связи (рис. 2, г, д).

Первый вид связи позволяет передать массивы информации из одной ЭВМ в другую по инициативе любой из них и под управлением программ в обеих процессорах. Эта связь используется для оперативного обмена информацией между двумя работающими ЭВМ.

Первой ОВС явилась "Минск-222" [4-6]. Она построена на базе серийных ЭВМ "Минск-2/22" [7] и относится к одномерным системам общего назначения. Система "Минск-222" была разработана Институтом математики СО АН СССР совместно с конструкторским бюро завода им. С.Орджоникидзе (г. Минск). Работы по проектированию ОВС были начаты в 1965 году, а первый образец был установлен в апреле 1966 года в Институте математики АН БССР. ОВС "Минск-222" в течение многолетней эксплуатации в различных организациях показали высокую эффективность при решении широкого круга задач средней сложности [8].

В 1964-1968 гг. в ИМ СО АН СССР была спроектирована одномерная ОВС для управления научно-техническими экспериментами [9, 10]. ЭВМ системы по техническим характеристикам близки к современным мини-машинам. Экспериментальная модель из 2-х ЭВМ эксплуатируется в Алтайском политехническом институте.

В процессе разработки и опытной эксплуатации указанных ОВС были отработаны принципы функциональной организации вычислительных систем и накоплен опыт по параллельному программированию и построению системного математического обеспечения [8, 11]. Была показана целесообразность построения вычислительных систем из ЭВМ, относящихся к классу мини-машин. Работы по созданию однородных вычислительных систем на базе серийно выпускаемых мини-машин выполняются ИМ СО АН СССР и Научно-производственным объединением "Импульс" (г. Северодонецк).

Работы по вычислительным системам из мини-машин [12-14] начаты и в США. Общая концепция построения систем из мини-машин в США еще четко не сформулирована. Однако анализ проектов показывает, что, как правило, используются три способа организации вычислительных систем: с общей памятью; с так называемой "единой шиной", к которой подключаются процессоры, запоминающие и другие устройства; с общей группой устройств ввода-вывода. Такие способы позволяют строить системы с числом машин порядка 10, хотя завоевывает признание мнение о необходимости создания систем с большим числом машин [12, 14].

Проведенные исследования показывают, что при решении достаточно большого круга задач вычислительные системы из мини-машин оказываются более эффективными с точки зрения производительности, надежности, живучести, стоимости и т.д., чем одна

или даже несколько больших ЭВМ третьего поколения. К таким задачам относятся: обработка результатов геофизической разведки и информации о бронировании билетов на рейсовые самолеты [12], анализ речевой информации [12,15], управление радиолокационными средствами [16], обработка информации типичных пользователей вычислительной системы с разделением времени [13], управление промышленными и технологическими объектами, управление научными экспериментами [12,17], решение задач проектирования в машиностроении [18], моделирование атмосферы [19] и др.

В данной работе рассматриваются способы организации ОВС на мини-машинах. Описывается МИНИ-Машинная программно коммутационная Система (МИНИМАКС), образуемая из процессоров М-6000 и других модулей агрегатной системы средств вычислительной техники (АСВТ-М), серийно выпускаемых отечественной промышленностью [20]. М-6000 обладает достаточно высоким быстродействием и надежностью, высокой скоростью обмена информацией между внешними устройствами и памятью (при использовании канала прямого доступа к памяти), включает в себя систему прерывания, имеет низкую стоимость, малые габариты, развитую систему математического обеспечения. Указанные свойства облегчают построение ОВС на базе АСВТ-М.

### Структура ОВС МИНИМАКС

Система МИНИМАКС (рис.1) представляет собой ОВС с программно коммутруемыми связями между элементарными машинами (ЭМ). Каждая из ЭМ системы состоит из ЭВМ, выполняющей функции переработки информации, и системного устройства (СУ), обеспечивающего связь ЭМ друг с другом. В качестве ЭВМ используется вычислительный комплекс, организованный на базе АСВТ-М и включающий в себя процессор М-6000. Взаимодействия между ЭМ осуществляются по двумерным (1) и одномерным связям (2), а между ЭВМ и СУ элементарной машины - по связям (3).

