



## **Высокопроизводительная модулярная ЭВМ «Алмаз»**

*(НИИ Физических проблем, Зеленоград)*

Справка о результатах разработки эскизного проекта высокопроизводительной ЭВМ «Алмаз» подготовлена 6 марта 1966 г. главным конструктором ЭВМ Юдицким Д.И. для генерального директора Центра микроэлектроники (Зеленоград) Ф.В. Лукина для доклада на конкурсной комиссии, рассматривающей эскизные проекты ЭВМ «М-9» (М.А. Карцев) и «Алмаз». Конкурс выиграл проект «Алмаз» (С.А. Лебедев снял свой проект с рассмотрения).

Справка представлена в факсимильном варианте, выполненном по подлиннику, сохранившемуся в семейном архиве Федора Викторовича Лукина и любезно предложенном его сыном, Владимиром Федоровичем Лукиным.



Юдицкий Д.И. и Лукин Ф.В

## С П Р А В К А

Решением ЦК КПСС и Совета Министров СССР и решением ВПК на Научный Центр /Дукин Ф.В./, Институт точной механики и вычислительной техники МРП /Лебедев С.А./, Научно-исследовательский институт управляющих машин МПСА /Карцев М.А./ была возложена разработка вычислительных средств для территориальной системы ПРО страны /представление эскизных проектов в I кв.1967 г./

В точном соответствии с установленным сроком 30 марта 1967 г. Научный Центр представил Министерству Обороны эскизный проект /шифр "Алмаз"/ вычислительной машины, удовлетворяющей исходным данным Генерального Конструктора.

Анализ направлений развития вычислительной техники показывает, что применением одной только "грубой силы" - увеличением рабочих частот элементов - нельзя решить проблему достижения высокой производительности, тем более что повышение частотности элементов - это сложная физическая, техническая и технологическая проблема.

Поиски новых путей повышения эффективности выполнения арифметических операций в вычислительных машинах привели исследователей к заключению, что в рамках обычной позиционной системы значительного достижения в ускорении арифметических операций добиться почти невозможно. Те или иные отдельные приемы и усовершенствования алгоритмов выполнения операций, способствуя более рациональной организации арифметических устройств, оставляют все же производительность машины в пределах одного и того же порядка. Выход за эти пределы требует привлечения новых идей, новых методов организации, новой логики и новой арифметики.

Генеральной идеей повышения эффективной производительности цифровой вычислительной машины является идея параллелизма - распараллеливание процессов обработки, а также распределение работы для одновременного параллельного выполнения по отдельным устройствам и машинам, в связи с чем возникло направление создания многомашинных систем.

Весьма перспективным вариантом указанной идеи параллелизма является распараллеливание не на уровне алгоритмов обработки, а на уровне элементарных операций, т.е. разбиение обрабатываемых слов на малые части и параллельное выполнение элементарных операций над этими частями.

В этом плане необходимо было найти соответствующие теоретико-арифметические концепции, определяющие характер разбиения слова на части и способы их параллельной обработки. Такой концепцией является теория непозиционных систем счисления, созданная и разрабатываемая в Научном Центре.

Проведенные в последние годы исследования, позволили построить разнообразные системы счисления с той или иной степенью позиционности, частными их случаями являются известные в настоящее время в вычислительной технике системы.

Рассматривая целое число  $N$ , как значение полинома  $N$ -го порядка с целыми коэффициентами при некотором значении  $X$ , можно принять, что та или иная система счисления и характер выполнения в ней операций определяется способом задания этого полинома.

Задание полинома своими значениями в  $N + 1$  точках приводит к системе счисления, в которой число задается совокупностью значений представляющего полинома в выбранных  $N + 1$  точках /компонен-

ты числа/ и выполнение рациональных операций над числами в этом представлении сводится к независимому выполнению этих операций над соответствующими компонентами.

В частном случае это представление приводит к системе остаточных классов.

