



Неизвестные модулярные супер-ЭВМ

(ОАО "Ангстрем")

В статье рассмотрена история зарождения модулярной арифметики в СССР. Приведена история разработки модулярных ЭВМ Е-340А и К-340А, их технические характеристики, информация о серийном производстве и некоторых применениях. Описана история создания модулярных ЭВМ "Алмаз" и "5Э53", некоторые особенности их архитектуры и технические характеристики. Дан краткий анализ причин, препятствовавших завершению подготовки серийного производства ЭВМ и повлекших за собой спад работ в стране в области системы остаточных классов (СОК).

Истоки модулярной арифметики

Первым в стране в конце 50-тых годов на систему счисления остаточных классов (СОК) обратил внимание Федор Викторович Лукин. Один из ведущих теоретиков в области СОК и активных участников ее практического применения, доктор технических наук, профессор, академик НАН Казахстана Вильжан Мавлютинович Амербаев вспоминает: *"Израиль Яковлевич Акушский рассказывал мне, что первую информацию о СОК он получил от Ф.В. Лукина в виде закрытой справки о работах в США. По словам Израиля Яковлевича, Федор Викторович считал СОК очень перспективным направлением развития вычислительной техники"*. Последующие

его действия подтверждают это – именно стараниями Ф.В. Лукина модулярная арифметика получила столь бурное и успешное развитие в стране, а с его уходом из жизни совпадает начало спада ее разработок.

Сопоставляя отрывочную информацию из разных источников, можно реконструировать эту историю следующим образом. Первым мысль о возможности применения СОК в вычислительной технике в 1955 г. в краткой статье высказал чехословацкий инженер М. Валах, его активно поддержал математик А. Свобода. Они и стали первопроходцами СОК. Их работами заинтересовались американцы, завязалось тесное сотрудничество, в результате которого Свобода и Валах через несколько лет переехали в США, где работы над модулярной арифметикой (основанной на СОК) были развернуты широким фронтом.

СОК

В системе остаточных классов каждое число, многоразрядное в позиционной системе счисления, представляется в виде нескольких малоразрядных позиционных чисел, являющихся остатками от деления исходного числа на взаимно простые основания. В обычной позиционной двоичной системе выполнение операций (например, сложение двух чисел) производилось последовательно по разрядам, начиная с младшего. При этом образуются переносы в следующий старший разряд, что и определяет поразрядную последовательность обработки. В СОК появилась возможность распараллелить этот процесс: все операции над остатками по каждому основанию выполняются отдельно и независимо (параллельно), следовательно, в связи с их малой разрядностью, легко и быстро. Малая разрядность остатков обеспечивает возможность реализации табличной арифметики, при которой результат операции не вычисляется каждый раз, а, однажды рассчитанный, помещается в запоминающее устройство (ЗУ) и, при необходимости, считывается из него. Т.е. операция в СОК при табличной арифметике и конвейеризации выполняется за один период синхронизирующей частоты (машинный такт). Проблемы возникают при переполнении диапазона представления чисел и округлении результата, на их решение и потребовалось масса сил и интеллекта ма-

тематиков.

Табличным способом, и тоже за один машинный такт, в СОК можно выполнять не только простейшие операции, но и представимые в виде полинома сколь угодно сложные функции, если результат не выходит за пределы диапазона представления чисел. Этим определяется одно из парадоксальных свойств модулярной арифметики: эффективная производительность модулярной ЭВМ может быть значительно, в разы, в десятки и сотни раз выше, чем у позиционной ЭВМ с той же тактовой частотой. Действительно, если операция, которая в обычной ЭВМ выполняется за 100 тактов, в модулярной ЭВМ выполняется за 1 такт, то и ее эффективная производительность на этих операциях, при прочих равных условиях, в 100 раз выше.

Введя дополнительные основания, получаем избыточность, обеспечивающую контроль и исправление ошибок в процессе выполнения операций. Это еще одно из важнейших преимуществ СОК (арифметичность) перед всеми позиционными системами: ни одна из них не позволяет находить и, тем более, исправлять ошибки в процессе выполнения арифметических операций. Наоборот, в арифметическом устройстве они, раз возникнув, бесконтрольно размножаются. В результате в ЭВМ всех времен и народов, работающих в традиционных позиционных системах числения, контроль и исправление ошибок (контроль на четность, избыточное кодирование, мажорирование и т.п.) обеспечиваются только в системах хранения и передачи информации. Арифметико-логические устройства – один из основных источников сбоев и ошибок в ЭВМ – остаются бесконтрольными. Сейчас, когда весь процессор размещается в одном кристалле БИС, это не столь критично. В те времена процессор занимал шкаф или несколько, содержал многие тысячи отдельных элементов и паяных контактов, а так же километры проводников – гарантированный источник различных помех и сбоев, причем бесконтрольных. Взяв под контроль эти источники сбоев и ошибок в процессоре, СОК резко повысил общую надежность ЭВМ К-340А и 5Э53 (о них ниже) по сравнению с современными им машинами.

Примерно в 1959 г. в КБ-1 (ныне ОАО "НПО "Алмаз") по закрытым каналам поступила справка об этих работах. Ф.В. Лукин, тогда главный инженер КБ-1, имеющий личный опыт разработки счетно-

решающих устройств и, особенно, их применения в крупнейших военных системах, сразу оценил перспективность этого направления. Но КБ-1 разработкой ЭВМ не занималось, и Федор Викторович направил заинтересовавшую его справку в СКБ-245 (в 1953 г. он был там председателем Госкомиссии по приемке ЭВМ "Стрела", первый экземпляр которой был установлен в КБ-1). Справка заинтересовала математика И.Я. Акушского и его начальника, ведущего разработчика ЭВМ Д.И. Юдицкого, ставших впоследствии основоположниками модулярной арифметики в СССР. Примерно в это же время поступила информация и из открытого источника. Вот как об этом вспоминает участник тех событий В.С. Линский: *"Примерно в 1957-58 г. (скорее всего в 1959 г.) начальник отдела НИЭМ" (СКБ-245) Э.А. Глузберг получил из Реферативного журнала АН СССР для подготовки реферата копию статьи чехословацких ученых А. Свободы и М. Валаха о представлении натуральных чисел группой вычетов по различным модулям и операциях с ними, позже названном СОК. Статья была написана на чешском языке и далека от научных интересов Э.А. Глузберга. Поэтому он поручил разобрататься с ней И.Я. Акушскому, а он, в свою очередь, попросил меня ознакомиться со статьей. Я перевел статью, для чего мне пришлось купить чешско-русский словарь (хранится у меня до сих пор) и изучил ее. Я пришел к выводу о нецелесообразности использования СОК в большинстве ЭВМ из-за низкой эффективности операций в ней с плавающей точкой. Однако И.Я. Акушский со мной не согласился и приступил к научным исследованиям СОК"*. Повидимому информация о работах в США и вызвала запоздалый интерес в АН СССР к статье, вышедшей в Праге еще в 1955г.