Типичными взаимодействиями между ЭМ являются: 1) пересылка данных из оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) одной ЭМ в ОЗУ других (обмен), 2) синхронизация работы ЭМ, 3) выра- ботка обобщенного признака  $\Omega$ , 4) выполнение обобщенного без-

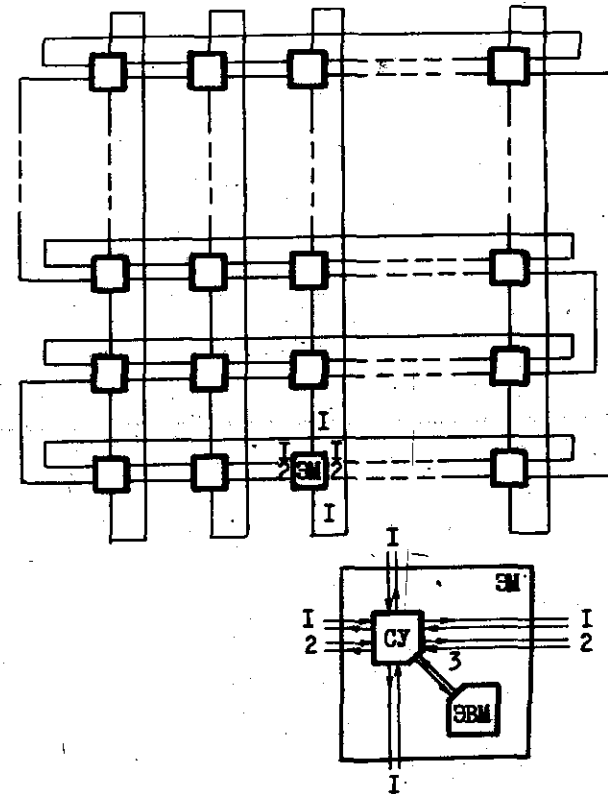


Рис. 1

условного перехода, 5) изменение топологии структуры и степени участия ЭМ в указанных выше взаимодействиях (настройка). Взаимодействия 1-4 реализуются через связи (1), взаимодействие 5 - через связи (2).

Группа ЭМ, используемых в качестве транзитных пунктов передачи информации между взаимодействующими машинами, вместе с семью взаимодействующими ЭМ образует функциональную единицу, называемую подсистемой. Каждая ЭМ входит в одну из подсистем (ПС1), образованных по связям (1). Вместе с тем каждая ЭМ может входить (не входить) в одну из подсистем (ПС2), образованных по связям (2).

Выбором размерности связей (1) достигается компромисс между гибкостью и живучестью системы, с одной стороны, и сложностью СУ — с другой. Гибкость и живучесть обеспечиваются свободой выбора порядка соединения взаимодействующих ЭМ.

Сравнительная редкость взаимодействий 5-го типа позволяет применить для их выполнения одномерные связи. Необходимая живучесть обеспечивается замыканием связей (2) в кольцо (рис. 1) и возможностью обхода дефектов связей (2) по связям (1).

При выборе способа реализации связей (3) необходимо исходить из целесообразности построения СУ в виде отдельного модуля АСВТ-М. (Это обеспечит наименьшее влияние СУ на конфигурацию ЭВМ.)

Возможны три способа реализации связей СУ с ЭВМ: 1) через специальное сопряжение, подобное тому, которое используется для арифметического расширителя; 2) через программный канал или программный канал и канал прямого доступа к памяти (КПД); 3) через программный канал и соответствующим образом модифицированный КПД.

Первый вариант реализации связей (3) требует изменений в схемах и конструкции процессора и, следовательно, увеличивает его стоимость. Второй вариант осуществляется через стандартное сопряжение 2К и не требует изменений в схемах ЭВМ. Следовательно, он позволяет сократить сроки на отладку схем СУ и системного математического обеспечения.

Предварительное рассмотрение показывает целесообразность описываемого ниже третьего варианта реализации связей. Достоинствами этого варианта являются: 1) высокая скорость групповых передач, осуществляемых при взаимодействиях 1 и 5; 2) высокая скорость выполнения системных операций, достигаемая путем использования в работе СУ задающего генератора ЭВМ и уменьшения пересылок между элементами СУ и ЭВМ; 3) простота устройства, обеспечиваемая выполнением ряда функций СУ элементами КПД; 4) возможность совмещения работы ЭВМ с выполнением системных операций.

ЭВМ строится из набора агрегатных модулей АСВТ-М [20], выполненных на современной элементной и конструктивно-технологической базе. Все логические устройства построены на комплексе интегральных схем с транзисторно-транзисторной логикой.

Набор модулей АСВТ-М предназначается для компоновки автономных и низовых локальных информационных и управляющих вычислительных систем для технологических объектов и научного эксперимента, работающих в реальном масштабе времени с автоматическим сбором информации. Функционально он разделяется на следующие устройства: 1) обработки информации, 2) ввода — вывода (УВВ), 3) связи с объектом и единой системой (ЕС ЭВМ), 4) согласования с набором модулей АСВТ-Д, ЕС ЭВМ, линиями связи и специализированными установками. Выпускаемые промышленностью устройства первой группы перечислены в таблице (см. стр. 134).

