

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАН

А.А. Менн (Группа Союз)

*Рассматриваются несколько знаковых примеров вычислительной техники и программного обеспечения, обязанных своим появлением Институту проблем управления РАН. Описываются поворотные моменты истории, предопределившие успехи и неудачи не только Института, но и страны в целом в одной из ключевых отраслей экономики страны.*

*Ключевые слова: вычислительная техника, программное обеспечение, аналого-цифровые системы, системное программирование, гибридные вычислительные системы.*

### Введение

Сама по себе вычислительная техника никогда не была главной темой в работах Института. Но в ходе выполнения различных научных исследований неоднократно возникали оригинальные идеи по архитектуре вычислительных машин, и начинались опытно-конструкторские работы по их реализации. Некоторые работы оказались удачными и закончились запуском разработанных машин в серию. Неоднократно для достижения целевых показателей эффективности систем управления предпринимались подробные исследования различных технических характеристик вычислительных машин и программного обеспечения, планировавшихся к применению. Результатом этих исследований были доработки существующих программных систем или создание нового программного инструментария. В статье рассматривается несколько знаковых примеров новой вычислительной техники и программного обеспечения, обязанных своим появлением Институту. Рассматриваются поворотные моменты истории, предопределившие успехи

и неудачи не только Института, но и страны в целом в одной из ключевых отраслей экономики страны.

### Десятилетие аналоговых вычислительных машин

Первые заметные в масштабах страны институтские работы в области вычислительной техники во многом обязаны исследованиям повышения поражающей способности зенитно-ракетных систем. Сразу после окончания второй мировой войны появились сверхзвуковые самолеты<sup>1</sup>. В связи с этим возникли новые задачи управления зенитно-ракетным огнем и необходимость совместного моделирования полета летательного аппарата и системы управления зенитными установками. С середины 50-х и затем в 60-е годы XX века такие исследования проводились в Институте, носившем тогда название Институт Автоматики и телемеханики (ИАТ) АН СССР. К этому времени относится изобретение В.А. Трапезниковым, Б.Я. Коганом (ИАТ) и В.Б. Ушаковым (НИИСЧЕТМАШ) интеграторов на базе высокоточных усилителей постоянного тока — основного вычислительного элемента аналоговых вычислительных машин (АВМ). Одновременно с этим в лаборатории № 9 Института были разработаны новые принципы программирования АВМ. Заведующим лабораторией был многолетний директор Института академик Владимир Александрович Трапезников. Результатом этих работ стало создание в Институте серии машин, получивших название ЭМУ (Электронные моделирующие установки). Было выпущено 10 моделей ЭМУ. Последняя, самая удачная модель ЭМУ-10 выпускалась серийно на Уфимском приборостроительном заводе более 5 лет. Тираж составил несколько сотен экземпляров, установленных во всех ведущих авиационных и ракетных КБ страны и эксплуатировавшихся длительное время вплоть до бурного развития цифровой вычислительной техники в 70-х годах.



Рис. 1. ЭМУ-10 в ВЦ Уралмаша

<sup>1</sup> Первый полет выше скорости звука состоялся 14 октября 1947 г. под управлением американского летчика-испытателя Чака Йегера на экспериментальном самолете Bell X-1. Первые испытательные полеты советского сверхзвукового истребителя — МиГ-19 состоялись в конце 1952 г., серийное производство было начато в 1954 г.

Типовая задача для аналоговых машин — решение систем дифференциальных уравнений вида:

$$\frac{dx_i}{dt} = F(x_i, t), i=1, 2, \dots \quad (1)$$

Первые ЭМУ могли работать только с линейными функциями в правой части уравнения. Последние версии ЭМУ умели решать задачи с нелинейными зависимостями вида функций от одной переменной или с произведениями двух переменных. Возможности аналоговых машин очень хорошо подходили для моделирования и анализа динамических систем типа (1), которые с достаточной достоверностью описывали поведение многих движущихся объектов.

Главным достоинством аналоговых вычислителей был параллельный принцип работы. Поэтому для специализированных вычислений типа моделирования динамических систем быстрдействие аналоговых машин долго оставалось непревзойденным. Недостатки аналоговых вычислителей заключались в сложности, а главное, длительном времени их программирования. Подготовка очередного расчета могла требовать несколько часов. Огромной сложностью являлось программирование задач, где присутствовала необходимость логических операций. Появившаяся в поздних моделях так называемая параллельная логика не закрывала полностью эту проблему.