Полученная таким образом исходная информации, весьма краткая и поверхностная, дала старт научным исследованиям И.Я. Акушского и Д.И. Юдицкого. Первая в стране попытка осмыслить принципы построения модулярной ЭВМ (на основе СОК) была предпринята в 1959-1960 гг. в СКБ-245 Ю.Я. Базилевским, Ю.А. Шрейдером, И.Я. Акушским и Д.И. Юдицким, но не получила единого понимания – не все ее участники прониклись сутью СОКа. И когда в 1960 г. Ф.В. Лукин, недавно назначенный директором НИИ-37 ГКРЭ (позже НИИ ДАР), пригласил Д.И. Юдицкого и И.Я. Акушского для разработки ЭВМ, они согласились. Д.И. Юдицкий стал начальником отдела НИИ-37, а И.Я. Акушский – начальником лаборатории в этом отделе. Первой задачей Д.И. Юдицкого в НИИ-37 было завершение неудачной разработки ЭВМ "А-340А" для созда-

ваемых предприятием радиолокационных станций (РЛС), И.Я. Акушский, как ученый-теоретик, сразу занялся разработкой научных основ построения модулярной ЭВМ.

После успешного завершения работ над А-340А, возглавляемый Д.И. Юдицким коллектив в 1960-1963 гг. разработал первую в стране (а возможно и в мире) реально работавшую модулярную ЭВМ Т-340А для полигонного варианта РЛС Дунай-ЗУП системы противоракетной обороны (ПРО) А-35. Теория и практика варианта модулярной арифметики, принципы построения ЭВМ на их основе были разработаны И.Я. Акушским, Д.И. Юдицким и Е.С. Андриановым. Это была экспериментальная ЭВМ, изготовленная, отлаженная и реально проработавшая много лет в полигонной РЛС. Полученные результаты были использованы при проектировании ЭВМ К-340А, которая была освоена в серийном производстве и стала базовой для всех РЛС, разрабатываемых в те годы в НИИ-37. В этих ЭВМ впервые в стране был реализован принцип независимых каналов памяти команд и данных. Оперативная память была выполнена в виде 16 блоков емкостью по 1К слов. Каждый блок имел по два порта для ввода-вывода информации: с абонентами (с возможностью параллельного обмена с любым числом блоков) и с процессором. Для увеличения быстродействия было реализовано программное расслоения оперативной памяти с чередованием обращения процессора к блокам. Кроме того, была применена многовходовая буферная память для двухоперационных команд (в каждой команде выполнялось по две операции, каждая из которых в других ЭВМ того времени выполнялась в виде отдельной команды). Эти особенности построения системы памяти обеспечили высокую эффективность ЭВМ К-340А: задержек при обращении к памяти большого объема (бич ЭВМ тех лет) практически не было.

ЭВМ Т-340А и К-340А обладали невиданным в те времена быстродействием в 1,2 млн. двойных оп/с. или 2,4 млн. обычных оп/с. Типовое быстродействие ЭВМ в те времена измерялось десятками или сотнями тысяч оп/с. Это первая в мире ЭВМ с быстродействием более 1 млн. оп/с. И это была ЭВМ с самой низкой стоимостью единицы производительности – 25 коп за 1 оп/сек. Опытным заводом при НИИ-37 и Свердловским заводом радиоаппаратуры было выпущено более 50 ее комплектов. Только в РЛС "Дунай-ЗУ" работало 10 ЭВМ "К-340А". Благодаря высочайшей надежности и уникальным характеристикам ЭВМ К-340А до сих пор (2005 г., 40

лет!!!) находятся в эксплуатации, демонстрируя значительно более высокую живучесть, чем работающие рядом с ними другие, современные им, электронные системы.

1. ЭВМ «Т-340А» и «К-340А»

Разработка принципов построения ЭВМ в СОК и способов их реализации – И.Я. Акушкин и Д.И. Юдицкий.

Главный конструктор:

- Т-340А – Д.И. Юдицкий,
- К-340А – Д.И. Юдицкий, позже Л.В. Васильев.

Разработка, НИИ-37:

- Т-340А – 1960-1963гг.,
- К-340А – 1963-1966 гг.

Изготовители: опытный завод при НИИ-37 и Свердловский завод радиоаппаратуры, в 1966-1973 гг. выпущено более 50 комплектов.

Разрядность данных и команд – 45 бит.

Трехадresная, две операции в одной команде.

Система счисления – СОК с дополнительным основанием.

СОК – основания и занимаемые ими разряды слова:

Основания:

2; 5; 23; 63; 17; 19; 29; 13; 31; 61.

Разряды слова:

1; 2-4; 5-9; 10-15; 16-20; 21-25; 26-30; 31-34; 35-39; 40-45.

Производительность – 1,2 млн. двухоперационных команд/с (в общепринятом исчислении – 2,4 млн. оп/с).

Обнаружение ошибки в слове при выполнении операций в арифметическом устройстве.

Многовходовая буферная память – 16x45 бит.

ОЗУ данных – 16К 45-разрядных слов (720К бит),

ПЗУ команд – 16К 45-разрядных слов (720К бит).

Стоимость ЭВМ: – опытной – 1,2 млн. руб.,

– серийной – 0,6 млн. руб.

Стоимость единицы производительности – 25 коп/оп.

Элементная база – транзисторы, диоды, ферриты и т.п.
Потребляемая мощность – 33 кВт.
Размер шкафа – 600х700х1800 мм.
Количество шкафов – 12.

Зеленоградский Центр микроэлектроники

В начале 1963 г. Ф.В. Лукин был назначен директором организуемого в строящемся Зеленограде Центра микроэлектроники (ЦМ, позже Научный центр – НЦ). Оказавшись на переднем рубеже отечественной электроники, он решил соединить ее новые возможности с передовой для того времени мыслью в области вычислительной техники, проверенной им в НИИ-37 созданием модулярных супер-ЭВМ (под супер-ЭВМ будем понимать ЭВМ с рекордно высокими для своего времени характеристиками). Для этого Федор Викторович пригласил в ЦМ хорошо известный ему коллектив создателей ЭВМ Т340А и К340А во главе с Д.И. Юдицким и И.Я. Акушским. К этому времени ЭВМ Т-340А была разработана, изготовлена и настроена. Разработка проекта серийной ЭВМ К-340А, ее изготовление и отладка на опытном заводе НИИ-37 были завершены после ухода группы специалистов в Зеленоград оставшимся коллективом сотрудников под руководством Леонида Викторовича Васильева. А перешедшие в 1964 г. образовали отдел перспективных ЭВМ в предприятии п/я 2014 (позже НИИ Физических проблем – НИИ ФП, зам. директора Д.И. Юдицкий).

Вспоминает М.Д. Корнев: *«Однажды Д.И. Юдицкий сказал мне: «К завтрашнему утру нужен проект системы команд мощной ЭВМ в остаточных классах. Будем обсуждать его все вместе». Это было уже конкретное дело. Я просидел весь день и почти всю ночь и наутро принес готовый вариант системы команд. Давлет Исламович собрал в своем кабинете всех спецов, и началось подробнейшее обсуждение каждой команды. Обсуждения продолжались несколько дней, в результате появилась система команд мощной ЭВМ, работающей в СОК»*. Так началась работа по созданию новой высокопроизводительной модулярной ЭВМ. И когда появился заказчик, коллектив уже был готов к конкретному разговору.