М-6000 — процессор с фиксированной записью, работающий над двоичными 16-разрядными (плюс 2 контрольных разряда) числами. Обработка чисел двойной и половинной длин и чисел с плавающей запятой выполняется по подпрограммам.

В процессоре обеспечивается:

1) прямая адресация любой ячейки в нулевой и текущей (в которой размещена выполняемая команда) страницах, имеющих емкость по 1К слов;

2) косвенная адресация любой ячейки памяти, максимальная емкость которой составляет 32К слов.

Система команд процессора позволяет выполнять пересылку слов между памятью и двумя программными регистрами; операции сложения, сравнения, логического сложения и умножения; безусловный переход и переход на программу с запоминанием места возврата; пропуск следующей команды по содержанию триггера переполнения или переноса, по содержанию младшего и старшего разрядов программных регистров, по равенству или неравенству программных регистров нулю, а также по сигналу готовности от УВВ; прием слова из УВВ и выдачу слова в УВВ; разрешение или запрет прерываний от всех или выбранных УВВ; выдачу в УВВ сигналов "выполнить"; останов операции ввода-вывода; останов процессора; разнообразные сдвиги и некоторые другие операции.

Т а б л и ц а

| Название                                  | Назначение и основные параметры   | Количество модулей в ЭВМ |              |
|---|---|--------------------------|--------------|
|   |   | мини - малые             | макс - малые |
| Процессор И-6000(П)                       | Обработка команд, арифметическая и логическая обработка данных, управление вводом-выводом. Скорость: адресных команд до 200 тыс./сек, безадресных до 1800 тыс./сек. Непосредственно подключается до 8 ЭВМ.        | 1                        | 1            |
| Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) | Оперативное хранение информации. Емкость АК-18-разрядных слов. Цикл обращения-2,5 мксек.  | 1                        | 8            |
| Расширитель арифметический (РА)           | Управление выполнением в процессоре дополнительных команд (умножения, деления и сдвигов двойного слова).  | 0                        | 1            |
| Расширитель ввода-вывода (РВВ)            | Подключение к процессору дополнительно до 16 ЭВМ  | 0                        | 3            |
| Канал прямого доступа к памяти (КПДП)     | Выполнение групповых пересылок информации между ОЗУ и устройствами ввода-вывода одновременно с работой процессора. Число подканалов-2, число подключаемых ЭВМ-4, максимальная скорость передачи-400 тыс.слов/сек. | 0                        | 2            |
| Канал инкрементный (КИ)                   | Выполнение групповой операции, заключающейся в увеличении на единицу содержимого ячеек ОЗУ, адреса которых определяются поступающими от ЭВМ кодами. Максимальная скорость-250 тыс.цикл/сек.                       | 0                        | 2            |
| Канал межпроцессорной связи (КМС)         | Выполнение независимо от работы процессора записи в ОЗУ или чтения из ОЗУ по адресам, получаемым извне. Максимальная скорость - 400 тыс.циклов/сек.   | 0                        | 2            |

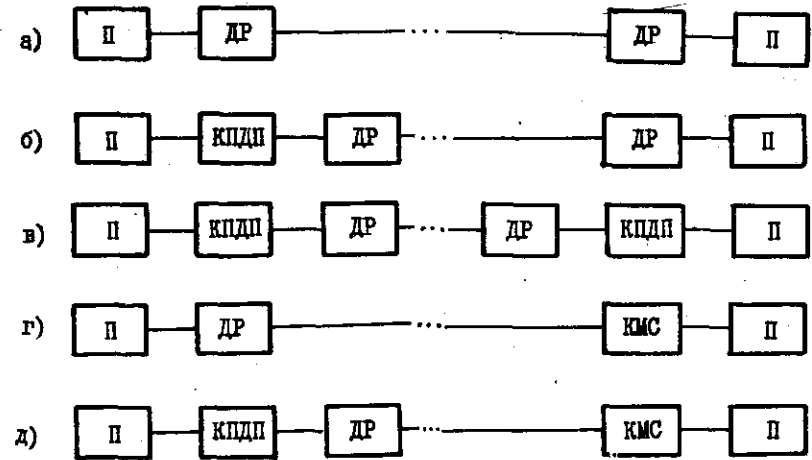


Рис. 2.

Второй вид связи позволяет одной ЭВМ обратиться по своей подпрограмме в память другой ЭВМ (для чтения или записи). При этом процессор второй ЭВМ может не работать. Эта связь используется для построения иерархических систем, а также в дуплексных системах для обеспечения возможности автоматической диагностики неисправностей и автоматического перезапуска системы.

Системное устройство

В состав СУ (рис.3) входят следующие блоки: обмена (БО), выработки обобщенного признака  $\Omega$  ( $B\Omega$ ) и настройки (БН), которые служат соответственно для выполнения взаимодействий 1 и 4, взаимодействий 2 и 3 и взаимодействия 5, и блок местного управления (БМУ).

