



О структурных решениях в проекте ЭВМ 5Э53 *(Научноисследовательский институт дальней радиосвязи)*

В статье рассмотрены структурные особенности модулярной ЭВМ 5Э53, новые идеи и принципы построения ЭВМ и ее устройств, реализованные в проекте, которые позже получили широкое применение в вычислительной технике.

Шестидесятые и семидесятые годы прошлого века были, пожалуй, самыми плодотворными для вычислительной техники. Именно в это время были разработаны лучшие в архитектурном отношении ЭВМ и системы, обладающие рядом новшеств в области систем счисления, структурных методов построения, новшеств в области повышения надежности, обеспечения эффективных методов управления вычислениями и программирования.

Такой прогресс объяснялся тем, что в условиях “холодной войны” средства вычислительной техники требовались в первую очередь министерству обороны для реализации сложных автоматизированных локационных систем и систем управления различными видами вооружения.

Министерство обороны вынуждено было предъявлять по тем временам к разработчикам вычислительных средств предельные и за-

предельные требования по производительности, объемам памяти, надежности, средствам автоматизации программирования.

Коллектив, работающий под руководством Д.И. Юдицкого, должен был заниматься проектированием именно таких вычислительных средств в условиях отсутствия в стране развитой элементной базы (логических элементов, элементов памяти и т.д.), средств автоматизации проектирования, а самое главное – в отсутствии теоретически и практически обоснованных методов построения эффективных устройств.

К началу разработки одной из таких ЭВМ (5Э53) существовали ЭВМ с быстродействием до нескольких тысяч операций в секунду. Требовалась же производительность до 10 млн. алгоритмических операций в секунду, объем ОЗУ – не менее 10 Мбит, ППЗУ – до 3 Мбит, развитая аппаратура передачи данных на удаленные объекты. Эти требования были выполнены. Их удалось реализовать только благодаря коллективному подходу к разработке проекта, от систем счисления до элементной базы.

ЭВМ 5Э53 была прежде всего оригинальной по своей системе счисления – системе остаточных классов (СОК), благодаря которой ряд арифметических операций (типа сложения и умножения), а также процедур вычисления элементарных функций удавалось реализовать за один машинный такт (166нс), равный времени выборки данных из малоразрядной таблицы. Этот машинный такт определял предельное быстродействие ЭВМ. Чтобы достичь показателей требуемой производительности, нужно было обеспечить непрерывную работу арифметики. Это значит, что все операции выборки команд, их дешифрации, модификации адресов и чтения и записи операндов не должны были замедлять работу арифметики. Достичь этого удалось путем применения всевозможных методов совмещения времен выполнения различных операций.

В ЭВМ 5Э53 впервые появились:

- параллельно работающие арифметические блоки в АУ;
- отдельные тракты выборки команд и работы с данными;
- индексная арифметика, работающая параллельно с АУ;
- расслоение памяти;
- эффективные средства выполнения команд условных

переходов;

- буферные устройства, у которых каждый такт работы элемента буфера был равен машинному такту.

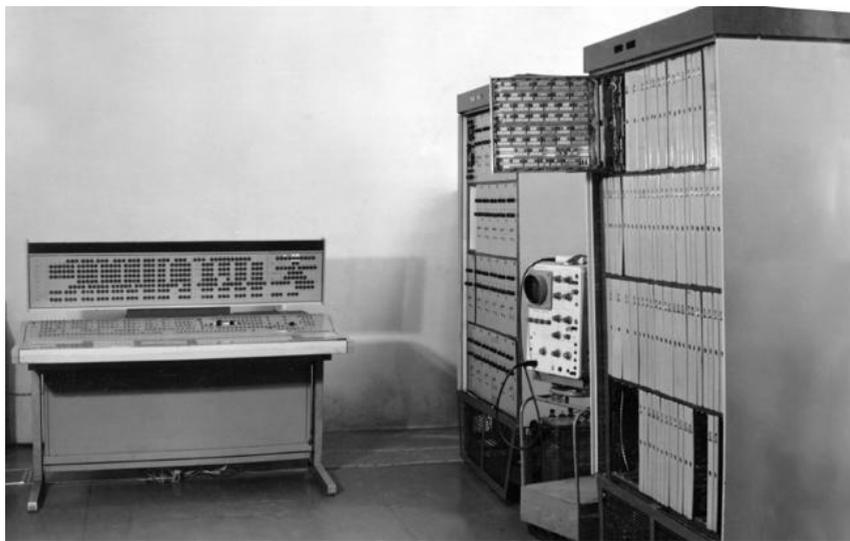
Все эти нововведения предварительно оценивались по объему оборудования и их влиянию на быстродействие ЭВМ. Вначале интуитивно выбранные способы потребовали своего теоретического обоснования и обобщений. Так был сделан вывод о том, что все виды совмещений в исполнении операций разделяются на два: совмещение в виде конвейера (трубопровода) и совмещение в виде параллелизма. В первом случае процесс исполнения сложной операции (или множества операций) осуществлялся на последовательно соединенных, а во втором – на несвязанных друг с другом и независимо работающих операционных блоках.