Задание полинома своими значениями и значениями своих производных в некоторых точках приводит к системе счисления, в которой числе задается совокупность значений представляющего полинома и его производных /компоненты/ и выполнение рациональных операций над числами в этом представлении сводится к выполнению этих операций над соответствующими компонентами /сложение - независимо умножение - в соответствии с формулой Лейбница и т.п./

Частным случаем этого представления, когда заданы значение полинома и его  $N$  - производных в одной точке является обычная позиционная система счисления. Многочисленные исследования, начавшиеся в начале 60-х годов и продолженные К. Шенноном, проведенные за последнее десятилетие, убедительно показали, что возможно построение таких систем передачи информации, в которых за счет специального кодирования может быть создан иммунитет против самых разнообразных случайных искажений несущих информацию сигналов.

Развитие теории кодирования позволило совершенствовать практику конструирования более надежных вычислительных систем.

Разработанные ранее методы помехозащищенного кодирования оправдали себя при транспортировке и хранении информации, но в силу своей неарифметичности оказались не в состоянии обеспечить эффективное исправление ошибок, возникающих при выполнении арифметических операций. Попытки введения контроля и исправления оши-

бок при обработке информации в рамках позиционной системы приводит к существенному усложнению аппаратуры контроля, а неравноправность информационных и контрольных частей кодов не позволяет использовать одну и ту же аппаратуру для защиты контрольных частей кодов.

В результате проведенных исследований было установлено, что в непозиционных системах могут быть построены самокорректирующиеся коды, позволяющие восстанавливать истинные результаты вычислений по цене элементарных операций, если во время этих вычислений имели место какие-либо искажения.

Была построена теория специального кодирования в непозиционных системах, позволяющая введением минимальной избыточности в представление слова, осуществлять исправление возникающих ошибок методами близкими к исправлению по смыслу на основе анализа последовательные получавшихся слов в процессе обработки.

Применение методов специального кодирования значительно увеличивает функциональную надежность вычислительных машин и позволяет создавать "живучие" машины, сохраняющие работоспособность при выходе из строя значительной части оборудования.

Таким образом, требования Генерального Конструктора оказались возможным удовлетворить 1/ за счет использования разработанной в Научном Центре теории непозиционных систем исчисления, позволяющей добиваться высокой производительности на основе широкого распараллеливания выполнения элементарных операций и максимальной надежности в силу специфических самокорректирующих способностей непозиционных систем; 2/ за счет использования микротехнологии изготовления системы логических элемен-

тов и основных блоков и узлов вычислительной машины, удачно сочетающейся со спецификой непозиционных систем. Разработка машины проведена на основе системы логических элементов типа "Посол" со средним временем распространения порядка 25-30 наносекунд.

В эскизном проекте дан подробный анализ задач, решаемых многоканальными стрельбовыми комплексами /МКСК/ системы "Аврора", разработана структура вычислительного комплекса для управления МКСК на базе вычислительной машины "Алмаз", приведено теоретическое обоснование построения базовой машины со следующими тактико-техническими характеристиками:

1. Алгоритмическая производительность - 3,5+4,0 млн. операций в секунду
2. Адресность - 2 адреса
3. Принцип действия - параллельный
4. Диапазон представления чисел -  $\pm 2^{\pm 30}$
5. Предусмотрена возможность вычисления значения специальных функций в качестве элементарной команды.
6. Предусмотрена возможность работы со словами переменной длины.
7. Предусмотрена возможность параллельной обработки малоразрядной информации.
8. Предусмотрена возможность режима с плавающим диапазоном.
9. Введена система аппаратного функционального контроля, автоматически обнаруживающего и исправляющего ошибки, возникающие не только при хранении и транспортировке информации, но и при ее обработке её в арифметическом устройстве при минимальной аппаратурной избыточности, благодаря чему обеспечена надежность работы и коэффициент боеготовности - 0,9999.