Б л о к н а с т р о й к и . Код в 3-разрядном регистре настройки (РН) указывает, выполняет ли данная ЭМ взаимодействия по связям (1) (один разряд для признака В) и задает нап -

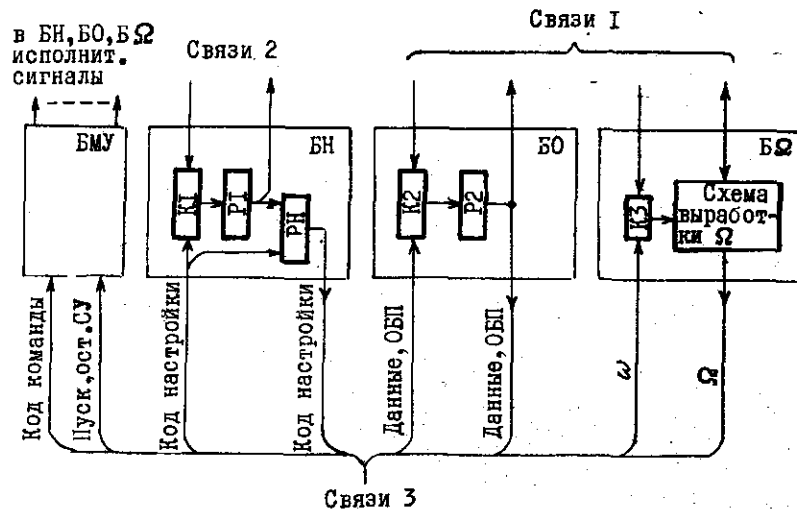


Рис. 3.

правление приема информации для взаимодействий (I) и (4) (два разряда для кода соединительной функции - СФ).

Настройка ЭМ заключается в изменении кода в ее РН. Она может быть выполнена из собственной ЭМ через связи (3) (настройка машины) или из любой другой ЭМ через связи (2) (настройка системы).

Настройка системы может осуществляться в любом из направлений связей (2). Используется пошаговая настройка со сдвигом. На каждом шаге к подсистеме ПС2, сформированной ранее, подсоединяется ЭМ, соседняя с подсистемой в направлении выполняемой настройки; выдается очередной код из ЭМ, настраиваемой ЭМ на регистр РН; осуществляется параллельный сдвиг содержимого РН машин подсистемы на одну позицию в направлении настройки. Общее число шагов настройки системы равно  $(n + 2)$ , где  $n$  - число ЭМ, находящихся между настраиваемой ЭМ и самой удаленной от нее по связям (2) настраиваемой машиной. После выдачи  $(n + 2)$  кодов настраиваемая ЭМ посылает исполнительный сигнал, который осуществляет в каждой ЭМ ПС2 перепись кода из РН на РН, а затем разрушает подсистему. В машинах ПС2, используемых для транзитной передачи кодов, перепись из РН в РН блокируется. Тран-

зитные ЭМ распознаются по коду, находящемуся в их РН.

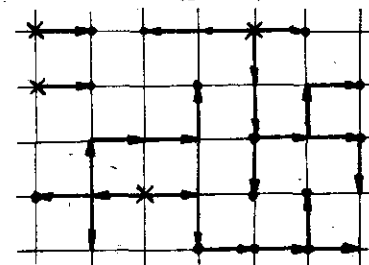
Направление приема информации по связям (2) для ЭМ определяется с помощью коммутатора К1, который реализует функцию "ИЛИ" от входной информации, если ЭМ не включена в ПС2. Для ЭМ из ПС2 направление приема определяется тем направлением, с которого она получила первый код.

Пошаговая настройка позволяет образовывать по связям (2) несколько одновременно работающих подсистем, что уменьшает общее время настройки заданной области ОВС.

Время, в течение которого связи (2) свободны, можно использовать для передачи в ЭМ кода настройки, необходимого для ее дальнейшей работы. В отличие от описанной выше, при "предварительной" настройке нет переписи информации из РН в настраиваемых ЭМ. Код на РН сохраняется, и появляется сигнал готовности РН.

Блок обмена. Код СФ через коммутатор К2 определяет направление приема информации при выполнении взаимодействий I и 4. Передача информации из ЭМ по связям (I) осуществляется по всем четырем направлениям. Применение входных коммутаторов в сочетании с выдачей по всем направлениям в БО и БН существенно упрощает схему СУ при использовании передач по связям (I) и (2) параллельным кодом.

В ОВС может быть образовано несколько подсистем ПС1, работающих независимо (рис. 4). В каждый момент времени в ПС1



\* - передающая ЭМ, — транзитная ЭМ, — приемная ЭМ.

