

### 7.3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА "МИНСК-222"

Интерес к практической реализации вычислительных систем с программируемой структурой постоянно проявлялся, начиная с 60-х годов 20 столетия. Первоначально он поддерживался, прежде всего необходимостью проверки теоретических основ построения ВС, необходимостью отработки архитектурных решений и функциональной структуры ВС, а также параллельных вычислительных технологий. Позднее возрастающую роль стала играть утилитарная компонента целей создания ВС, а сейчас эта компонента превалирует над исследовательской. Последняя обосновывается потребностью в ВС, обладающих высокой производительностью и живучестью.

Работы по проектированию ВС, основанных на принципах коллектива вычислителей, были начаты в Институте математики (ИМ) Сибирского отделения АН СССР в 1964 г. Вскоре в ИМ СО АН СССР было организовано и мини-производство вычислительных систем.

В данном параграфе будет описана первая ВС с программируемой структурой "Минск-222". В проекте "Минск-222" были отработаны архитектурные, технические и программные решения, значительная часть из которых была "канонизирована" разработчиками не фон-неймановских вычислительных средств. Описание архитектуры системы "Минск-222" будет сделано с полнотой, достаточной для учебных целей.

Система "Минск-222" была разработана и построена Отделением вычислительной техники ИМ СО АН СССР совместно с Конструкторским бюро завода им. Г.К. Орджоникидзе Министерства радиопромышленности СССР (г. Минск). Руководитель работ по созданию ВС "Минск-222" – Э.В. Евреинов; основные разработчики: В.Г. Хорошевский, Б.А. Сидристый, Г.П. Лопато (1924; член-корреспондент РАН с 1979 г.), А.Н. Василевский. Работы по проектированию ВС "Минск-222" были начаты в 1965 г., а первый её образец был установлен в апреле 1966 г. в Институте математики АН БССР. Системы "Минск-222" были смонтированы в нескольких организациях Советского Союза и эксплуатировались более 15 лет.

#### Архитектура "Минск-222":

- МIMD-архитектура, распределённость ресурсов;
- параллелизм, однородность, программируемость структуры;
- одномерная (кольцевая) топология;
- масштабируемость: 1–16 элементарных машин (ЭМ);
- быстродействие:  $\Omega = A \cdot N \cdot \omega$ ,  
 $N$  – число ЭМ,  $\omega$  – быстродействие одной ЭМ,  
 $A \geq 1$  (при крупноблочном распараллеливании сложных задач);
- использование промышленных ЭВМ второго поколения.

#### 7.3.1. Функциональная структура ВС "Минск-222"

По своей структуре ВС "Минск-222" относилась к одномерным (точнее, кольцевым) системам (рис.7.8). Для связи между элементарными машинами в ВС использовались двусторонние каналы. Количество ЭМ в системе могло изменяться в пределах от 1 до 16. Каждая ЭМ имела свой абсолютный номер  $i \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ , где число ЭМ в системе,  $N \leq 16$ .

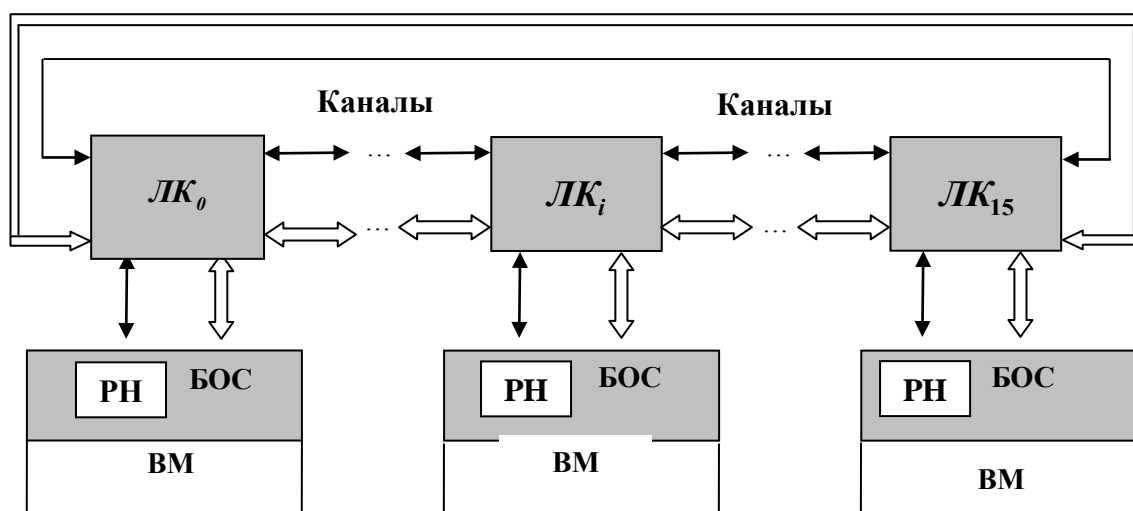


Рис. 7.8. Функциональная структура системы “Минск-222”:

$\longleftrightarrow$  – рабочий канал,      $\longrightarrow$  – управляющий канал

ЛК – локальный коммутатор, БОС – блок операций системы, РН – регистр настройки,  
 ВМ – вычислительный модуль

Элементарная машина состояла из вычислительного модуля (ВМ) и системного устройства (СУ). В качестве ВМ были использованы серийные ЭВМ “Минск-2” или “Минск-22”, выпускавшиеся заводом им. Г.К. Орджоникидзе (г. Минск). Указанные ЭВМ имели одну и ту же архитектуру и были не только совместимы, а по сути являлись конфигурациями одной и той же двухадресной машины. Машина “Минск-22” в сравнении с ЭВМ “Минск-2” обладала магнитной памятью удвоенной ёмкости (8К 37-разрядных слов) и имела дополнительный набор устройств ввода-вывода информации.

Обращаем внимание читателей на то, что подход к построению параллельных ВС, ориентированный на применение серийных ЭВМ, был впервые применён в Сибирском отделении АН СССР [3], а не за рубежом (см., например, разработки 70-х годов Университета Карнеги-Меллона, параграфы 6.2 и 6.6, а также современные кластерные ВС).

В состав системного устройства входили локальный коммутатор (ЛК) каналов связи и блок операций системы (БОС). Коммутатор  $ЛК_i$  состоял из клапанов, которые открывали или закрывали канал связи, идущий к соседней справа ЭМ, т.е. к коммутатору  $ЛК_j$ , где  $j = i + 1(\text{mod } N)$ . (Запись  $j(\text{mod } N)$  означает число  $j$  по модулю  $N$ ). Клапаны управлялись сигналами, поступающими из блока операций системы.

Блок операций системы включал в себя регистр настройки (РН) и узел, реализующий системные команды. Содержимое РН определяло вид соединительной функции коммутатора и степень участия элементарной машины при системных взаимодействиях. Регистр настройки состоял из трёх разрядов:  $TR, TQ, T\Omega$ .

Триггер  $TR$  позволял разбивать систему на функционально изолированные подсистемы. Для того чтобы образовать подсистему из машин с номерами  $i + 1(\text{mod } N), i + 2(\text{mod } N), \dots, i + m(\text{mod } N)$ , где  $m \leq N$ , достаточно было в разряды  $TR$  регистров настройки элементарных машин  $i$  и  $i + m(\text{mod } N)$  и машин  $i + 1(\text{mod } N), i + 2(\text{mod } N), \dots, i + m - 1(\text{mod } N)$  записать соответственно единицы и нули.

Триггеры  $TQ$  и  $T\Omega$  конкретизировали степень участия машин в выполнении некоторых системных команд. В частности, триггеры  $T\Omega$  использовали для выделения машин, участвовавших в выработке обобщённого признака  $\Omega_k, k = 1, 2, 3$ , который управлял ходом вычислений. Признак

$$\Omega_k = \bigwedge_{i \in E} \omega_{ki}, \quad k = 1, 2, 3, \quad (7.1)$$

где  $E$  – подмножество номеров машин, управлявших ходом вычислений (т.е. отмеченных единицей в разряде  $T\Omega$ ),  $E \subset \{0, 1, \dots, N-1\}$ ; признаки  $\omega_{ki}$  вырабатывались ЭМ с номером  $i$ , причём  $\omega_{1i} = 1$ , если знак последнего вычислительного результата был меньше нуля,  $\omega_{2i} = 1$ , если происходило переполнение,  $\omega_{3i} = 1$ , если последний вычислительный результат арифметико-логического устройства был равен нулю. В конфликтных ситуациях приоритет имела машина с меньшим номером.

Системное устройство было реализовано на 80 стандартных элементах и составляло менее 1,5% объёма оборудования арифметико-логического устройства и устройства управления ЭВМ “Минск-22”.

### 7.3.2. Системные команды ВС “Минск-222”

К системным относят команды, обеспечивающие функциональную целостность множества элементарных машин как коллектива. С другой стороны, системные команды – это средства для организации и реализации параллельных вычислительных процессов, в частности, обменов управляющей информацией и данными между ветвями параллельной программы (см. 3.3). Набор системных команд ВС “Минск-222” составляли *команды настройки, обмена, обобщённых безусловного и условного переходов*. В методическом плане целесообразно дать детальное описание системных команд.

Команды в ЭВМ “Минск-222” представлялись 37-разрядными двоичными числами и имели следующую структуру:

0	1 ...	6	7 ...	12	13 ...	24	25 ...	36
$\pm$	КОП	$\Theta$	A1	A2				

где  $\pm$  КОП – код операции,  $\Theta$  – 6-разрядное поле, два разряда которого определяли номер блока памяти, а 4 остальных – адрес индекс-ячейки, A1 и A2 – соответственно первый и второй адреса.