Заказчик

В 1953 г. начались работы по созданию отечественной системы противоракетной обороны (ПРО), вылившиеся в разработку боевой Системы "А-35" для защиты московского промышленного района (генеральный конструктор Григорий Васильевич Кисунько, ОКБ «Вымпел», МРП). Но когда А-35 была уже практически разработана и в значительной степени изготовлена, в США появились межконтинентальные баллистические ракеты (БР) с разделяющимися боеголовками. А-35 бороться с такими БР не могла – в свое время ее заказчики не смогли предвидеть их появление. Было принято решение о модернизации А-35 и о создании ее второй очереди, т.е. о дополнении А-35 тремя принципиально новыми многоканальными стрельбовыми комплексами (МКСК) и была начата разработка и изготовления его полигонного варианта – МКСК "Аргунь". Главным конструктором (ГК) МКСК "Аргунь" Г.В. Кисунько назначил Николая Кузьмича Остапенко.

По предварительным оценкам для МКСК требовалась ЭВМ с производительностью около 3,0 млн. алгоритмических оп/с. Как вспоминает Н.К. Остапенко: «Одна алгоритмическая операция на задачах МКСК соответствовала примерно 3 , 4 простейшим операциям ЭВМ», т.е. в обычном тогда понимании требовалась ЭВМ с быстродействием около 10 (9 , 12) млн. оп/с. Такой ЭВМ тогда ни где не было. Лучшие на конец 1966 г. ЭВМ США обладали быстродействием в 4 – 12 раз меньшим требуемого для МКСК (таблица, подготовленная Д.И. Юдицким для доклада по защите проекта "Алмаз", о нем ниже):

Фирма	Модель	Быстродействие ЭВМ, млн. сложений/с	Быстродействие элементов, нс
IBM	360/75	1,0	5
CDC	6600	2,5	10
Philco	2000/212	1,5	5
Burroughs	B 5500	0,3	20
Sperry Rand	1108	1,2	5

Когда требования к ЭВМ прояснились, встал вопрос, где ее взять. В это время готовилось постановление ЦК КПСС и СМ СССР, вышедшее 5 ноября 1965 г., о создании эскизного проекта территориальной системы ПРО страны "Аврора" (как утверждает Г.В. Ки-

сунько в своей книге, навязанного ему вопреки его позиции о несвоевременности такого проекта). Но, для пользы дела, Григорий Васильевич включил в это же постановление и дополнительные поручения по созданию МКСК "Аргунь". В результате трем предприятиям: ЦМ (МЭП, Ф.В. Лукин), ИТМ и ВТ (МРП, С.А. Лебедев) и ИНЭУМ (Минприбор, М.А. Карцев) было дано конкурсное задание на разработку и для Авроры, и для Аргуни эскизных проектов высокопроизводительной ЭВМ со сроком окончания 30 марта 1967 года.

Так в Зеленограде началась разработка эскизного проекта супер-ЭВМ "Алмаз", главный конструктор (ГК) – Давлет Исламович Юдицкий.

Проект "Алмаз"

В соответствии с исходными данными Генерального конструктора ПРО к ЭВМ предъявлялись следующие требования: разрядность данных 45 бит, производительность 2,5 , 3,0 млн. алгоритмических оп/с, сложные функции в одной команде, работа со словами переменной длины, объем памяти 2^{17} 45-разрядных слов (5,625М бит) и т.п. Весьма не простые для тех времен требования.

Нельзя не отметить дружественный характер поведения конкурентов. У главных конструкторов М.А. Карцева и Д.И. Юдицкого были прекрасные человеческие отношения, распространившиеся и на их коллективы. Как вспоминает М.Д. Корнев: *"У нас и у Карцева проходили регулярные заседания НТС (научно-технический совет), на которых специалисты обсуждали пути и проблемы построения ЭВМ. На эти заседания мы обычно приглашали друг друга: мы ездили к ним, они – к нам. И активно участвовали в обсуждении"*. Это не мешало, а помогало им. Выбрав изначально разные стратегии в построении ЭВМ, они, таким образом, помогали друг другу в тактике их реализации.

К созданию ЭВМ "Алмаз" были привлечены все силы Зеленограда. На НИИ ФП возлагалась разработка архитектуры и процессора ЭВМ, на НИИ ТМ – базовой конструкции, системы питания и системы ввода/вывода информации, на НИИ ТТ – интегральных схем: в этом отношении проект Алмаз имел неоспоримое преимущество по сравнению с проектами С.А. Лебедева и М.А. Карцева, т.к. первые в стране интегральные схемы – новейшая элементная база,

создавалась здесь же, в Зеленограде и на процесс ее создания можно было влиять. Но элементная база всех проблем не решала. Огромное значение имело применение СОК. Вот что писал Д.И. Юдицкий в итоговой справке по проекту "Алмаз" в марте 1968 г.:

"В результате проведенных исследований было установлено, что в непозиционных системах могут быть построены самокорректирующиеся коды, позволяющие восстанавливать истинные результаты вычислений по цепи 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 последовательно получающихся 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;



Инженерный пульт управления ЭВМ "Алмаз"

2. За счет использования микроэлектронной технологии изготовления системы логических элементов и основных блоков и узлов вычислительной машины, удачно сочетающейся со спецификой не-

позиционных систем. Разработка машины проведена на основе системы логических элементов типа "Посол" со средним временем распространения порядка 25-30 наносекунд".



Ф.В. Лукин докладывает
Председателю Совета министров СССР А.Н. Косыгину
о разработке супер-ЭВМ «Алмаз» на основе модулярной арифметики.
(Слева направо: А.И. Шокин, Д.И. Юдицкий, А.Н. Косыгин, Ф.В. Лукин.
Сзади слева – шкаф макета «Алмаз»)

Наряду с применением модулярной арифметики был найден еще один архитектурный способ значительного увеличения общей производительности ЭВМ. Это было решение, широко применяемое позже в системах обработки сигналов – введение в систему процессора предварительной обработки сигнала. Но тогда это было новым словом в науке и технике. В состав ЭВМ Алмаз было введено три типа вычислительных процессоров.

- Узко специализированный непрограммируемый процессор предварительной обработки радиолокационной информации, названный в Алмазе Преобразователем информации (ПИ, в нынешней терминологии ПОС или ЦОС – процессор цифровой обработки сигналов).
- Программируемый модулярный процессор, выполняющий основную обработку данных.

- Программируемый двоичный процессор, выполняющий не модулярные операции, в основном, связанные с процедурами управления работой ЭВМ.

Информация от антенн радиолокатора (поток 30 тыс. 100-разрядных слов в секунду) подается на ПИ, проходит предварительную обработку в реальном темпе ее поступления, что исключает необходимость ее промежуточного хранения. Результаты этой обработки (их объем многократно меньше исходного) поступают на модулярный процессор. Расчеты показали, что предлагаемый ПИ имеет производительность, эквивалентную примерно 4,0 млн. алгоритмических оп/с и позволяет сэкономить около 3 миллионов бит памяти. Модулярный процессор ЭВМ Алмаз имеет производительность 3,5 млн. алг. оп/с. В результате эффективная производительность ЭВМ Алмаз составляет $3,5 + 4,0 = 7,5$ млн. алг. оп/с., т.е. в два-три раза выше требуемой. Эти расчетные данные были подтверждены результатами моделирования на универсальной ЭВМ.

Так в рамках единого проекта общими усилиями специалистов предприятий ЦМ под руководством и при непосредственном участии Ф.В. Лукина, Д.И. Юдицкого и И.Я. Акушского многие проблемы построения высокопроизводительной ЭВМ были решены и проверены на макетном образце ЭВМ "Алмаз".

ЭВМ «Алмаз»

Эскизный проект – март 1968 г.

Главный конструктор Д.И. Юдицкий, научный руководитель И.Я. Акушский.