Рис. 4.

может выполняться только одно взаимодействие.

Передача по связям (I) осуществляется с использованием сигналов готовности, что позволяет автоматически учитывать колебания цикла работы взаимодействующих ЭМ. Каждая ЭМ начинает

цикл выборки на Р2 очередного кода после получения сигналов окончания приема текущего содержимого Р2 от всех соседних с

ней ЭМ данной подсистемы (кроме ЭМ, находящейся в направлении, выделенном кодом СФ), а также от собственной ЭВМ, если она настроена по В. ЭМ сигнализирует соседним с ней принимающим ЭМ и собственной ЭВМ об изменении кода в Р2 посылкой управляющего сигнала.

**Б л о к  $\Omega$ .** Обобщенный признак  $\Omega$  вырабатывает и реагирует на его значение только ЭМ, настроенные по В. Все остальные ЭМ подсистемы ПСИ пропускают значение кодов со входов коммутатора КЗ на соответствующие выходы СУ без изменений. Обобщенный признак  $\Omega$  равен 1, когда во всех (настроенных по В) ЭМ подсистемы ПСИ значение индивидуального признака  $\omega$ , поступающего из ЭВМ, равно 1.

Значение  $\Omega$  вырабатывается на схеме "И", распределенной по машинам подсистемы. Интервал времени, в течение которого сигнал на выходах Б $\Omega$  будет соответствовать значению признака  $\Omega$ , выделяется программно.

**К о н ф л и к т ы м е ж д у п о д с и с т е м а м и.** При асинхронной работе машин между соседними подсистемами возможны конфликты. По связям (2) конфликт возникает в процессе формирования ПС2, если машина, которая должна быть подсоединена на данном шаге настройки, уже входит в другую подсистему. Переход ЭМ из одной подсистемы в другую возможен только после разрушения первой из образовавшей ее машины.

Конфликт останавливает процесс формирования подсистемы ПС2. В каждой ее ЭМ вырабатывается признак конфликта, который блокирует передачу кода настройки в РИ или установку Р1 в состояние готовности. В настраиваемой ЭМ признак конфликта воспринимается программно как сигнал невыполнения настройки.

Для каждой ЭМ существует три источника сигналов включения ее в ПС2: собственная ЭВМ и две соседних ЭМ. При одновременном поступлении нескольких сигналов конфликт разрешается в пользу старшего источника. Старшинство устанавливается (в порядке возрастания) следующим образом: собственная ЭВМ, правая соседняя ЭМ, левая соседняя ЭМ. Для младших направлений вырабатывается признак конфликта.

Конфликты в ПСИ являются следствием изменения настройки соответствующих ЭМ и рассматриваются как ошибки программирования. Они распознаются, если в одной из подсистем в момент пе -

ренастройки осуществляется взаимодействие по связям (1) и если в области, подвергавшейся перенастройке, имеется хотя бы одна из взаимодействующих ЭМ. Конфликт отмечается во взаимодействующих ЭМ признаком, доступным программе.

**К о н т р о л ь п е р е д а ч и.** Информация, передаваемая по связям (1) и (2), контролируется по четности. Обнаруженные ошибки при передаче вызывает выработку сигнала прерывания соответствующей ЭВМ. Реакция на возникновение ошибки передачи программная, определяемая настройкой ЭМ по В, источником ошибки (связи (1) и (2) и т.д.). Возникновение ошибки по связям (2) вызывает, кроме того, действия, предусмотренные для конфликтов между подсистемами ПС2.

#### Команды СУ

Для осуществления взаимодействий 1-5 вводятся команды, распознаваемые и выполняемые в СУ.

1. **О б м е н** реализуется командами "Прием" и "Передача". Команды обмена выполняются только в машинах, настроенных по В. Начальный адрес участка ОЗУ, используемого для приема (передачи), и величина принимаемого (передаваемого) массива задаются путем выполнения стандартных подпрограмм в ЭМ. ЭМ не может перейти к выполнению очередной системной команды до тех пор, пока не выполнит прием (передачу) заданного количества слов.

2. **С и н х р о н и з а ц и я** осуществляется для настроенных по В машин с помощью команды "Синхронизация". Для синхронизации вырабатывается обобщенный признак  $\Omega$ , который равен конъюнкции признаков  $\omega$  от всех (настроенных по В) ЭМ подсистемы ПСИ. С этой целью по команде "Синхронизация" из ЭМ выдается в Б $\Omega$  значение индивидуального признака  $\omega = 1$ .

Синхронизация считается осуществленной, когда в ПСИ  $\Omega = 1$ . Значение  $\Omega = 1$  поступает в ЭМ как программно доступный сигнал готовности к продолжению работы.