В. А. Трапезников и Б. Я. Коган за разработку серии ЭМУ получили Сталинскую премию. Ведущими разработчиками серии были Б. Я. Коган [1], Д. Е. Полонников, В. В. Гуров, Р. Н. Чернышев и их коллеги по лаборатории № 10 Института. Большой объем работ по созданию методов решения задач на аналоговых вычислительных машинах выполнен ведущими учеными Института А. А. Фельдбаумом, М. В. Рыбашовым, Е. Е. Дудниковым, Ф. Б. Гулько, их сотрудниками и учениками [2].

Советские АВМ не уступали (может быть, за исключением размеров) характеристикам лучших западных образцов, несмотря на уже наметившееся отставание в электронике. Тогда еще была возможность компенсировать отставание отдельных отраслей промышленности оригинальностью конструкции.

На базе электронных усилителей серии ЭМУ были разработаны блоки аналогового вычислителя, входившего в состав зенитно-ракетного комплекса «Беркут», выполненного под руководством П. Н. Куксенко и С. Л. Берия (сын Л. П. Берия) Специальным бюро № 1 (СБ-1, ныне ГСКБ «Алмаз-Антей»). После 1953 г. развитием «Беркута» и запуском его в эксплуатацию руководил академик А. А. Расплетин. Тогда же комплекс получил название С-25. Развитие вычислителя, применявшегося в С-25, произошло при разработке передвижного комплекса противовоздушной обороны (ПВО), знаменитого С-75. Новый вычислитель уже был гибридным, в котором имелись и цифровой процессор, и параллельный аналоговый. На протяже-

нии многих десятилетий зенитно-ракетный комплекс С-75 оставался основой отечественной ПВО.

Помимо задач моделирования движущихся объектов аналоговые машины ЭМУ-10 решали и множество других задач. Например, на заводе Уралмаш постоянно проводились расчеты для прогнозирования мощности, потребляемой энергии и температуры в зависимости от продолжительности смешивания компонент при различных характеристиках теплообмена и частоты вращения роторов. На (рис. 1) приведена АВМ ЭМУ-10 в вычислительном центре Уралмаша.

### Импортозамещение наоборот

Нарушим историческую канву повествования об исследованиях Института и остановимся на важнейших политических событиях, надолго определивших пути развития вычислительной техники в стране. Они не могли не повлиять на работы в Институте, тем более что активнейшую, хотя и безрезультатную роль сыграл в них В. А. Трапезников.

В конце 60-х специально созданная Государственная комиссия подготовила доклад о состоянии вычислительной техники в стране и за рубежом. Комиссия пришла к неутешительным выводам — по качеству и количеству вычислительной техники СССР отстал от развитых стран на 8...10 лет. Особенно серьезное отставание наблюдалось в программном обеспечении, несмотря на огромный потенциал советских программистов<sup>2</sup>. И тогда правительство вознамерилось сделать «большой скачок» в деле компьютеризации страны. Было решено минимизировать затраты на отечественные разработки, а основной упор сделать на копирование передовых по тем временам зарубежных линий ЭВМ. Предполагалось наладить массовое производство трех семейств вычислительных машин. Первое называлось Единая система ЭВМ (ЕС ЭВМ) или «Ряд» и должно было воспроизвести американские IBM S/360, а затем IBM S/370. Второе и третье семейства были призваны покрыть потребности народного хозяйства в миникомпьютерах. Они назывались СМ ЭВМ (Система малых ЭВМ). В результате под марками СМ-1 и СМ-2 скрывались аналоги ЭВМ фирмы Hewlett-Packard, а модели СМ-3 и СМ-4 воспроизводили популярные компьютеры PDP-11 фирмы DEC.

Таким образом, дальнейшее развитие отечественной кибернетики направлялось по пути клонирования американских компьютеров и слегка завуалированного пиратского копирования их программного обеспечения. Средств и производственных мощностей на продолжение развития линеек отечественных ЭВМ для массового применения оставалось недостаточно. В декабре 1977 г. в Министерстве радиопромышленности СССР даже было принято специальное постановление о прекращении разработок собственных вычислительных систем для массового примене-

<sup>2</sup> Этот потенциал многократно подтвердился впоследствии, когда десятки тысяч отечественных программистов уехали работать в США и страны западной Европы, заняв высокие позиции лидеров важнейших разработок. Многие бывшие сотрудники Института, например, В. Ю. Розенцвейг, М. Е. Фурман, А. В. Красавин, А. Леман, входят в их число.

ния. (Это постановление не касалось только компьютеров в оборонной промышленности.)

