

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МНОГОМАШИННЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

В.И. Радунский

Описывается структура экспериментального многомашинного вычислительного комплекса из девяти процессоров.

Рассматриваются особенности построения общедоступной памяти, системы связи и элементарного вычислительного устройства, а также возможности организации различных многопроцессорных режимов.

В последние годы развитие вычислительной техники характеризуется все возрастающим интересом к созданию многомашинных вычислительных систем-комплексов [1]. Это объясняется стремлением, во-первых, получить более высокую производительность без улучшения частотных свойств элементов, во-вторых, повысить эксплуатационную надежность вычислительной системы за счет возможности передачи задач с вышедшей из строя машины на исправную. Многомашинные вычислительные системы находят самые различные области применения.

Описываемый экспериментальный многомашинный вычислительный комплекс (ЭМК) предназначен для моделирования параллельно протекающих процессов; решения вычислительных задач, представленных параллельными программами; управления физическим экспериментом в реальном масштабе времени; изучения эффективности

объединения нескольких электронных вычислительных машин (ЭВМ) в единый комплекс при решении задач различных классов. ЭВМК позволяет изучать влияние размещения командной и числовой информации в общедоступном оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) на производительность комплекса; оценить средние производительности как отдельных ЭВМ, так и комплекса в целом при различных стратегиях разрешения конфликтов в случае обращения нескольких ЭВМ к общим командным и информационным массивам; разработать параллельные алгоритмы различных задач (в частности, матричных) и оценить эффект распараллеливания и т.д.

Технические решения отдельных компонент ЭВМК были обусловлены заданным предельным объемом оборудования.

На рис. 1 представлена блок-схема структуры ЭВМК. В состав ЭВМК входят:

универсальная управляющая серийная ЭВМ ВНИИЭМ-3;

системное вычислительное устройство (СВУ);

дополнительное оперативное запоминающее устройство;

В состав комплекса ЭВМ ВНИИЭМ-3 входят:

центральный процессор ВНИИЭМ-30;

универсальный аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователь ВНИИЭМ-31, предназначенный для управления физическим экспериментом;

канал связи ВНИИЭМ-313;

комплект устройств ввода-вывода: телетайп РТА-50-2, ленточный перфоратор ПД-20, скоростное фотосчитывающее устройство ВНИИЭМ-34;

блок прерывания ВНИИЭМ-302;

пульт управления центральным процессором ВНИИЭМ-32.

Системное вычислительное устройство состоит из:

восьми элементарных вычислительных устройств (ЭВУ);

восьми элементарных оперативных запоминающих устройств (ЭЗУ);

восьми блоков связи (БС);

группового пульта управления (ЦПУ).

Входящие в СВУ устройства сгруппированы в восемь комплектов, в каждом из которых имеется по одному ЭВУ, ЭЗУ, БС. Такой комплект представляет собой вычислительную машину, которая может работать как независимо от других, так и во взаимодействии