Разработчик: Центр микроэлектроники МЭП, Зеленоград.

Разрядность данных и команд – 45 бит.

Диапазон представления чисел -2^{30} .

Производительность – 7,5 млн. алг. оп/с (в общепринятом исчислении – до 30 млн. оп/с).

- Система счисления остаточных классов (СОК) с дополнительным основанием.
- СОК – основания и занимаемые ими разряды слова:

Основания:

2; 5; 23; 63; 17; 19; 29; 13; 31; 61.

Разряды слова:

1; 2-4; 5-9; 10-15; 16-20; 21-25; 26-30; 31-34; 35-39; 40-45.

Обнаружение двойных и исправление одиночных ошибок при выполнении операций в арифметическом устройстве.

Адресность – двухадресная.

Вычисления значения специальных функций в качестве элементарной команды.

Работа со словами переменной длины.

Параллельная обработка малоразрядной информации.

Режим с плавающим диапазоном.

Объем памяти – 128К 45-разрядных слов (5,898 Мбит)

Быстрая буферная память – 32 55-разрядных слов.

Вероятность безотказной работы в течение 15 мин – 0,999.

Коэффициент готовности в установившемся режиме – 0,999.

Размер шкафа – 550x800x1750 мм.

Объем оборудования – 11 шкафов, инженерный пульт управления, внешние устройства.

Занимаемая площадь – 80-100 м².

Потребляемая мощность – 5 кВт.

Расчетная стоимость: – опытного образца – 4,2 млн. руб,

– серийного
образца – 2,6 млн. руб.

Эскизный проект был разработан и 30 марта 1967 г. представлен заказчику. Распоряжением Д.Ф. Устинова, в то время председателя Военно-Промышленной комиссии при Совмине СССР (ВПК), под председательством главного конструктора МКСК Н.К. Остапенко была создана Государственная комиссия для оценки эскизных проектов. Академик С.А. Лебедев, ИТМ и ВТ которого был и без того перегружен работами по Эльбрусу и БЭСМ, ознакомившись с другими проектами, снял свой вариант с рассмотрения. Осталось два проекта: "Алмаз" Д.И. Юдицкого и "М-9" М.А. Карцева.

Конкурс выиграла ЭВМ "Алмаз". К этому времени проект территориальной системы "Аврора" был отвергнут, но задача создания

МКСК "Аргунь" осталась. 20 мая 1967 г. ОКБ "Вымпел" и НЦ заключили договор на разработку высокопроизводительной ЭВМ "5Э53" и 5-машинного комплекса на ее основе с организацией серийного производства в Загорском электромеханическом заводе (ЗЭМЗ) и сдачей комплекса на противоракетном полигоне. Главным конструктором 5Э53 был назначен Д.И. Юдицкий. В октябре 1969 г. коллектив разработчиков ЭВМ был выделен в самостоятельное предприятие – Специализированный вычислительный центр (СВЦ), директор Д.И. Юдицкий, зам. по науке И.Я. Акушский.



Д.И. Юдицкий докладывает 1-му Зам. Председателя Госплана СССР В.М. Рябикову и первому секретарю МКК КПСС Н.Г. Егорычеву о разработке ЭВМ «Алмаз».

(Слева на право: Н.Г. Егорычев, В.И. Трифонов, Г.Я. Гуськов, В.М. Рябиков, В.В. Савин, Д.И. Юдицкий, А.И. Шокин. Сзади слева – шкаф ЭВМ «Алмаз»)

У проекта ЭВМ "М-9" М.А. Карцева была иная судьба. Он не победил в конкурсе и не был признан в родном Минприборе, отказавшемся от продолжения работ по созданию мощных ЭВМ. Коллективу М.А. Карцева было предложено перейти в МРП, что он в середине 1967 г. и сделал. Еще с 1958 г. М.А. Карцев тесно сотрудничал с академиком А.Л. Минцем (Радиотехнический институт – РТИ), разрабатывая для его Систем Предупреждения о Ракетном Нападении (СПРН) высокопроизводительные ЭВМ М-4, М4-2М и

комплексы на их основе, серийно выпускавшиеся ЗЭМЗом (МРП). В это время наступила очередь создания нового поколения СПРН и 16.10.1969 г. М.А. Карцев получил заказ на разработку для нее мощной ЭВМ 5Э66 (фирменное наименование – М-10), в которой были использованы наработки по М-9. Далее оба проекта (5Э53 и 5Э66) развивались независимо, их производство планировалось на одном заводе – ЗЭМЗ.

Супер-ЭВМ 5Э53

5Э53 была предназначена для решения следующих основных задач:

- обнаружение и сопровождение целей,
- селекция реальных целей среди ложных,
- наведение противоракет на цели,
- управление системами МКСК и др.

Пока разрабатывался Алмаз, в ОКБ "Вымпел" шла работа над МКСК "Аргунь", требования к ЭВМ были уточнены. Для второй очереди Системы А-35 требовалась общая производительность до 0,6 млрд. оп/с. Эту вычислительную мощность должны были обеспечивать 15 ЭВМ (по 5 в каждом МКСК) производительностью на задачах ПРО по 10 млн. алгоритмических оп/с (около 40 млн. обычных оп/с), ОЗУ 7,0 Мбит, ППЗУ 2,9 Мбит, ВЗУ 3 Гбит, аппаратура передачи данных на сотни километров. Т. е. 5Э53 должны быть существенно мощнее Алмаза.

В составе Аргуни планировалось использовать 5 комплектов ЭВМ 5Э53 (в РЛС цели "Истра" – 2, в РЛС наведения противоракет – 1 и в командно-вычислительном пункте – 2), объединенных в единый комплекс.

В 5Э53 был реализован целый букет новых и прогрессивных для того времени идей, изобретений и решений. Вот некоторые примеры.

Применение СОК обеспечивало два основных бесспорных преимущества:

- Повышенную производительность и простоту аппаратной реализации арифметического устройства за счет малоразрядности оснований.
- Повышенную надежность системы благодаря свойствам СОК,

обеспечивающим обнаружение и исправление ошибок, возникающих при выполнении операций в арифметическом устройстве (двоичные ЭВМ этого никогда не умели).

Архитектура 5Э53 имела много принципиально новых решений:

- Разделение команд на управленческие и арифметические. Арифметические команды (в т.ч. предварительная и основная обработка сигналов) выполнялись на модулярных процессорах, управленческие – на двоичных.
- 8-уровневая конвейерная организация.
- Аппаратная блочная реализация арифметики: блок сложения/вычитания, блок умножения, блок управления адресами и т.п.),
- Разделение памяти на оперативную данных и полупостоянную команд,
- Разделение шин команд и данных,
- Аппаратное расслоение памяти на 8 блоков с чередующейся адресацией по блокам.

Для 5Э53 было разработано ОЗУ на основе интегрального носителя – цилиндрических магнитных пленок (ЦМП). По быстродействию, габаритам, массе, энергопотреблению, технологичности и стоимости (1 коп/бит) оно было гораздо привлекательнее применявшихся тогда ОЗУ на ферритовых сердечниках. Физика работы ЗУ на ЦМП довольно сложная, сложнее, чем у ферритов, поэтому оставим ее для специалистов, ограничимся



Конструктор Г.А. Кириллова
около шкафа 5Э53

констатацией факта, что многие научные и инженерные проблемы были решены и ОЗУ на ЦМП работало. Сравнение реальных устройств показывает, что преимущества ЦМП перед ферритами составляют: по физическому объему в 15 раз, по быстрдействию в 5 раз.