Автору довелось быть свидетелем того, как генеральный конструктор лучших советских ЭВМ БЭСМ-6 академик С.А. Лебедев, академик В.А. Трапезников и руководитель одного из ведущих программистских коллективов страны А.С. Кронрод обсуждали план действий по продолжению проектирования и производства оригинальных советских машин. Лебедев С.А. и Трапезников В.А. отзывались о «Ряде» скептически — путь копирования, по их мнению, являлся дорогой отстающих. Ведь копировать предполагалось только вычислительные машины, хорошо зарекомендовавшие себя в течение двух лет, с тем, чтобы для них уже было готово развитое программное обеспечение. Сам процесс воспроизводства требовал два, а то и три года. Таким образом, советский аналог появлялся спустя 4–5 лет. В то же время, согласно закону одного из основателей компании Intel Гордана Мура, вычислительная техника удваивает быстродействие каждые 24 или даже 18 мес. Новейший советский аналог сразу отставал от зарубежных машин на два поколения. Академики подготовили письмо в Совет Министров СССР, в котором предлагали другой путь развития. Они полагали целесообразным закупать самые прогрессивные зарубежные вычислительные машины для критических отраслей экономики, предоставив отечественным специалистам возможность детального изучения архитектуры, элементной базы и программного обеспечения. Наряду с этим предлагалось сфокусировать усилия коллективов разработчиков на двух направлениях: наращивание темпов разработки собственных вычислительных машин с использованием изученного опыта работы на лучших зарубежных образцах, и допустить совместную с иностранными компаниями разработку программного обеспечения зарубежных машин, чтобы не отставать от перспективных направлений работ и технологий западных программистов.

Проблему ресурсов для закупки зарубежных ЭВМ и параллельного развития отечественной линейки ЭВМ Лебедев С.А. и Трапезников В.А. предлагали решить путем экономии средств за счет ликвидации многократного дублирования однотипных разработок в различных ведомствах, в первую очередь оборонных. Также предполагалось максимально задействовать в разработке перспективного программного обеспечения математиков и программистов, работающих в небольших, закрытых городах, где были собраны очень квалифицированные специалисты, незагруженные в полной мере в силу специфики их работы. Уже был успешный опыт разработки в одном из закрытых городов Урала (Челябинск-70) одной из лучших операционных систем своего времени — «ДИСПАК» для БЭСМ-6.

#### Исследования в области системного программирования

Письмо, направленное двумя академиками в правительство, потерялось в высоких кабинетах. Однако

Трапезников В.А. предпринял попытку доказать реальность своего плана. Институт получил разрешение на покупку в Великобритании ЭВМ ICL 4–70. По архитектуре это была довольно оригинальная машина со специализированными процессорами для управления внешними устройствами, в частности, накопителями. В результате на уровне управления заданиями допускалась параллельная работа. По базовому программному обеспечению эта ЭВМ была совместима с IBM/360. Трапезников предполагал организовать совместное с английскими программистами развитие программного обеспечения, для чего готовилось специальное решение АН СССР. Большую заинтересованность в совместной разработке проявили и английские программисты, которые хотели выйти за рамки простого сопровождения программного обеспечения IBM. Для решения задач совместной с англичанами разработки Трапезников В.А. пригласил на работу в Институт ведущих специалистов группы А.С. Кронрода. К сожалению, по политическим мотивам оказалось невозможным пригласить самого Кронрода А.С. В Институте была создана лаборатория системного программного обеспечения под руководством В.Л. Арлазарова, оказавшая огромное влияние на техническую культуру применения вычислительной техники в Институте. Методики разработки программного обеспечения, предложенные Арлазаровым и его командой, быстро осваивались другими лабораториями.

У каждой профессии есть свой романтический период и есть период, когда она превращается в рутинную деятельность. Быть шофером в начале прошлого века было трудно и почетно. Сегодня автомобиль может водить любой желающий. Так профессия шофера прошла полный цикл от интеллектуальной и романтической до бытовой и повседневной за какие-то 60 лет. Цикл профессии авиационника тоже близится к окончанию и займет те же 60 лет. Но время ускоряется, и у новых профессий существенно более короткий цикл. Особенно это верно по отношению к профессиям, связанным с информационными технологиями. Поначалу программист был маленьким богом, единым в разработке алгоритмов решения задачи и в их кодировании для исполнения на машине. Поэтому в начальный период профессии программисты в основной своей массе решали чужие задачи. По мере осознания возможностей ЭВМ каждая область науки и инженерии предложила столько больших и не очень задач, что к немногим умельцам их запрограммировать выстроилась многолетняя очередь. Однако очень быстро, буквально за несколько лет лидеры дефицитной профессии сами подрубили сук, на котором сидели. Чуть ли не первой задачей, которую программисты принялись решать, стала автоматизация программирования. Успехи в этой сфере были столь значимы, что программирование очень быстро превратилось в массовую профессию. В институте появилась даже популярная частушка: «Меня

милый не целует, не садится близко, говорит: я — математик, а ты — программистка».