10. Система памяти - двухступенчатая. Быстродействующая ступень - буферная память объемом 32 слова 55 разрядных.

11. Объем оборудования - 11 шкафов, каждый из которых 1750x800x550, пульт управления, внешние устройства.

12. Занимаемая площадь	- 80 + 100 м <sup>2</sup>
13. Потребляемая мощность	- 5 квт
14. Система вентиляции	- автономная на каждый шкаф
15. Стоимость серийной машины	- 2,6 млн.руб.
16. Стоимость опытного образца	- 4,2 млн.руб.
17. Стоимость разработки до 1971 г. включая стоимость опытного образца	- 20 млн.руб.

В эскизном проекте был проведен анализ поступления информации от радиолокационных устройств. В результате для обеспечения ввода в машину огромного потока первичной информации и для предварительной ее обработки было создано оригинальное непрограммируемое устройство - преобразователь информации, осуществляющий в высоком темпе прием и обработку радиолокационной информации и свертывание ее в небольшой по объему массив информации. Выполняемая преобразователем информации обработка эквивалентна выполнению 4 млн. алгоритмических операций в секунду и экономит около 3 млн. бит емкости накопителя. Таким образом, суммарная производительность вычислительной машины "Алмаз" с приданным ей преобразователем информации составит 8 млн. алгоритмических операций в секунду на задачах обработки радиолокационной информации.

В разработке эскизного проекта ЭВМ "Алмаз" участвовали следующие организации Научного Центра: НИИ Физических Проблем, НИИ Точной Технологии, НИИ Точного Машиностроения. В этом проекте

нашли отражение результаты работы этих институтов в течение последних 3 лет.

Эскизные проекты, разработанные в соответствии с указанными выше постановлениями на протяжении II и III кв. 1967 г. рассматривались следующими организациями: 4-ое Главное Управление МО, НИИ-2 МО, СНИИ-45 МО, ОКБ "Вымпел" МРП.

Эскизный проект ЭВМ "Алмаз" был признан этими организациями выполненным на высоком научно-техническом уровне, удовлетворяющим требованиям Генерального Конструктора и принят Генеральным Конструктором в качестве базовой машины для системы управления многоканальным стрельбовым комплексом системы "Аврора".

В августе 1967 г. была создана Государственная комиссия по системе территориальной ПРО, на которой был успешно защищен эскизный проект ЭВМ "Алмаз".

Наряду с разработкой эскизного проекта и по настоящее время предприятия Научного Центра проводили макетирование основных элементов, узлов, блоков и несущих конструкций.

НИИ Точного Машиностроения разработал макет типовых несущих конструкций машины, в НИИ Точной Технологии разработана и изготовлена первая партия элементов "Посох" и единичные типовые ячейки ЭВМ "Алмаз", в НИИ Физических Проблем промоделированы некоторые методы организации арифметического устройства машины.

Однако в Научном Центре почти не проводилась разработка запоминающих устройств. Эскизный проект базируется на запоминающих устройствах, изготавливаемых в настоящее время отечественной промышленностью, мало удовлетворительных для высокопроизводительных вычислительных машин как с точки зрения требуемых параметров, так и с технологической точки зрения. Охарактеризуем вкратце состояние разработки высокопроизводительных вычислительных

средств за рубежом.

Ведущие фирмы США:

*IBM, Control Data Corporation, Radio Corporation of America, Burroughs, Philco, Spaggy Rand Corporation, Scientific Data Systems*

и др. ведут большую работу по созданию высокопроизводительных вычислительных систем.

Характерной чертой этих фирм является сочетание разработок логики и структуры вычислительных машин с разработкой новых микрорезисторных элементов и запоминающих устройств иначе говоря полной разработкой всего комплекса от элементов до готовой аппаратуры.