Еще одной из главных проблем было построение полупостоянной памяти для хранения программ и констант. В системах ПРО задачи меняются не часто, поэтому требовалась достаточно простая и быстрая постоянная память, но допускающая смену информации. Для 5Э53 разработано ППЗУ с индукционной связью. На печатной плате реализовалась система ортогональных адресных и разрядных шин. На их пересечение накладывался или не накладывался замкнутый виток связи. Если виток наложен – индукционная связь есть, при подаче адресного импульса в разрядной шине индуцируется импульс, соответствующей информации «0». Если витка нет – нет и разрядного импульса, значит записан «1». Все эти витки связи размещаются на тонкую печатную плату – интегральную карту, которая плотно прижимается к матрице адресных и разрядных шин. Меняя вручную карту (не выключая ЭВМ), меняем информацию.

В качестве внешней памяти большой емкости было разработано ЗУ на оптической ленте. Оно имело много общего с основными в то время ВЗУ на магнитных 35 мм лентах (подобные конструкция, привод, электроника), но отличалось носителем информации и методами записи/чтения информации – фото/светодиоды через оптоволокно на фотопленку. В результате емкость ВЗУ при тех же габаритах повышалась на два порядка и достигала 3 Гбит. Образец накопителя был изготовлен и работал в составе макетного образца 5Э53.

Повышенная надежность 5Э53 обеспечивалась самокорректирующимися свойствами СОК в арифметическом устройстве, полным мажорированием (2 из 3) всех других систем машины, технологией монтажа межячеечных и межсубблочных соединений методом накрутки и другими средствами.

Супер-ЭВМ 5Э53

Технический проект – февраль 1971 г.

Главный конструктор Д.И. Юдицкий.

Разработчик: Специализированный вычислительный центр, МЭП, Зеленоград.

Назначенный завод-изготовитель – Загорский электромеханический завод, МРП.

Разрядность:

- данных – 20 и 40 бит,
- команд – 72 бит.

Система счисления – СОК с дополнительным основанием.

Основания:

17; 19; 26; 31; 23; 25; 27; 29.

Разряды слова:

1-5; 6-10; 11-15; 16-20; 21-25; 26-30; 31-35; 36-40.

Тактовая частота – 6,0 МГц.

Производительность:

– 10 млн. алгоритмических операций в секунду на задачах ПРО (40 млн. коротких оп/с),

– 6,6 млн. коротких оп/с на одном модулярном процессоре,

Формат алгоритмической операции – 3-4 коротких.

Время выполнения модулярных операций – 1 такт = 166 нс.

Число процессоров – 8 (4 модулярных и 4 двоичных).

ППЗУ команд:

- емкость: - общая – 2,8М бит,
- шкафа – 573К бит
- блока – 1024×72 бит = 73 728 бит = 72К бит,
- время цикла – 332 нс,
- темп выборки – 166 нс,
- число блоков – 40,
- число шкафов – 5.

ОЗУ данных:

- емкость: - общая – 7,0М бит,
- шкафа – 1,0М бит
- блока – 4096×64 = 262 144 бит = 256К бит,
- время цикла 700 нс,

- темп выборки – 166 нс,
- число блоков – 28,
- число шкафов – 7.
- стоимость – 1 коп/бит в ценах 1972 г.

Объем оборудования ЭВМ:

- типов шкафов – 7 и Инженерный пульт управления.
- число шкафов – 24

Размер шкафа, НхВхL: – 1800х800х600 мм

Потребляемая мощность – 60 кВт.

Среднее время безотказной работы – 600 часов.

Занимаемая площадь (со стендовым и ремонтным оборудованием) – 120м².

Проектирование

Разработка 5Э53 была проведена в рекордно короткий срок. Весь коллектив предприятия работал с необыкновенным подъемом не щадя себя, по 12 часов в день и более. Руководитель военной приемки в СВЦ В.Н. Каленов вспоминает реплику одного из ведущих разработчиков В.М. Радунского: *«Вчера до того доработался, что, входя в квартиру, предъявил жене пропуск»*. Е.М. Зверев, возглавлявший группу по наладке макетного образца 5Э53, вспоминает другой пример: *«В то время были нарекания на помехоустойчивость ИС серии 243. Как-то часа в 2 ночи на макет пришел Давлет Исламович, взял щупы осциллографа и долго сам просматривал наибо-*



Е.М. Зверев за наладкой макета 5Э53

лее сложные места в схемах, разбираться в причинах помех». Ночью работали и инженеры, и директор. Такой напряженный труд хорошо оплачивался, для активных участников проекта применялась аккордная оплата, по завершении этапов работы выплачивались премии, применялись различные меры морального стимулирования.



В.С. Кокорин, М.Д. Корнев, М.Н. Белова, Л.Г. Рыков, В.С. Хайков.
Сначала в НИИ-37, а затем в НИИ ФП и СВЦ они разрабатывали модулярные ЭВМ Т-340А, К-340А, Алмаз и 5Э53
22 сентября 2004 г. на встрече в Зеленограде, посвященной 75-летию Д.И. Юдицкого

В ходе разработки продолжались теоретические исследования с целью совершенствования методов обработки информации в СОК: операции типа умножения, деления, определение знака и т.п. к тому времени не имели удовлетворительных алгоритмов решения в СОК. В результате напряженной работы В.М. Амербаева и его команды проблема была решена, алгоритмы разработаны и реализованы в проекте. Разработка алгоритмов проводилась одновременно с их аппаратной реализацией. Вспоминает М.Д. Корнев: *«Ночью Вильжан Мавлютинович думает, утром результаты приносит В.М. Радунскому. Схемотехники просматривают аппаратную реализацию нового варианта, задают Амербаеву вопросы, он уходит думать опять и так до тех пор, пока его идеи не поддадутся хорошей аппаратной реализации»*. Это характерный пример взаи-

модействия подразделений и специалистов СВЦ в ходе разработки 5Э53.

При проектировании 5Э53 в СВЦ широко применялось машинное проектирование, в основном собственной разработки. В начале 1971 г. разработка документации была завершена. У В.Н. Каленова сохранились записи об ее объемах: 160 типов ячеек, 325 типов субблоков, 12 типов блоков питания, 7 типов шкафов, инженерный пульт управления, масса стендов. Были проведены все необходимые испытания ячеек и субблоков, изготовлен и испытан макетный образец 5Э53. 27 февраля 1971 г. 8 комплектов конструкторской документации (по 97 272 листа каждый) колонной машин были доставлены на ЗЭМЗ. Началась подготовка производства. Закончить ее, к сожалению, не удалось.