Уже к моменту появления в Институте ICL 4–70 языки Фортран и Алгол освоили многие. Но методами поиска ошибок, методикой отладки, структурированием программ, подготовкой библиотек стандартных программ, которыми могут воспользоваться помимо автора и другие специалисты, по-прежнему, владели единицы. Еще меньшее число специалистов владело пониманием механизмов работы операционных систем. С помощью лаборатории Арлазарова учились понимать, что такое управление заданиями и задачами, управление памятью, разделение времени между задачами. Поскольку некоторое время еще теплилась надежда на совместную с фирмой ICL разработку более эффективной операционной системы, несколько лабораторий Института занимались исследованием и моделированием систем управления задачами и памятью. Примерами таких работ являются исследования О.И. Авена, Я.А. Когана и Л.Б. Богуславского [3]. Применительно к процессам разделения времени между задачами и обращениями к ним большой объем исследований выполнила лаборатория № 17 В.А. Жожикашвили, где стали широко применять методы массового обслуживания для моделирования большого числа одновременных запросов к компьютерам от многих пользователей.

Непосредственно системами автоматизации программирования, операционными системами, базами данных, проблематикой искусственного интеллекта в Институте занималась лаборатория Арлазарова. Она проводила постоянные консультации разработчиков по основам проектирования программного обеспечения систем управления, работающих в реальном масштабе времени. Под их влиянием в Институте сложилось твердое разделение профессии программиста на две независимые специальности: алгоритмист, ищущий метод решения, и инструментальщик, в тонкостях знающий средства, с помощью которых можно объяснить компьютеру суть задачи и способ решения. Ясно, что для этих специальностей нужны разные способности. Многие коллективы, в том числе и в Институте, не смогли произвести что-нибудь стоящее, не понимая разделения в профессиях и поручая либо алгоритмистам, либо инструментальщикам выполнить весь круг работ.

Самой известной работой лаборатории Арлазарова В.Л. стало создание первого чемпиона мира по компьютерным шахматам — программы «Каисса» (Г.М. Адельсон-Вельский, М.В. Донской, А. Футер, А. Леман, А.Р. Битман, А.Н. Бараев, А.В. Усков, М.З. Розенфельд). Сложность разработки многократно повышалась резким различием в быстродействии машины, на которой играла Каисса, и скоростью работы ее конкурентов по первому чемпионату. Лучшие машины зарубежных участников, превосходили по скорости компьютер «Каиссы», в несколько раз. Для нейтрализации столь большого преимущества для «Каиссы»

были разработаны пионерские методы перебора вариантов («альфа-бета процедура»), проведены работы по оптимизации обмена данными между оперативной и внешней памятью (по сути, был разработан прототип кэш-памяти), создана одна из первых в мире библиотек дебютных вариантов [4].

Первый чемпионат мира по компьютерным шахматам в августе 1974 г. в Стокгольме прошел по швейцарской системе. Согласно ей, в каждом туре пары соперников подбираются так, чтобы сыграли участники, набравшие равное число очков. Таким путем исключаются партии между заведомо несопоставимыми по силе противниками, что позволяет при большом числе участников обойтись небольшим, по сравнению с круговой системой, числом туров. В первенстве участвовало 13 машин из 8 стран мира, сыграно было четыре тура. Каисса выиграла все четыре партии и стала первым чемпионом мира, обогнав программы Chess 4, Chaos и Ribbit, набравшие по 3 очка.

### Гибридные (аналого-цифровые) системы

К середине 70-х быстродействие универсальных цифровых машин оставалось еще недостаточным для моделирования в реальном времени сложных динамических систем, а потребности в такого рода моделировании постоянно росли. Поэтому лабораторией № 10 Института под руководством Б.Я. Когана при поддержке Трапезникова была разработана аналого-цифровая (гибридная) вычислительная система «ГВС — 100». Эта система создавалась совместно Институтом проблем управления и Институтом автоматики и телесвязи им. М. Пупина (Югославия). Предполагалось изготовление нескольких экземпляров вычислительной системы в Югославии с последующим переносом производства в СССР. Система строилась по ставшей теперь традиционной для гибридных вычислительных систем (включающих несколько разнородных по типу действия вычислителей) схеме — универсальная цифровая ЭВМ, подключенная через аналого-цифровые преобразователи к АВМ. Разработку цифрового вычислителя выполняла совместно с югославскими специалистами лаборатория А.Ф. Волкова (главный конструктор — В.Т. Лысиков), операционную систему и транслятор с языка Фортран разрабатывала лаборатория Арлазарова В.Л. (руководители работы — А.В. Усков и В.Н. Деза, разработку транслятора с Ассемблера выполнила лаборатория Э.А. Трахтенгерца (руководитель — Л.Н. Горинович). Элементную базу аналогового вычислителя и аналого-цифровых преобразователей создали Д.Е. Полонников, Р.Н. Чернышев, В.А. Самсонов и Ю.И. Петренко.