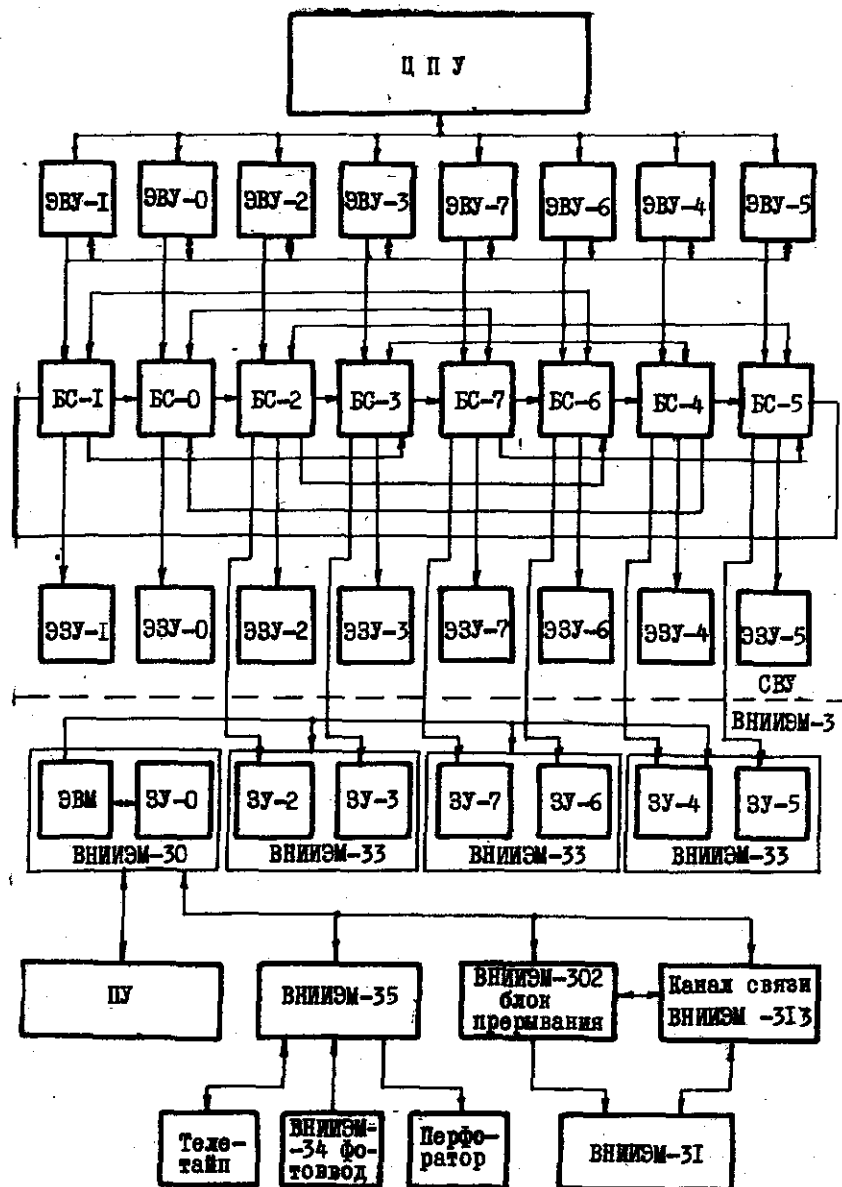


Рис. 1. Блок-схема ЭВМК

с ними. Три оперативных ЗУ ВНИИЭМ-33 образуют дополнительное оперативное запоминающее устройство. ЭВМ ВНИИЭМ-33 и СВУ могут использоваться как независимо друг от друга, так и в составе ЭМВК.

Основные технические характеристики ЭМВК определяются составом и структурой СВУ, организацией связей между отдельными компонентами СВУ и системными характеристиками ЭВУ. Работа СВУ как единого целого обеспечивается как системой связи между отдельными компонентами ЭМВК, так и наличием дополнительной аппаратуры в ЭВУ, необходимой для совместной работы их в ЭМВК, а также введением специальных команд, которые обеспечивают режим многопроцессорной работы, взаимное управление и подчинение ЭВУ.

#### Общие технические данные ЭМВК

Количество процессоров равно девяти (центральный процессор ВНИИЭМ-30 с производительностью 40 тыс. опер/сек и восемь ЭВУ с производительностью 70 тыс. опер/сек каждый).

Оперативное ЗУ состоит из 7 блоков по 4К 24 - разрядных слов с временем цикла 10 микросек (из них 6 блоков доступны всем ЭВУ, а один - только центральному процессору) и из восьми блоков по 1К 12-разрядных слов, доступных всем ЭВУ.

Числа представлены в форме с фиксированной запятой. Обработка чисел в режиме с плавающей запятой осуществляется по подпрограммам. Длина операндов переменная: 12, 24 и 48 разрядов.

Система команд одноадресная и полумноадресная (под полумноадресными командами понимаются команды, в которых указываются только младшие разряды адреса). Особенностью системы команд является также автоматическая модификация и интерпретация команд и наличие команд взаимодействия. В качестве регистров модификации могут использоваться любые ячейки ОЗУ.

Характеристики устройств ввода-вывода и системы прерывания ЭМВК определяются соответствующими устройствами ВНИИЭМ-3.

СВУ реализовано конструктивно на базе системы элементов и конструктивов машины ВНИИЭМ-3.

ЭМВК питается от трехфазной сети 220В, 50 Гц и требует мощности около 36 кВт.

#### Структура связей ЭМВК

Связи между БС-0 + БС-7 (рис. 2) образуют модифицированный  $P_n$  граф<sup>\*</sup> ( $n = 3$ ). Такой граф позволяет при соблюдении заданных ограничений на аппаратные затраты свести до одной число транзитных вершин при организации связи между любыми двумя вершинами.