Супер-ЭВМ 5Э53 пала жертвой бескомпромиссной борьбы в МРП и МО вокруг ПРО. Это другая интересная и трагичная история и писать о ней ее участникам. Ограничимся лишь констатацией факта, что в 1971 г. началось планомерное сворачивание работ по созданию полигонного МКСК "Аргунь", а в 1972 г. они были практически прекращены. В связи с этим в 1971 г., когда подготовка серийного производства 5Э53 подходила к концу и началось изготовление ее устройств, было прекращено финансирование работ по ЭВМ в СВЦ и ЗЭМЗ. Главного инициатора и основной опоры проекта Ф.В. Лукина уже не было среди живущих. Его преемник А.В. Пивоваров вспоминает: *"Я обратился к заместителю министра МРП В.И. Маркову. Владимир Иванович объяснил мне, что загорский завод перегружен, что он уже выпускает аналогичную ЭВМ разработки МРП, их вполне удовлетворяющую (5Э66) и что 5Э53 Минрадиопрому для ПРО не нужна"*. Два завода, в Выборге и Днепропетровске, были готовы выпускать 5Э53, но оба они принадлежали МРП, которое ни разрешения на это, ни средств, необходимых для организации производства, естественно, не дало. В.И. Марков лукавил. Во-первых ЭВМ 5Э53 и 5Э66 совершенно не "аналогичны", а во-вторых разработчики ПРО не получили ни той, ни другой. И в момент прекращения почти завершенной организации производства 5Э53 в ЗЭМЗ работы по 5Э66 только начинались, на нее на заводе еще даже не было полного комплекта документации. А новый гигантский корпус выпускного цеха 14 еще стоял полупустой, что автор лично наблюдал в середине 1971 г. Проблемы с мощностями для выпуска 5Э66 действительно возникли в ЗЭМЗ к

концу 1972 г., но после того, как 5Э66 получила второе применение (в спутниковой системе обнаружения стартов ракет академика А.И. Савина) и потребность в ней резко возросла. Но в 1971 г., когда работы по 5Э53 в ЗЭМЗ были остановлены, об этом еще известно не было. И решили возникшую проблему просто, подключив другие заводы.

Невостребованной 5Э53 оказалась и в МЭП – задач для нее еще не было. Тогда МЭП разрабатывал ИС низкой интеграции, которые вполне поддавались ручному проектированию. Время мощных систем автоматизированного проектирования еще не наступило. Если бы 5Э53 появилась в эпоху микропроцессоров и других сложных БИС, а на таких задачах модулярная арифметика весьма эффективна, скорее всего, ее ожидала бы иная судьба.

ЭВМ четвертого поколения

На этом работы по созданию модулярной высокопроизводительной ЭВМ в СВЦ не закончились. Когда теоретические подразделения закончили свою часть работы и центр тяжести по созданию 5Э53 переместился на схемотехников и конструкторов, в СВЦ началась работа по созданию образа новой мощной вычислительной системы – ЭВМ четвертого поколения (ЭВМ-IV). Задумывалась модульная реконфигурируемая система с аппаратно-микропрограммной реализацией языка программирования высокого уровня типа PL-1 и IPL, считавшихся тогда наиболее перспективными. ЭВМ включала подсистемы центральной обработки (до 16 центральных процессоров – ЦП), ввода-вывода (до 16 процессоров ввода-вывода – ПВВ), ОЗУ (до 32 секций ОЗУ 32Кх64 бит) и мощную модульную систему динамической коммутации перечисленных модулей по сложному графу (любой ЦП мог быть соединен с любым ПВВ и любой секцией ОЗУ). Общая производительность ЭВМ оценивалась в 200 млн. оп/с. В ЦП планировалась табличная реализация СОК: результат не вычисляется, а считывается из ПЗУ – в СОК это возможно. При этом любая непрерывная функция одной или двух переменных может выполняться за один машинный такт. Предполагалось использовать парадоксальное свойство СОК – эффективная производительность модулярной ЭВМ может быть многократно выше ее физического быстродействия или производительности позиционной ЭВМ с таким же быстродействием.

Для реализации табличной ЭВМ требовалось компактное постоян-

ное ЗУ большой емкости. Его разработкой в СВЦ уже несколько лет занималось подразделение С.А. Гаряинова. Суть этой работы заключалась в создании бескорпусных диодных матриц, а так же конструкции и технологии изготовления устройств на их основе.

К этому времени в подразделении С.А. Гаряинова была разработана диодная 256-битная матрица на диэлектрической подложке – ДМР-256, на заводе «Микрон» осваивалось ее производство. На основе этой матрицы была разработана соответствующая оригинальная конструкционная система:

- кристаллы ДМР-256 монтировались на ситаловую плату,
- платы собирались в семиэтажную этажерку (МФБ – многофункциональный блок) с межплатным монтажом по четырем ее граням. Этажерки устанавливались на большую печатную кросс-плату.
- несколько кросс-плат с МФБ монтировались в металлический, герметичный корпус блока, заполняемый фреоном. Для вывода тепла из блока в него устанавливались тепловые трубки. В коллективе этот корпус получил название «чемодан».

Таким образом, на фоне бурных событий, связанных, сначала с разработкой, а потом с борьбой за выживание 5Э53, в спокойной обстановке создавался задел для реализации следующего проекта. В это время все внимание Д.И. Юдицкого было сконцентрировано на событиях вокруг 5Э53, но он регулярно интересовался и перспективными проработками, доверяя, в то же время, их руководителям. Как впоследствии выяснилось, не все они оправдали доверие.

Аванпроект ЭВМ-IV был закончен в начале 1973 года. Эта ЭВМ задумывалась как прототип для последующих разработок СВЦ. Однако еще до его завершения ЭВМ-IV, ей, казалось, нашлось хорошее применение.

Супер-ЭВМ "41-50", "Лидер"

В начале 1972г. СВЦ получил заказ ГРУ МО на разработку эскизного проекта супер-ЭВМ для обработки векторных и структурированных данных, получившей условное наименование 41-50, ОКР «Лидер». 64-разрядная ЭВМ должна была обладать быстродействием в 200 млн. оп/с, иметь ОЗУ емкостью 16М байт, развитую пе-

риферию. В то время за рубежом уже были известны ЭВМ такого типа, например фирмы Burroughs (США), но они были заметно слабее. Это многопроцессорные машины, обрабатывающие оди-ночным потоком команд множественный поток данных. Основная задача заключалась в распараллеливании данных между процессо-рами, которую обычно решали на основе традиционных скалярных процессоров, со скалярными системами команд, на программном уровне. В СВЦ строили изначально векторную архитектуру ЭВМ с векторной системой команд, работающих над массивами и ориен-тированной на реализацию алгоритмов заказчика. Задача динами-ческого распараллеливания при этом решалась на аппаратно-микророграмным уровне, на основе внутренних алгоритмов, что приводило к резкому повышению эффективности системы в целом.

Эскизный проект 41-50 СВЦ выполнял совместно с Институтом Кибернетики (ИК) АН Украины, директор ИК академик В.М. Глушков был научным руководителем проекта. В связи с этим в ИК было создано 2 специальных подразделения (филиал СВЦ) во главе с З.Л. Рабиновичем и Б.Н. Малиновским. Главным конструктором проекта был Д.И. Юдицкий, активное участие в его реализа-ции принимали Н.М. Воробьев, М.Д. Корнев, В.Г. Сиренко, В.А. Савеличев, В.С. Петровский, В.М. Елагин, И.П. Селезнев, П.Н. Ка-занцев, Ю.М. Сокол, Ю.Г. Бобошко, Ж. Мамаев, В.Ф. Лукин, Т.Г. Родкина и др.

Первоначально планировалось ЭВМ строить на основе задела, вы-полненного в рамках проекта ЭВМ IV поколения. Этого, по ряду причин, не получилось.