ГВС — 100 была установлена в диспетчерском центре Белградского аэропорта, Институте катализа им. Борескова Сибирского научного центра АН СССР и Институте кардиологии Министерства здравоохранения СССР. В первом случае вычислительная система прогнозировала движение на подлете самолетов к аэропорту, когда их траектории постоянно коррек-

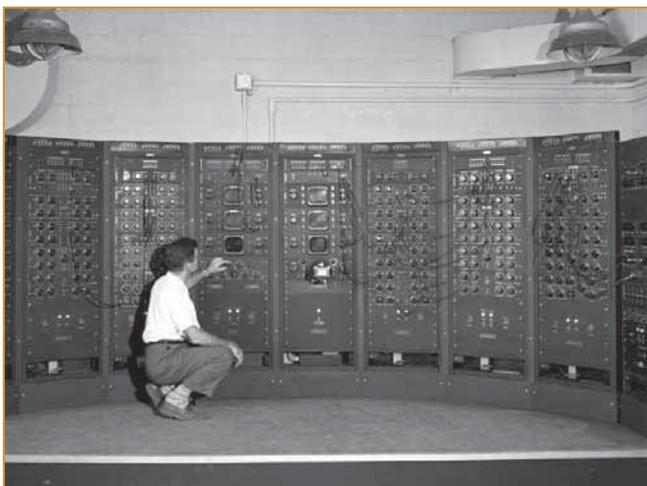


Рис. 2. Модульная аналого-цифровая система

тировались в процессе движения. Цифровая подсистема получала данные от систем слежения за самолетами и давала задание на моделирование ситуации в случае выполнения пилотами указаний диспетчеров о смене эшелона полета. Цифровая часть отображала результаты моделирования на экранах диспетчерского пункта. Во втором и третьем приложениях ГВС решала задачи моделирования и идентификации параметров химических и биологических объектов.

Но главным образом гибридные вычислительные системы требовались в авиационных и ракетных конструкторских бюро для создания испытательных стендов и тренажеров пилотов. Поэтому была разработана ГВС «Русалка» [5]. Эта система состояла из трех основных компонентов: серийной ЭВМ СМ-4 (советский аналог американской PDP-11), модульного аналогового вычислителя, серийный выпуск которого в 1980 г. наладил Уфимский машиностроительный завод Министерства авиационной промышленности, и многоканального комплекса аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей разработки НИИСЧЕТМАШа. Серийный выпуск преобразователей, разработанных для ГВС «Русалка»,

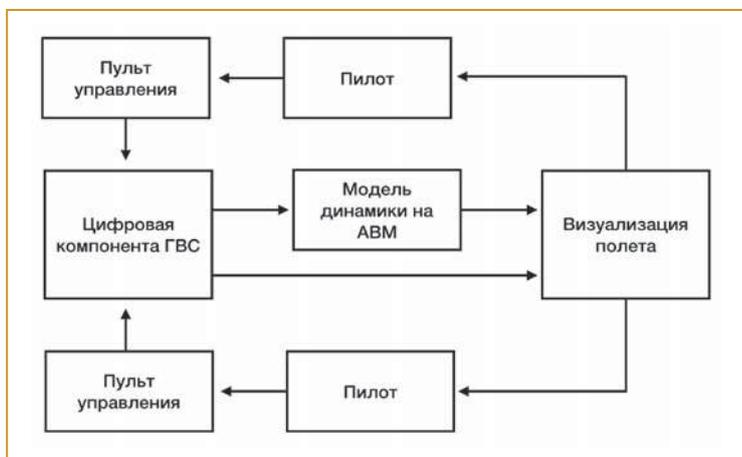


Рис. 3. Схема тренажера для подготовки пилотов

осуществлял московский завод САМ Министерства радиопромышленности. Поскольку серийный выпуск ГВС и ее основные применения осуществлялись в «почтовых» ящиках, работы по ГВС «Русалка» практически не освещалась в открытой печати.

При разработке архитектуры и программного обеспечения ГВС были использованы две оригинальные идеи (А. И. Казьмин, А. А. Менн): программируемые схемы обмена данными и комбинируемые механизмы прерываний. Тогда, когда данные поступали в цифровую ЭВМ в реальном времени, частично отключалась схема прерываний вычислительного процесса с помощью специальных масок. Это позволяло избежать переключения с одного вычислительного процесса на другой с вероятностью потери данных. Данные записывались, минуя магистральную шину данных ЭВМ непосредственно в цифровую память по программируемому каналу прямого доступа. В то же время, чтобы не находиться в режиме постоянной проверки управляющего воздействия, меняющего алгоритм расчетов (например, при изменении схемы полета оператором), использовались автоматические прерывания. Поддерживалась схема приоритетности прерываний. Соответствующим образом была модернизирована операционная система ЭВМ, в состав которой были добавлены специальные диспетчеры вычислительного процесса.