Блок связей, находящийся в данной вершине, оказывается в этом случае связанным с четырьмя другими БС непосредственно, а с тремя остальными - транзитно. БС каждой вершины связан с соответствующими ЭВУ и ЗВУ и, кроме того, с блоком дополнительного ОЗУ того же номера. Исключение составляют БС-0 и БС-1, у которых соответствующие связи остаются свободными.

Передача информации по непосредственным связям может осуществляться как по направлениям стрелок, так и против них, а по транзитным связям - только по направлениям стрелок.

Блок связей обеспечивает одновременное обслуживание запроса из собственного (то есть имеющего тот же номер) ЭВУ и из других БС, если эти запросы обращены к различным блокам ЗУ. Возможна также одновременная работа данного БС по обслуживанию транзитной связи и запроса ЭВУ к одному из модулей ЗУ, относящемуся к данному БС. Два таких примера для БС-2 приведены на рис. 3. Остальные запросы, относящиеся к одному и тому же БС, обслуживаются поочередно в соответствии с избранной дисциплиной обслуживания.

#### Организация памяти

Весь информационный объем ЗУ имеет сквозную адресацию. Полный 16-разрядный адрес позволяет обращаться к 64К 12-разрядных слов. Старшие три разряда адреса обозначают либо номер блока дополнительного ЗУ, либо указывают, что данный адрес относится к ЗВУ (в этом случае в следующих трех разрядах указывается номер ЗВУ).

<sup>\*</sup>  $P_n$  - графом [1] называется граф с  $2^n$  вершинами, каждой из которых инцидентно  $n$  дуг. В модифицированном  $P^n$ -графе [2] каждой вершине инцидентно  $(n+1)$  дуг.

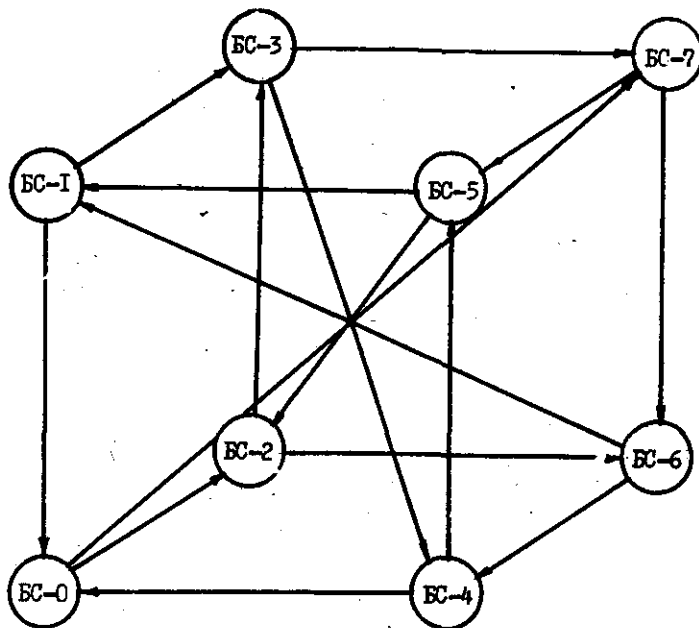


Рис. 2. Структура связей ЭМВК

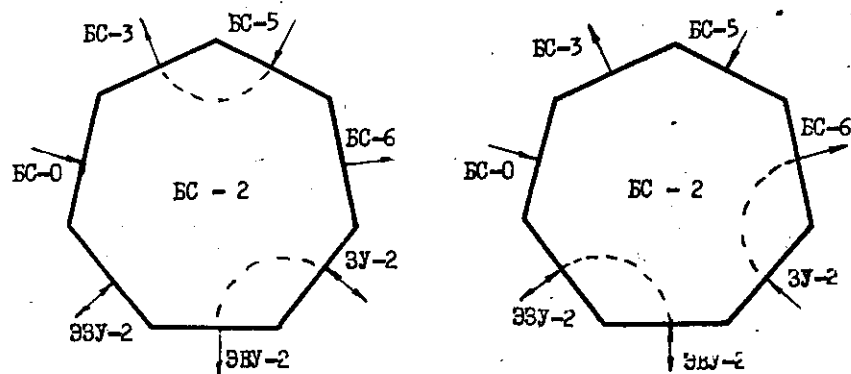


Рис. 3. Примеры одновременной работы блоков связи

Поскольку числовая информация в оперативной памяти размещается массивами, то использование только полных адресов несет в себе избыточность, которую можно сократить, указывая в команде лишь младшие разряды адреса (в этом случае старшие разряды полагаются известными). Этот прием позволил сократить формат многих команд до 12 разрядов, что значительно улучшило эффективность использования информационной емкости ЗУ. Из 12 разрядов команды в шести указываются младшие разряды адреса. Остальные 10 разрядов заранее программным путем заносятся на хранение в регистр поля адреса (РПА).