1. **Команда настройки (Н): – 01 00A1A2.** Команда **Н** имела три модификации: **Н<sub>0</sub>**, **Н<sub>1</sub>**, **Н<sub>2</sub>**, отличавшиеся содержанием  $a_{29}$  и  $a_{34}$  соответственно 29-го и 34-го разрядов (табл. 7.3).

Модификация **Н<sub>0</sub>** изменяла содержимое только *PH* той ЭМ, в которой она находилась и записывала по A1 прежнее содержимое *RQΩ* регистра настройки, содержимое *P* триггера режима округления и значение  $\omega_3$  – признака нуля. Модификация **Н<sub>2</sub>** выполняла всё, что и **Н<sub>0</sub>**, и, кроме того, изменяла содержимое триггеров режима округления и признака  $\omega_3$ .

Модификация  $\mathbf{H}_1$  изменяла содержимое регистров настройки тех ЭМ подсистемы, которые были отмечены единицами в её соответствующих разрядах. Соответствие между разрядом  $j$  ( $13 \leq j \leq 28$ ) команды  $\mathbf{H}_1$  и номером  $i$  настраиваемой ЭМ определялось формулой  $j = i + 13$ . Ни при каких условиях команда  $\mathbf{H}_1$  не могла изменять содержимое  $PH$  той ЭМ, в которой она выполнялась.

Информация, предназначенная для  $PH$ , являлась содержимым  $a_{31}, a_{32}, a_{33}$  разрядов 31, 32, 33 команды  $\mathbf{H}$ . При выполнении  $\mathbf{H}$  настроечная информация либо засылалась в  $PH$  без изменения (при  $a_{30} = 0$ ), либо поразрядно логически складывалась с содержимым  $PH$  при ( $a_{30} = 1$ ). При выполнении  $\mathbf{H}_2$ , кроме того, засылались  $a_{35}$  и  $a_{36}$  в триггеры режима округления и признака  $\omega_3$  соответственно.

При выполнении  $\mathbf{H}_0$  и  $\mathbf{H}_2$  предыдущее содержимое  $R, Q, \Omega, P, \omega_3$  запоминалось соответственно в разрядах 31, 32, 33, 35, 36 ячейки памяти с адресом  $A1$ ; остальные разряды этой ячейки содержали нули.

Итак, с помощью команд  $\mathbf{H}_0$  и  $\mathbf{H}_2$  осуществлялась *самонастройка* элементарной машины, а с помощью  $\mathbf{H}_1$  – настройка из данной ЭМ остальных машин ВС. Следовательно, команды  $\mathbf{H}_0, \mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2$  – это средства самонастройки вычислительной системы. С помощью этих команд программировались структура ВС (связность машин, т.е. канал межмашинных связей) и участие каждой ЭМ в выполнении системных функций. Они позволяли разбивать систему по подсистемы, а значит и создавать “среду” для мультипрограммной обработки данных.

2. **Команды обмена** – это команда передачи ( $\Pi$ ): –  $56\ 00\ l\ \alpha$  и команда приёма ( $\Pi P$ ): –  $57\ 00\ h\ \beta$ . Команда  $\Pi$  (табл. 7.4) предназначалась для выдачи из передающей ЭМ в канал связи  $l$  кодов, начиная с кода, расположенного в ячейке  $\alpha$  памяти. После передачи  $l$  кодов в передающей ЭМ выполнялась очередная команда. По команде  $\Pi P$  осуществлялся приём из канала  $h$  кодов в ячейки  $\beta, \beta + 1, \dots, \beta + h - 1$  оперативной памяти принимающей ЭМ. Приём из канала разрешался лишь при условии, что в него поступило очередное слово из передающей ЭМ. Машина, выполнявшая команду приёма, могла приступить к выполнению следующей команды только после приёма  $h$  кодов. В случае  $h > l$  ЭМ находилась в состоянии приёма, пока не поступали остальные  $h - l$  кодов. Очевидно, что перед началом обмена требовались настройка межмашинного канала и синхронизация.

Такой способ организации обменов информацией между машинами подобен функционированию радио- и телепередающих систем. В самом деле, передатчик осуществляет безадресную выдачу информации в эфир (передающая ЭМ направляет данные в межмашинный канал без указания адресов ЭМ), а приём этой информации из эфира будет выполняться только теми приёмниками, которые настроены на частоту электромагнитных волн передатчика (а приём данных из канала будет реализовываться только теми ЭМ, которые выполняют команду приёма).

Предлагаемый способ реализации межмашинных обменов информацией не зависит от числа ЭМ в системе и позволяет избежать трудностей с адресацией машин. Это особенно важно для ВС с массовым параллелизмом. Как уже отмечалось ранее, современные ВС обладают, в частности, двумя свойствами:

- большемасштабности (число элементарных машин в системе может иметь порядок  $10^6$ ),

- масштабируемости (архитектура ВС должна быть рассчитана на переменное число ЭМ, в современных условиях в пределах от 10 до  $10^6$ ).