3. **О б о б щ е н н ы й у с л о в н ы й п е р е х о д (ОУП)** выполняется по команде "ОУП". В качестве переменной для данного взаимодействия используется значение обобщенного признака  $\Omega$ . Для выделения времени, в течение которого код

на выходах  $B\Omega$  станет соответствовать значению признака  $\Omega$ , перед выполнением рассматриваемого взаимодействия необходима синхронизация. Команда "СУП" подобна команде "Синхронизация". Однако здесь значение  $\omega$  соответствует выработанному лашинной значению индивидуального признака перехода.

4. **Обобщенный безусловный переход** (ОБП) используется для передачи управления в (настроенных по В) машинах подсистемы ПСИ по адресу, который задается из машины, выполняющей команду "ОБП". Последняя реализуется с помощью блока обмена. После установки адреса передачи управления в Р2 настроенные по В машины получают сигнал прерывания. Вызываемая программа прерывания обеспечивает прием содержимого Р2 в ЭМ и передачу управления по заданному I5-разрядному адресу. При выполнении обобщенного безусловного перехода возможна косвенная адресация любой глубины.

Привычный способ задания СФ позволяет в каждой подсистеме ПСИ иметь не более двух ЭМ, информация из которых выдается через блоки обмена и доступна всем машинам подсистемы. Только эти ЭМ могут выполнять команды "Передача" и "ОБП". Такими машинами являются соседние ЭМ, у которых направления приема по связям (I), задаваемые кодом СФ, противоположны.

5а. **Настройка машины** осуществляется с помощью одной из двух команд: "Настройка из ЭМ" и "Настройка из PI". Последняя команда выполняется, если выставлен признак готовности PI. Признак готовности поступает в ЭМ как условие для передачи управления.

5б. **Настройка системы** производится при помощи 4-х модификаций команды "Настройки ОВС", определяемых направлением (влево или вправо) и характером (с изменением РН или с выработкой готовности PI) настройки. Для настроившейся ЭМ настройка системы представляет операцию групповой выдачи.

5в. Содержимое РН может быть считано в определенные ряды рабочих регистров ЭМ по команде "Перепись РН".

Групповые операции передачи и приема, реализуемые при обмене и настройке системы, выполняются в режиме приостановки ЭМ на время обращения к ОЗУ в соответствии с алгоритмом работы КПДП.

Системное устройство реализуется в виде отдельного модуля, включаемого в состав АСВТ-М. Оно представляет из себя модифицированный КПДП, три выхода которого на сопряжение 2К используются для связи процессора М-6000 с быстрыми внешними устройствами, а один - для осуществления системных взаимодействий.

#### Математическое обеспечение ОВС

Математическое обеспечение общего назначения (МО) для ОВС, как и для любой современной ЭВМ, состоит из управляющей системы (УС) и системы программирования (рис.5).

Основные свойства МО ОВС: независимость от числа ЭМ в системе, функциональная идентичность при реализации на любой машине, изменяемость и пополняемость компонент, обеспечение режима коллективного пользования ОВС.

МО разрабатывается в рамках единых требований, накладываемых УС, главными задачами которой являются следующие: обеспечение связи с внешним миром, рациональное использование ресурсов ОВС (в частности, продолжение счета при выходе ЭМ из строя).

Программируемость связей между ЭМ позволит образовывать в системе различные по своей топологии и составу подсистемы и специфицировать режимы работы для них. Выделяются режимы автономной работы (РАР), пакетной обработки (РПО), профилактики (РН), диспетчера (РД).

В РАР обеспечивается непосредственная связь пользователя с ЭМ (а через нее и со всей системой): возможность счета, трансляция, отладки, сегментирования, редактирования и т.п. на одной машине; доступ к системной информации; формулирование заданий системе; связь пользователей, работающих за разными терминалами. Роль терминалов здесь могут играть сами мини-машины, причем "Символьный редактор", "Отладчик" и "Основная управляющая система" М-6000 могут использоваться без изменений или со сравнительно небольшими доработками.

В РПО обеспечивается выполнение параллельных программ. УС при этом реализует два вида работы: групповое обслуживание решения потока задач в целом и обслуживание решения одной зада-