Модификация адреса возможна как при указании в команде полного адреса, так и при использовании полуадресных команд. В обоих случаях длина модификатора — 12 разрядов. Если учесть, что длина операнда может быть 12, 24 и 48 разрядов, то наибольшая длина массива, обрабатываемого модификатором, составляет соответственно  $2^{12}$ ,  $2^{11}$  и  $2^{10}$  слов. Общедоступность ЗУ при микроспроцессорной работе потребовала введения защиты памяти. Это осуществлено путем разбиения каждого модуля ЗУ на четыре сегмента, каждому из которых поставлен в соответствие четырехразрядный ключ защиты. Для ЗЗУ размер сегмента — 256 слов, для блоков дополнительного ЗУ — 1024 слова. Каждое обращение ЭВУ к ЗУ сопровождается контрольным кодом, хранящимся в программно-управляемом регистре контроля памяти (РКП). При совпадении контрольного кода с ключом защиты обращение к данному сегменту разрешается. В случае несовпадения различаются три ситуации, когда ЭВУ обращается в ЗУ для чтения операнда, команды и записи результата. Чтение операнда из защищенного сегмента разрешается, но при этом после окончания операции происходит прерывание, передающее управление программе-диспетчеру. Чтение команды из защищенного сегмента также разрешается, но выполнение ее блокируется и производится прерывание. При несовпадении ключа и контрольного кода блокируется запись информации и происходит прерывание.

Нулевое значение ключа сегмента означает, что к нему разрешены обращения ЭВУ с любыми значениями контрольного кода. Если содержимое РКП ЭВУ равно нулю, то допустимы обращения в сегменты с любым значением ключа.

Описанный механизм защиты включается только в том случае, если установлен в "1" специальный триггер защиты, управляемый программно.

### Особенности ЭВУ

ЭВУ подробно описано в [3]. Здесь рассматриваются лишь особенности ЭВУ, которые связаны с использованием их в режимах многопроцессорной и групповой работ.

Наиболее эффективной областью использования многомашинных комплексов являются задачи, вычисления в которых сводятся к обработке матриц. В этом случае отдельные процессоры осуществляют одинаковую обработку различных массивов данных, то есть последовательность команд, выполняемых различными процессорами, совпадают до модификатора (либо базисного регистра).

Для реализации такого режима работы вычислительного комплекса, называемого режимом ОКМД (одиночный поток команд, множественный поток данных), в ЭВУ предусмотрены так называемые регистры состояния (RtC), управляемые как программно, так и по взаимодействию ЭВУ. Каждому ЭВУ присвоен свой физический номер. Если содержимое RtC ЭВУ совпадает с его физическим номером, то данное ЭВУ считается "ведущим". В противном случае оно считается "ведомым" и получает команды через общий канал из ведущего ЭВУ. Ведущее ЭВУ самостоятельно читает команды из ОЗУ и передает их своим ведомым при включенном триггере групповой работы. Выдача очередной команды в общий канал производится после получения ответа от всех ведомых о выполнении предыдущей команды. Таким образом, в режиме ОКМД осуществляется покомандная синхронизация [1]. Переход ЭВУ в режим ведущего происходит:

- а) при начальной установке ЭМБК в исходное состояние,
- б) при возникновении прерывания в данном ЭВУ,
- в) по команде "внешний запуск",
- г) при разбеге данной группы ЭВУ на две подгруппы вследствие различных условий передачи управления.

Случай г) возникает, если в группе ЭВУ при выполнении команды передачи управления часть ЭВУ имеют признак передачи управления, отличный от признака, выработанного в ведущем ЭВУ.

При этом ЭВУ, имеющее наименьший физический номер, становится ведущим в данной подгруппе.