Проектирование 41-50 начинается с изучения алгоритмов решения задач заказчика. Поэтому в первую очередь начали просматривать реализацию специфичных алгоритмов заказчика на основе разрабо-танного варианта табличной реализации модулярной арифметики. Работу возглавили В.М. Амербаев в качестве математика и ос-новного автора модулярной арифметики, и Л.Г. Рыков в качестве схемотехника, реализующего эти алгоритмы. Этот хорошо срабо-тавшийся дуэт дал возможность трезво оценить ситуацию. Вспо-минает Л.Г. Рыков: *«И.Я. Акушский был больше математиком и теоретиком и до таких понятий, как время задержки, гонка им-пульсов и других схемотехнических неприятностей, не опускался. Вильжан Мавлютинович – совершенно другой человек. Он не гну-шался наших проблем и всегда старался найти такой вариант*

математического решения, который наиболее удачно реализуется аппаратно». Результаты этого напряженного труда были аккумулярованы в Руководящем техническом материале РТМ У10.012.003 «Машинные алгоритмы двухступенчатой непозиционной арифметики». Проведенный анализ показал, что на алгоритмах заказчика (процент логических операций, не выполнявшихся тогда в СОК, в них был значительно выше обычного) эффективная производительность модулярной ЭВМ не превышает производительности обычной двоичной позиционной ЭВМ. Оставалось некоторое преимущество по надежности за счет арифметичности СОК, но в табличной арифметике и это мало что давало, т.к. табличная арифметика реализуется в памяти, в которой хорошо работают традиционные методы обнаружения и исправления ошибок. Таким образом применительно к задачам 41-50 преимущества СОК практически не срабатывали. В результате оправдать применение СОК могло только более удачные конструктивно-технологические решения реализации табличной арифметики на основе полупроводниковой постоянной памяти. Они обещали существенное сокращение объема аппаратуры по сравнению с традиционной двоичной позиционной арифметикой.

Но своевременно задуманный конструктивно-технологический задел не оправдал надежд. Когда он потребовался, выяснилось, что он еще весьма далек от возможности практического применения. Все это в совокупности привело к отказу от применения СОК в проекте 41-50. Начался второй этап реализации проекта на основе традиционной двоичной арифметики, но это уже другая история.

Система 41-50 была последней разработкой в СВЦ высокопроизводительных многоразрядных супер-ЭВМ. Проект был выполнен и блестяще сдан Госкомиссии. Заказчик, фактически соисполнитель, внес в него все, что ему было нужно, высоко оценил проект и верил в успех. Но в МРП, где изначально планировалось и заказчиком было согласовано производство 41-50, изготовителя для нее не нашлось и продолжения работ не последовало. Далее СВЦ занимался созданием изделий, которые можно было производить своими силами, – 16-разрядных мини- и микро-ЭВМ, микропроцессоров и систем на их основе. А в малоразрядных системах преимущества модулярной арифметики не существенны и работы по ее практическому применению в СВЦ были свернуты.

Судьба СОК

В шестидесятых-семидесятых годах прошлого века в связи с разработками ЭВМ К-340А, 5Э53 и ЭВМ-IV в СВЦ и в сотрудничающих с ним предприятиях производились серьезные научные исследования в области модулярной арифметики и было много публикаций на эту тему в открытой печати, в т.ч. и в виде монографий. Они возбудили серьезный интерес у иностранных специалистов. Вот что вспоминает академик В.М. Амербаев: *"В 1970-71 гг. большой интерес к модулярной арифметике проявили банковские структуры США. Им требовались высокопроизводительные средства для высоконадежных вычислений с самокоррекцией – именно этим и характерна модулярная арифметика. По данным открытой печати (статьи, книги, патенты) они оценили результаты работы И.Я. Акушского и Д.И. Юдицкого как передовые в мире и обратились в МЭП с предложением о закупке модулярных алгоритмов (предложили около 20 млн. долларов США). Начавшиеся переговоры были пресечены «компетентными органами»*. Об этом же случае, а возможно и о другом, вспоминает уже цитированный нами В.С. Линский: *"Во время работы в НИИ ФП - СВЦ в 1966-70 гг. я открыто выражал негативное отношение к СОК, вплоть до обращения в Военно-промышленную комиссию при СМ СССР (ВПК). С моим мнением был ознакомлен В.С. Бурцев, выразившийся в том смысле, что однозначный ответ о СОК преждевременен. На вопрос сотрудников ВПК о том, почему американцы хотят закупить результаты И.Я. Акушского и Д.И. Юдицкого, я ответил, что по-видимому это им выгоднее, чем самим проводить исследования в этой области"*. А.В. Пивоваров вспоминает другой случай: *"У Юдицкого был контакт с французской фирмой, не помню ее название, которая пожелала купить проект ЭВМ. Д.И. Юдицкий пришел ко мне за разрешением на такую сделку, но я отказал ему по двум причинам. Во-первых для выполнения такой сделки необходимо изготовление образца ЭВМ для полной отработки технологии, а сделать то его было не где. Во-вторых – зачем нам вооружать французов, тогда наших потенциальных военных противников. Да если бы я и согласился, нам все равно бы это не позволили сделать вышестоящие органы"*. Были и другие примеры интереса зарубежных фирм к работам СВЦ по СОК, но все они были пресечены "в установленном порядке".

Прекращение работ по 5Э53 вызвало определенный психологиче-

ский шок у сторонников СОК, их научная активность существенно снизилась, число открытых публикаций резко сократилось. Имеются свидетельства, что этот факт был замечен зарубежными учеными и их "компетентными органами", сделавшими вывод о засекретивании этих работ в СССР (истинных причин они не знали). Некоторые страны, например США, последовали этому "примеру" и засекретили работы по модулярной арифметике у себя.

Таким образом, печальная судьба 5Э53 стала причиной пресечения нового, перспективного направления развития отечественной вычислительной техники, превосходящего все имевшееся и в стране, и за рубежом – модулярной арифметики. Истинных причин остановки ЭВМ 5Э53 практически никто не знал. Но сам факт, получив широкую огласку в кругах специалистов, начал самостоятельную жизнь и стал почти непреодолимым барьером на дальнейшем пути внедрения СОК в отечественную вычислительную технику. Далее модулярной арифметикой в нашей стране занимались только отдельные энтузиасты, в основном, в теоретическом плане.

Уровень элементной базы шестидесятых-семидесятых годов прошлого века (электронные лампы, транзисторы и диоды, интегральные схемы низкой и средней интеграции) не позволял создавать ЭВМ с характеристиками, полностью удовлетворяющими потребителя. Каждая ЭВМ того периода была результатом компромисса между желаемым и возможным. Именно поэтому разработчики ЭВМ искали самые разнообразные методы повышения их производительности и надежности. Одним из таких методов была модулярная арифметика, и именно поэтому и именно тогда она вызывала повышенный к себе интерес и получила интенсивное развитие. В восьмидесятые годы с появлением микропроцессоров и других интегральных схем все возрастающей интеграции, существенно сгладились проблемы и производительности, и надежности ЭВМ (исчезли километры проводов и миллионы паек). В настоящее время подавляющее число потребителей использует лишь малую часть возможностей своих ЭВМ и не подозревают, что проблемы производительности и надежности были когда-то очень актуальны и часто непреодолимы. И поиски путей их преодоления существенно сократились. Последние 20-30 лет в мире почти не появилось новых архитектурных решений и других системных новаций в принципах построения ЭВМ – практически используется задел шестидесятых-семидесятых годов. Колоссальный прогресс вычислитель-

ной техники определяется, в основном, микроэлектроникой.