Государственные испытания ГВС проводились авторитетной комиссией, назначенной АН СССР, с включением в нее представителей министерств авиационной и радиопромышленности, а также министерства общего машиностроения, отвечавшего за ракетную отрасль страны. Возглавлял комиссию директор Вычислительного центра АН СССР, академик А. А. Дородницын.

Примером типовых задач, которые решались на ГВС, были задачи самонаведения. Для них характерно то, что траектория движения формируется в процессе самого движения как результат управляющих и внешних воздействий. По мере приближений объекта к цели скорость изменения некоторых параметров становится столь значительной, что использование

чисто цифровых решений не обеспечивает требуемого быстродействия, чтобы моделировать процессы в реальном времени, а чисто аналоговое решение не способно охватить большой динамический диапазон измеряемых величин с приемлемой точностью. Кроме того, аналоговая машина не могла корректно обработать многие «пограничные» ситуации. В этом случае гибридная система позволила скомпенсировать недостатки обеих технологий и «выкрутиться» из нештатных состояний.

Другим приложением были комплексные авиационные тренажеры. Построение вычислительной части комплексных тренажеров показало, что наибольшая точность моделирования достигается, если уравнения движения вокруг центра тяжести возлагают-

ся на аналоговую часть, а движением центра тяжести в пространстве и всеми кинематическими соотношениями занимается цифровая машина.

На рис. 2 показана модульная ГВС, установленная в одном из авиационных КБ. На рис. 3 показана типовая схема тренажера для двух операторов, управляющих взаимодействующими в воздухе летательными аппаратами.

#### Эпоха систем ПС

В середине 70-х в Институте начались наиболее масштабные по привлеченным ресурсам и перспективам применения работы над цифровыми комплексами с элементами параллельных вычислений (серия ПС). Задача ставилась масштабная: построить относительно дешевое семейство вычислительных машин на базе существовавшей элементной базы, применявшейся в технике общепромышленного назначения. По производительности комплексы ПС-2000 и ПС-3000 должны были превзойти другие разработки, проводившиеся в СССР, включая оборонные области применения. Техническим идеологом всех проектов стал И. В. Прангишвили, а политическое руководство в начальный период разработки осуществлял В. А. Трапезников при поддержке министра приборостроения К. Н. Руднева. Чуть позднее Научным руководителем разработки серии ПС стал И. В. Прангишвили.

Разработка старших моделей ПС (ПС-2000 и ПС-3000) проводилась совместно с НИИУВМ НПО "Импульс" (г. Северодонецк, ныне Украина). НПО занималось разработкой и производством ЭВМ серий СМ1 и СМ2. Исходя из этого, с целью сокращения сроков проектирования и подготовки производства параллельные процессоры ПС разрабатывались как специализированные вычислительные системы, а управление параллельными структурами и взаимодействие с периферийными устройствами возлагалось на модернизированные компьютеры общего назначения СМ2М. Программное обеспечение также предполагалось базировать на операционной системе СМ2М и имевшихся для этих ЭВМ трансляторах с языков высокого уровня. Спустя некоторое время должно было появиться специализированное программное обеспечение, автоматизирующее программирование параллельных вычислений.

Архитектура специализированных вычислителей ПС-2000 была близка к известной к тому времени SIMD архитектуре (англ. Single Instruction Stream —

Multiple Data Stream). С учетом входящей в состав ПС-2000 управляющей ЭВМ структура ПС-2000 аналогична гибридной вычислительной системе с полностью цифровыми компонентами (рис. 4) [6].

Конструкторская разработка ПС-2000, как и ПС-3000, проводилась в НИИУВМ под руководством главного конструктора этого института В. В. Резанова. Научное сопровождение разработки осуществляли И. Л. Медведев (архитектура), И. И. Итенберг (проектирование), С. Я. Виленкин (матобеспечение).