По данным " *Computers and Automation* " /январь 1967гг/ на конец 1966 г. в США были завершены разработки вычислительных машин, наиболее производительные из которых характеризуются следующими параметрами:

Фирма	Модель	Быстродействие в сложениях/сек	Быстродействие элементов
<i>IBM</i>	360/75	1 млн	5 нсек
<i>CDC</i>	6600	2,5 млн	10 нсек
<i>Philco</i>	2000/212	1,5 млн	5 нсек
<i>Burroughs</i>	B 5500	0,3 млн	20 нсек
<i>Spaggy Rand</i>	II08	1,2 млн	5 нсек

Указанные цифры быстродействия ЭВМ подсчитываются по времени выполнений одной из самых коротких арифметических операций — операции сложения. Эффективная алгоритмическая производительность тех же ЭВМ оценивается, в среднем, с коэффициентом 0,6.

Таким образом, по алгоритмической производительности только ЭВМ "СДС-6600" переходит за I миллион алгоритмических операций в секунду.

Естественная тенденция развития вычислительной техники в США направлена на разработку все более высокопроизводительных машин, в первую очередь, для задач противоракетной обороны страны. Так, в Объединенной системе ПРО "Mogad" используется комплекс вычислительных машин "Philco 2000/212", параметры которых приведены выше.

Сведений о составе вычислительных средств новой системы ПРО, на которую США предполагает затратить 5млрд. долларов /"Правда" от 23 сентября 1967 г/ не имеется.

Реализация эскизного проекта требует осуществления ряда организационных мероприятий, и, в первую очередь, создания специализированной организации в составе Научного Центра по проведению исследований в области системотехники.

Существующая форма организации /отдел в НИИФП/ не соответствует требованиям и задачам создания вычислительных комплексов для управления средствами ПРО и проведения системотехнических работ, необходимых для успешного развития микроэлектроники в нашей стране.

## П Р И Л О Ж Е Н И Е

Создание высокопроизводительных отечественных вычислительных комплексов тормозится главным образом отсутствием быстродействующих запоминающих устройств ЗУ. В настоящее время в СССР сложилось крайне тяжелое положение в области разработок и, в особенности, в производстве ЗУ с малым временем обращения /менее 1 мксек/ и большой емкости /сотни тысяч слов/. Проблема повышения быстродействия ЗУ остро стоит перед советскими разработчиками и она несомненно будет разрешена. Но для её решения потребуется достаточно большее время и значительные средства.

Следует отметить одно важное обстоятельство: если 10 лет назад параметры отечественных ЗУ и ЗУ, выпускавшихся в США, были почти идентичны, то в настоящее время мы отстаем уже на порядок /лучшие отечественные ЗУ имеют  $T_{обр} = 2$  мксек, а лучшие ЗУ в США имеют  $T_{обр} = 0,1$  мксек/. Аналогичное состояние наблюдается и в отношении емкостей ЗУ. Необходимо учесть также, что кривая темпов улучшения параметров ЗУ в США за последние 3-4 года резко пошла вверх.

В связи с этим представляется целесообразной закупка лицензий на технологию изготовления ЗУ с циклом обращения не более 1 мксек.

В качестве тех ЗУ, на которые целесообразно приобрести лицензии, можно указать следующие:

Фирма	Параметры		Литература
	время обра- щения в микросек.	Объем /тис. слов/	
<i>Philco</i> /США/	1,15	32-2000	Журнал
<i>Control Data Corporation</i> /США/	0,8±1,0	4-262	-"-
<i>Honeywell</i> /США/	1,0	16-262	-"-
<i>JBM</i> /США/	0,5	8,192	
<i>JBM</i> /США/	0,75	131-1048	
<i>Digital Equipment Corporation</i> /США/	0,9	4-32	
<i>PDP</i>			
<i>Spazzy Rand</i> /США/	0,375	16-131	
<i>Plassy</i> /Англия/	1,1-1,25	32-256	Проект на ВМ

отн. I экз.  
исп. Юдинский  
печ. Батова  
6.И.68г.