Но в настоящее время развитие вычислительной техники, похоже, подходит к очередному кризису. Вызвано это многими следующими причинами:

- Во-первых, ее широкое проникновение во все сферы жизнедеятельности человека резко повысило актуальность решения таких, ранее редких, а теперь массовых задач, как обработка сигналов, изображений, распознавания образов, криптографии, обработка многоуровневой информации и т.п. Все они требуют огромных вычислительных ресурсов, часто превышающих возможности.
- Во-вторых, традиционная микроэлектроника подходит к пределу своих технологических возможностей, размеры ее элементов измеряются нанометрами, числом атомов. А идущие ей на смену наноэлектроника, молекулярная электроника, микромеханика, биоэлектроника и т.п. находятся в "эмбриональном" состоянии, еще далеки от промышленного применения и их перспективы оцениваются по-разному. Старшее поколение специалистов помнит радужные прогнозы оптимистов об "ошеломляюще высоких" возможностях оптических ЭВМ – молодежи о них и не рассказывают: оптические ЭВМ не состоялись.
- В-третьих – остро встает проблема безопасности. Об этом еще далеко недостаточно говорят, но для России это проблема национальной. Применение зарубежной электроники в стратегически важных системах таит в себе огромную скрытую потенциальную угрозу. Современный уровень микроэлектроники, когда в кристалле одной интегральной схемы содержатся миллионы транзисторов, функционально законченные устройства и системы, обеспечивает и возможности введения диверсионных "закладок". Компьютер с такой "закладкой" может многие годы прекрасно работать, а "закладка" будет спать. Но в нужный кому-то момент, по сигналу извне (Internet, радиосигнал и т.п.) она просыпается и творит с системой все, что захочет хозяин "закладки". Обнаружить такие "закладки" практически невозможно. Эта задача по силам только мощнейшим в мире микроэлектронным фирмам, стоимость такой операции соизмерима со стоимостью создания исследуемой микросхемы. При обилии номенклатуры таких микросхем задача становится непосильной

для экономики любой страны. В настоящее время ни кто не может дать гарантии, что в компьютерах Генштаба, Банка России, Правительства, Федерального собрания и других стратегически важных органов не "спят" диверсионные "закладки", и что они не проснутся в самый неподходящий для страны момент. Выход только один – в создании отечественных изделий микроэлектроники для стратегически важных систем. Только здесь процесс можно полностью контролировать и исключить появление "закладок". Но поскольку технологически мы отстаем от зарубежной микроэлектроники, необходимо привлекать другие средства повышения эффективности систем.

В этих условиях интерес к поиску системных методов повышения эффективности вычислительных средств пробуждается вновь. В печати заметно увеличилось количество соответствующих публикаций, в том числе и по модулярной арифметике. Ряд серьезных фирм начал, пока теоретические, заделные работы в этой области. В этой связи интересно и полезно знать историю и современное состояние отечественной модулярной арифметики.

Настоящая статья является попыткой комплексно отразить первую страницу истории зарождения и развития отечественной модулярной арифметики. Естественно, она далеко не полная и, наверное, в чем-то ошибочная. Но автор старался быть объективным, опираясь на сохранившиеся документы и воспоминания активных участников событий.

О троичных ЭВМ

Уместно отметить, что в те же годы в нашей стране свершилась еще одна аналогичная трагедия. Было оборвано еще одно прогрессивное направление вычислительной техники – троичные ЭВМ.

В 1959-60 гг. в вычислительном центра МГУ им. М.В. Ломоносова была разработана ЭВМ «Сетунь» (главный конструктор Н.П. Брусенцов). Она была построена на основе разработанной Н.П. Брусенцовым машинной реализации троичной симметричной системы счисления и троичной логики. В 1961 – 65 гг. было выпущено около 50 ЭВМ. Их эксплуатация в различных, в т.ч. отдаленных регионах страны, показала ее высокую, по тем временам, эффективность и в то же время легкость понимания, освоения и применения. Сетунь была машиной последовательного действия с блоком быст-

рого умножения. Ее главные особенности:

- троичная симметричная (с положительными и отрицательными значениями цифр) система представления чисел и команд,
- трехзначная логика,
- страничная двухуровневая организация памяти,
- пороговая реализация трехзначной логики на электромагнитных элементах с двухпроводной передачей трехзначных сигналов,
- длина операндов 9 и 18 тритов, троичный порядок числа с плавающей запятой – 5 тритов,
- система команд – 24 команды.

В 1970 г. там же была разработана ЭВМ «Сетунь-70», так же с троичной симметричной системой представления данных и программ (главный конструктор Н.П. Брусенцов). Она имела двухстековый троичный процессор с послоговым кодированием программ и данных, идентификаторами операций и адресов служат трайты (шестерки тритов). Набор операций включает 81 операцию: 27 основных (тестирование и преобразование данных, управление ходом программы), 27 служебных (управление магнитным барабаном, внешними устройствами, системой прерываний), 27 макроопераций, микропрограммируемых пользователями. Элементная база: электромагнитные пороговые логические элементы с однопроводной передачей трехзначных сигналов. Сетунь-70 была изготовлена в одном экземпляре, который проработал в МГУ 17 лет – серийного завода для ее производства в стране не нашлось.

На этом история создания троичных ЭВМ в стране была директивно прервана.

В настоящее время интерес к троичной системе, по тем же причинам, что и к модулярной арифметике, в зарубежных средствах информации заметно возрос. Появилось множество публикаций и сообщений о проводимых исследованиях. В частности американские ученые пришли к выводу о троичности нейрона человеческого мозга.

Аналогичная ситуация и у нас: МГУ задумался о создании новой троичной ЭВМ, Росэлектроника пригласила на свой НТС Н.П. Брусенцова, ОАО «Ангстрем», совместно с Николаем Петровичем, ведет предварительную проработку путей построения троичной элементной базы, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет проявляет интерес к созданию троичных ЭВМ

для разрабатываемых им систем. Недавно Николай Петрович Брусенцов предложил объединить положительные стороны модулярности и троичности. Такой синтез заинтересовал академика В.М. Амербаева.



В МГУ. Обсуждение путей построения троичной ЭВМ.
Справа налево: Н.П. Брусенцов, П.Р. Машевич (зам. управляющего директора – директор по НИОКР и госзаказу ОАО»Ангстрем»), академик В.М. Амербаев, аспирант Д.Б. Малашевич

За истекшие после директивного прекращения работ над троичными ЭВМ годы Николай Петрович Брусенцов провел огромную работу по изучению и развитию троичной логики, начиная с логики Аристотеля. Ему удалось вскрыть многочисленные ошибки в толковании силлогистики Аристотеля, допущенные стоиками и их последователями, искажившими трехзначную логику Аристотеля. Введя хрисиппов принцип двухзначности, устраняющий диалектику путем “исключения третьего”, они превратили диалектическую трехзначную логику Аристотеля в схоластическую двоичную, в результате чего в его учении были «обнаружены» «ошибки» и «парадоксы». Николаю Петровичу удалось развить учение Аристотеля, построить строгую диалектическую трехзначную логику, соответствующую естественной человеческой логике, обеспечивающую возможность построения алгоритмов решения задач, ранее не на-

ходивших эффективных решений на двоичных компьютерах. Таким образом Н.П. Брусенцовым создана обновленная, лишенная парадоксов и ограничений трехзначная диалектическая логика – мощная теоретическая база для практического построения троичной ЭВМ. Эту логику с полным основанием можно назвать трехзначной диалектической логикой Брусенцова.