Сильной стороной, выделявшей ПС-2000 из всего семейства ПС, была исходная ориентированность на прикладные задачи. Наиболее полно этот подход был реализован совместно с НПО "Геофизика". Были выявлены тестовые задачи, на которых достигался, как говорили авторы разработки, рекордный "гражданский" показатель "производительность/стоимость". Но на многих задачах сказывалась недостаточная производительность серийного управляющего процессора и особенно его каналов обмена с памятью. Если размерность задачи была больше числа параллельно работавших процессорных элементов, приходилось постоянно производить обмен данными между специализированным вычислителем и управляющей ЭВМ. Пропускная способность каналов при этом резко снижала производительность всей системы. Если число однородных вычислений на процессорных элементах значительно превышало число обменов данными с памятью, то производительность ПС-2000 была очень высокой. К сожалению, на практике такое благоприятное стечение обстоятельств случается не очень часто.

С 1981 по 1988 гг. Северодонецким приборостроительным заводом было выпущено несколько сотен ПС-2000 различной комплектации, что было большой редкостью для разработок академических институтов. Используя полученный на ПС-2000 опыт, геофизики создали большой задел методов и алгоритмов для работы на параллельных структурах архитектуры SIMD следующих поколений.

Мультипроцессорный вычислительный комплекс (МВК) ПС-3000 [7,8] создавался как более универсальный по сравнению с ПС-2000. Разработчики ПС-3000 (В. В. Игнатушенко, Э. А. Трахтенгерц — ИПУ, В. М. Борисенко, Е. В. Шербаков — НИИУВМ) использовали архитектуру MIMD (англ. Multiple Instruction stream, Multiple Data stream). В русскоязычной литературе для ссылки на такую архитектуру обычно используется аббревиатура МКМД.

В состав МВК входили: до четырех центральных (скалярных) процессоров (СП); один или два векторных процессоров (ВП), аналогичных процессорным элементам ПС-2000; до четырех модулей общей параллельной оперативной памяти (по 4 Мб в каждом); до 16 системных субкомплексов

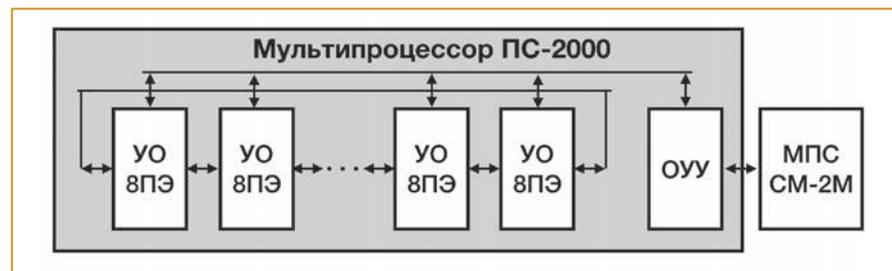


Рис. 4. Структура векторного процессора для ПС-2000

(периферийных процессоров — ПП, заимствованных по схемотехнике у соответствующих элементов СМ2М). Все СП и ПП имели прямой доступ ко всей оперативной памяти. Все процессоры и решающие поля ПС-3000 могли функционировать одновременно и асинхронно по отношению друг к другу.

Разработчики рассчитывали использовать этот комплекс для задач верхнего уровня в производственных системах управления, которые сегодня имеют обобщенное название ERP (англ. Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия). Для ПС-3000 в отличие от ПС-2000 планировалось организовать мультизадачный режим. Поэтому каждый ВП и, соответственно, каждый его процессорный элемент был доступен двум скалярным процессорам, между которыми могли динамически перераспределяться вычислительные ресурсы непосредственно в ходе вычислительного процесса. Каждый процессорный элемент ВП был снабжен двумя комплектами регистров для хранения команд и данных, поступающих от соответствующих СП через "собственные" магистральные каналы связи. В каждом процессорном элементе имелась автономная память микропрограмм, аппаратура конвейеризации вычислений и асинхронных обменов информацией между ВП и связанными с ним скалярными процессорами.

Поскольку ПС-3000 имел возможности распараллеливания не только при обработке однородных данных, но и независимых по данным команд исполняемой программы, в Институте проводились масштабные исследования по распараллеливанию программного кода (В. Г. Лебедев) [9].

Для использования всех аппаратных ресурсов ПС-3000 необходимы специальная операционная система, позволяющая распределять вычислительные ресурсы на уровнях заданий и задач, трансляторы с языков высокого уровня с постобработкой для распараллеливания программного кода.

Кроме того, для решения заявленных разработчиками целевых задач для ПС-3000 были необходимы развитые базы данных высокого уровня. К сожалению, сложность перечисленных систем была столь высока, что к началу серийного выпуска указанные системы не были завершены. Всего было выпущено около 10 экземпляров ПС-3000, которые в основном использовались разработчиками программного обеспечения.

Разработка ПС-3000 имела огромное значение для научных исследований параллельных архитектур и моделирования параллельных вычислений. Результаты этих работ использовались следующим поколением разработчиков ЭВМ с распараллеливанием вычислительных процессов.