Если у ведущего ЭВУ нет ведомых, то общий канал им не используется.

Ограничений на количество и состав групп ЭВУ не существует.

В ветвящихся программах, а также при распределенном диспетчировании возникают ситуации, в которых необходимо запретить исполнение команды более, чем одним процессором. Для обеспечения такой возможности предусмотрены специальные команды анализа и переключения флажка. Процессор по прочтении такой команды анализирует положение флажка и приступает к ее выполнению только в том случае, если он открыт. В противном случае возникает прерывание. Процессор, выполняющий эти команды, занимает общий канал и препятствует другим процессорам выполнять этот же участок программы.

Таким образом, имеются два предельных режима работы СВУ: совместной работы группы из восьми ЭВУ (ОКМД) и независимой работы всех восьми ЭВУ (МКМД). Все промежуточные разбегания ЭВУ на группы также являются режимами МКМД с той особенностью, что внутри каждой группы осуществляется режим ОКМД.

### Система ручного управления и индикации

Управление ЭМБК осуществляется с двух пультов управления: пульта ВНИИЭМ-32 и группового пульта управления СВУ с индикационным табло (мнемосхемой).

На групповом пульте имеются переключатели, кнопки, клавишные регистры, необходимые для управления компонентами СВУ, а также элементы, индицирующие состояние основных регистров и узлов управления ЭВУ.

В каждый данный момент времени органы управления группового пульта и его элементы индикации подключены к тому ЭВУ, номер которого набран на специальном клавишном регистре пульта. Исключение составляет группа информационных клавишных регистров, к которым ЭВУ обращаются как к ячейкам памяти. Если запрос на чтение содержимого этих регистров одновременно возник

накт от разных ЭВУ, то обеспечивается их поочередное обслужи-  
вание электронным блоком группового пульта. На пульте имеется  
кнопка, нажатие которой вызывает прерывание программы, выпол-  
няемой в ЭВУ, и передачу управления команде, адрес которой наб-  
ран на панели управления. После выполнения этой команды ( или  
подпрограммы, начинающейся с нее) осуществляется автоматический  
возврат к месту прерывания. Это удобно для контроля работы ЭМБК  
в динамике, так как позволяет выполнять любые подпрограммы, не  
останавливая ЭВУ.

Мнемосхема индицирует состояние системы связи: направле-  
ние запросов, фазу их обслуживания, занятость блоков связи и  
т.д.

Кроме того, ЭВУ, ЭЗУ и БС имеют инженерные пульта управле-  
ния, используемые при профилактических работах.

#### Заключение

Описанный экспериментальный многомашиный комплекс в на-  
стоящее время находится в опытной эксплуатации. Несмотря на  
сравнительно низкочастотную систему элементов, на ЭМБК была до-  
стигнута предельная производительность около 600 тыс. опер/сек.

Разработанная система связи типа модифицированного  $P_n$ -  
графа обеспечила общедоступность ЭЗУ при минимальных временных  
затратах и заданных ограничениях на объем аппаратуры и позволи-  
ла исключить дублирование информационных массивов в памяти.

Дополнение системы команд командами взаимодействия и вве-  
дение в состав элементарных вычислительных устройств дополни-  
тельной аппаратуры позволили реализовать в ЭМБК как режим оди-  
ночной работы ЭВУ, так и многопроцессорные режимы ОКМД и МКМД.

Автор выражает глубокую благодарность Григоровичу А.Ф. и  
Попову А.А., принимавшим активное творческое участие в разра-  
ботке логической структуры ЭМБК, а также Златникову В.М., Коз-  
лову Е.А., Калмыкову П.И., Максименко Ю.Н., Полубояринову И.М.  
и Удалову Л.Б., которые внесли основную тяжесть технического  
проектирования и наладки комплекса.

#### Л и т е р а т у р а

1. ЕВРЕИНОВ Э.В., КОСАРЕВ Ю.Г. Однородные универсальные  
вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск,  
"Наука" СО, 1966.
2. ГРИГОРОВИЧ А.Ф. Система связи многомашиного вычисли-  
тельного комплекса. -Данный сборник, стр.116-126.
3. ПОПОВ А.А. Элементарное вычислительное устройство эк-  
спериментального многомашиного вычислительного комплекса. -Дан-  
ный сборник, стр.108-115.

Поступила в ред.-изд.отд.  
15. II. 1972 г.