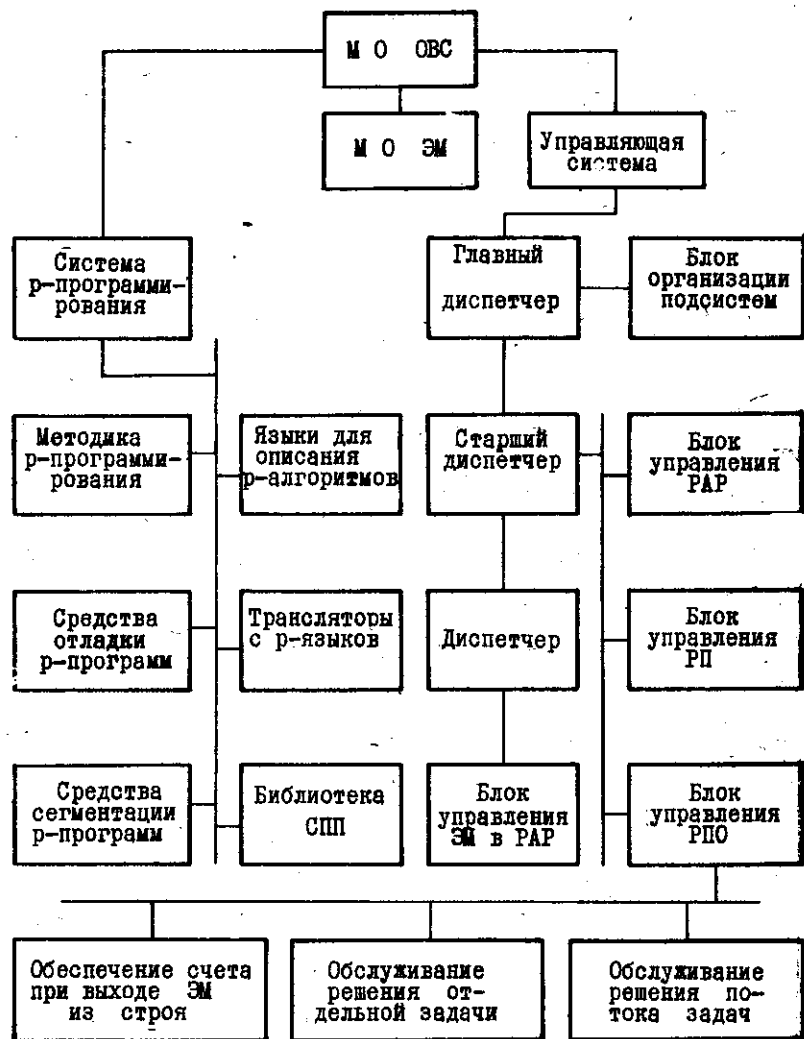


Рис. 5. Состав математического обеспечения ОВС

чи, занимающей собой некоторую часть подсистемы. Первый вид обслуживания позволяет разбивать подсистему на части в зависимости от ситуации и снабжать их задачами. Второй вид обслуживания состоит в контроле за выполнением каждой программы и в обеспечении продолжения счета при выходе ЭМ из строя.

В РП обеспечивается проверка ЭМ программными и (или) аппаратными средствами. В РД реализуются функции управления системой. УС может быть представлена иерархической структурой с единицами, условно обозначенными как "главный диспетчер", "старший диспетчер", "диспетчер".

Первый управляет разбиением ОВС на подсистемы и заданием режимов работы для них, второй - режимом в определенной подсистеме, третий - автономной работой ЭМ. Диспетчеры могут размещаться либо в выделенных машинах подсистемы, либо во всех ЭМ, если они представлены параллельными программами.

Для разработки и подготовки параллельных программ (р-программ) к счету необходимы: языки для описания параллельных алгоритмов; средства отладки, ориентирование на работу с одной ЭМ; библиотека стандартных р-программ (СПП); средства сегментирования программы и т.д.

Использование методики крупноблочного распараллеливания [2,8,11] в качестве основы системы программирования позволит создавать МО ОВС на базе МО ЭМ. Например, языки и трансляторы для реализации параллельных алгоритмов можно разработать [8] на базе Мнемокода, Алгола и Фортрана для М-6000 путем введения в них операторов, осуществляющих команды взаимодействия ЭМ.

Запись параллельных алгоритмов в виде совокупности идентичных ветвей позволяет отлаживать р-программы в основном на одной ЭМ. Добавление в "Отладчик" М-6000 блока моделирования системных взаимодействий позволит использовать его и для ОВС.

Одновременное выполнение р-ветвей не требует обязательного хранения соответствующей программы целиком в каждой машине. Для экономии памяти программу р-ветви можно разделить на сегменты и распределять их между машинами, предоставляя всем ЭМ только тот сегмент, который реализуется в данный момент.

## Заключение

Принципы, положенные в основу ОВС МИНИМАКС, позволяют сравнительно простыми средствами строить системы с произвольным числом мини-машин.

Связь между машинами ОВС осуществляется через системное устройство (СУ), которое реализуется в виде модуля АСВТ-М. Расчеты показали, что сложность СУ при больших функциональных возможностях сравнима со сложностью соответствующего устройства для системы "Минск-222" [5]. Стоимость СУ невелика по сравнению со стоимостью мини-машины.