Очевидно, что в случае конвейера быстродействие устройства зависело от самого медленного операционного блока, а задержка одной операции в конвейере – от числа таких блоков. В случае параллелизма быстродействие зависело не столько от времени работы отдельного блока, сколько – от числа этих блоков в устройстве, а на задержку операции, кроме времени работы одного блока, существенно влияли средства коммутации операционных блоков.

Возникли задачи поиска методов эффективной загрузки таких устройств, вообще говоря, связанными друг с другом множествами операций.

Для решения задач удалось привлечь и развить существовавшие методы в экономике (транспортная задача, задача коммивояжера, задача загрузки двух станков) и ряд других методов исследования операций (теория расписаний, теория графов, теория массового обслуживания, математическое моделирование). В результате для каждого метода организации устройств (параллелизма и трубопровода) были найдены эффективные алгоритмы распараллеливания множества операций. С их помощью строились оптимальные, или близкие к оптимальным, расписания для выполнения множества несвязанных или связанных операций на заранее заданном количестве операционных блоков, а также определялось количество таких блоков, которое целесообразно иметь для реализации того или иного вида совмещения.

Применительно к ЭВМ 5Э53, в зависимости от решаемой задачи, в качестве операционных блоков рассматривались процессорные модули, предназначенные для выполнения так называемых модульных и немодульных операций СОК, блоки оперативной памяти, БЗУ – регистровое быстродействующее запоминающее устройство и так далее. Множество операций определялось алгоритмами вычисления элементарных функций, пересчета координат, матричными задачами и так далее, то есть задачами, выбранными из алгоритмов специального программного обеспечения ЭВМ. Так для арифметического устройства было установлено, что для его эффективной работы достаточно иметь один модульный процессор и два немодульных. Было показано, что введение в состав ЭВМ БЗУ увеличивает ее быстродействие на 45%.



Фрагмент макетного образца ЭВМ "5Э53"

Появление в ЭВМ двух независимых трактов: тракта выборки команд и тракта операндов позволило осуществлять выборку команд из полупостоянной памяти, работающей с тактом 150нс, а работу с операндами организовать по принципу трубопровода. В его состав входило ОЗУ, выполненное по принципу аппаратного расслоения.

Идея такого расслоения впервые была предложена в неосуществленном проекте IBM-360/92. В соответствии с методом расслоения ОЗУ разбивается на некоторое число отдельных блоков (в 5Э53 их

было восемь), а запись и чтение данных, расположенных в последовательных адресах ОЗУ, осуществляется в соседние блоки памяти. Благодаря такой организации ОЗУ времена чтения и записи операндов удалось существенно приблизить к машинному такту.

На стадии проектирования ЭВМ был проработан, а потом частично реализован способ повышения вычислений за счет команд условных переходов. Именно при исполнении этих команд, когда условие перехода выполнялось, возникали существенные ожидания в вычислениях, так как все буферы, в которых находились подготовленные команды и данные, необходимо было ликвидировать и начать их заполнение с новых адресов. Для реализации был выбран вариант анализа одновременно двух ветвей программы: одна в предположении, что условие перехода не выполнится, другая – на оборот. Этот подход оказался весьма эффективным. В дальнейшем на этом пути (уже не у нас) появился КЭШ команд, особенно эффективный при реализации циклов.

В заключение следует заметить, что многие структурные решения, найденные в далеком прошлом разработчиками различных ЭВМ, успешно развиваются и эксплуатируются в составах современных ЭВМ и процессорных чипах.