Эффективность ОВС МИНИМАКС обеспечивается за счет программируемости структуры, возможности передачи данных или программы из памяти передающей машины непосредственно в память любого числа принимающих машин и за счет введения аппаратных средств распознавания рода передаваемой информации (данные, программа, служебные сигналы). При выполнении передач информации в транзитных машинах используется оборудование только системного устройства. Ни памяти, ни процессоры этих машин во взаимодействии не участвуют.

Системное математическое обеспечение создается на базе математического обеспечения мини-ЭВМ. Сложность программирования для ОВС близка к сложности программирования для ЭВМ.

Рассмотренная ОВС существенно расширяет область применения мини-машин. Становится возможным решение достаточно сложных задач, так как быстродействие ОВС МИНИМАКС -  $10^6$  -  $10^8$  опер/сек.

## Л и т е р а т у р а

1. БВРЕЙНОВ Э.В., КОСАРЕВ Ю.Г. О возможности построения вычислительных систем высокой производительности. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962.

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

3. ИГНАТЬЕВ М.Б., ФЛЕЙШМАН Б.С., ХОРОШЕВСКИЙ В.Г., ШЕРБАКОВ О.В. Надежность однородных вычислительных систем. - "Вычислительные системы", Новосибирск, 1972, вып. 48, стр. 16-47.

4. БВРЕЙНОВ Э.В., ЛОПАТО Г.П. Универсальная вычислительная система "Минск-222". - "Вычислительные системы", Новосибирск, "Наука" СО, 1966, вып. 23, стр. 13-20.

5. ЛОПАТО Г.П., ВАСИЛЬЕВСКИЙ А.Н., ПЫХТИН В.Я., СИДРИСТЫЙ Б.А., ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Системное устройство элементарной машины вычислительной системы "Минск-222". - "Вычислительные системы", Новосибирск, "Наука" СО, вып. 23, стр. 35-68.

6. ГУМЕНСКОВ В.Н., ЗАВРИД Л.М., КАЗУНИК В.А., КОСАРЕВ Ю.Г., САВИК Н.П. Усовершенствованные системы команд вычислительной системы "Минск-222". - "Вычислительные системы", Новосибирск, 1970, вып. 42, стр. 74-80.

7. ПРИЖАЛКОВСКИЙ В.В. "Минск-2/22" - базовая машина для однородных универсальных систем. - "Вычислительные системы", Новосибирск, "Наука" СО, 1966, вып. 23, стр. 21-34.

8. "Вычислительные системы". Новосибирск, 1967, вып. 24; 1968, вып. 30; 1970, вып. 42.

9. ЗУЕВ А.Ф., ДМИТРИЕВ Ю.К., ШУМ Л.С. Линейная однородная цифровая управляющая система. - Труды симпозиума "Вычислительные системы", Новосибирск, "Наука", 1967, стр. 38-43.

10. ШУМ Л.С., ДМИТРИЕВ Ю.К., ТОМИЛОВ Ю.Ф., ПОТАПОВА Ю.Н. Управляющая линейная однородная вычислительная система. - "Вычислительные системы", Новосибирск, 1970, вып. 39, стр. 89-106.

11. КОСАРЕВ Ю.Г. Опыт решения задач на системе "Минск-222". - Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам. Новосибирск, "Наука" СО, 1968, стр. 70-74.

12. RILEY W.B. Minicomputer networks - a challenge to mainframe computers? - "Electronics", 1971, N 29, p.56-62.

13. FRIDMAN J. Minicomputer timesharing filling the cost gap. - "Data Processing Magazine", 1971, vol.13, N 13, p.26-30.

14. Мультипроцессор фирмы "Дэйта дженерал". - "Электроника", 1970, № 11, стр. 86.

15. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Методы распознавания и их применение. М., "Сов. радио", 1972.

16. "Радиоэлектроника в 1967 году", М., 1968, т. VI, стр. 13-14.

17. RILEY W.B. Wanted for the 70s; easier-to-program computers. - "Electronics", 1971, N 19, p.61-84.

18. ЗАВЬЯЛОВ Ю.С. Применение вычислительных систем для решения сложных задач проектирования в машиностроении. - "Вычислительные системы", Новосибирск, 1970, вып. 38, стр. 3-22.

19. SLOTNICK D.L. The Fastest computer. - "Scientific American", 1971, Feb., p.76-87.

20. РЕЗАНОВ В.В., ВИНУКОВ В.Г., ИТЕНБЕРГ И.И., КОСТЕЯНСКИЙ В.М., ЛЕХНОВА Г.М. Новый набор агрегатных модулей - дальнейшее развитие системы АСВТ. - Труды НИИ УВМ, Северодонецк, 1970, вып. 2.

Поступила в ред.-изд. отд.  
10.IV.1972 г.