Одной из заметных разработок Института был управляющий компьютер ПС-300, выпущенный небольшой серией НПО «Элва» в г. Тбилиси. Он был ориентирован на работу в промышленных установках для оперативного управления технологическими

процессами. Отличительной особенностью ПС-300 и его модификаций было микропрограммное управление, позволявшее создавать специальные команды в зависимости от области применения и подключаемых устройств связи с объектом. Это несколько облегчало создание программного обеспечения ПС-300 на Ассемблере — основном языке программирования этих вычислителей.

Главной проблемой при создании машин серии ПС было постоянное запаздывание в разработке эмуляторов (систем, позволяющих разрабатывать прикладные программы для перспективных вычислителей и моделировать их работу на универсальных ЭВМ). Поэтому специалисты в прикладных областях, нуждавшиеся в ускорении работы своих методов за счет параллельного исполнения вычислений, не могли начинать подготовку программ и их тестирование до появления промышленных образцов ЭВМ. Разработчики зарубежных ЭВМ передают в безвозмездное пользование эмуляторы всем предполагаемым разработчикам программного обеспечения и потенциальным пользователям года за два до появления промышленных образцов. Вычислительные машины, не имеющие большого набора системного и прикладного программного обеспечения к моменту запуска в серию, не имеют ни одного шанса на широкое распространение, как бы ни была оригинальна их архитектура. Проблема с эмуляторами негативно сказалась на использовании интересных по замыслу машин серии ПС.

#### Прикладные программные системы

Работы Института в области прикладного программного обеспечения не имели ярко выраженного исследовательского значения, а скорее являлись практическим внедрением ранее полученных результатов. Таких работ было не очень много, но некоторые не уступали по качеству созданного продукта специализированным конструкторским бюро и отраслевым институтам.

Наиболее значимой прикладной системой, в разработке которой принимали участие сотрудники Института (лаборатория В. А. Жожикашвили), была система «Сирена». Это первая в стране автоматизированная система, предназначенная для продажи авиабилетов на любые рейсы Аэрофлота с установленных во многих городах страны терминалов без предварительного резервирования билетов в каждой точке продаж [10]. Конечно, главный объем программирования был выполнен организациями Министерства гражданской авиации, но многие алгоритмы работы системы были разработаны и промоделированы в стенах Института.

В начале 80-х в лаборатории № 35 под руководством Э. Л. Ицковича была разработана автоматизированная система управления аптекой ЦКБ 4-го Главного управления Минздрава СССР. Это была первая в стране аптечная система, которая отслежи-

*Вычислительная техника - это нечто, что человек отныне вынужден нести, как несут свой крестный, отказ от нее для него был бы равнозначен самоотрицанию.*

Ремейк по фразе Габриэля Оноре Марселя

вала выдачу аптекой лекарств отделениям больницы согласно врачебным назначениям и одновременно контролировала остатки и рассчитывала число препаратов, которые следовало заказать для будущих нужд. По рассказам авторов разработки (Д. Э. Гуковский, В. И. Кривов), главная сложность во внедрении системы заключалась не столько в технической реализации, сколько в организации взаимоотношений сотрудников ЦКБ и вычислительной машины. Не секрет, что в поздние советские годы лекарства и препараты были одним из самых дефицитных продуктов. Одной из наиболее престижных черт работы врача в 4-м Главном управлении Минздрава (в Кремлевке) был доступ к препаратам. Врачи и другой персонал, работавшие в учреждениях этого управления, могли купить любые лекарства для своих родных и друзей. Внедрение автоматизированного учета отпуска лекарств строго по назначениям лечащих врачей во многом ограничивало такие возможности. Поэтому персонал аптеки в ЦКБ противился внедрению автоматизированной системы и даже несколько раз нарушал ее работу. В конце концов, совместно с дирекцией ЦКБ было найдено компромиссное решение. Многие лаборатории института изучали этот эксперимент человеко-машинного взаимодействия и были благодарны авторам разработки за передачу своего опыта.

#### Заключение

Институт автоматики и телемеханики/Институт проблем управления всегда играл очень важную роль в развитии технических наук в стране. Усилиями нескольких поколений учёных и инженеров создавались не только основы теории автоматического управления, но и замечательные образцы техники и программных систем. Самые успешные разработ-

ки заняли достойное место в истории страны. Их внимательно изучали зарубежные специалисты. Эти разработки были конкурентоспособны и иногда даже опережали зарубежные в прямом или заочном соревновании. Временное отставания отечественной технической кибернетики настоящего времени не должно заслонять результаты и успехи прежних лет.

#### Список литературы

1. Коган Б.Я. Аналоговая вычислительная техника и автоматическое управление. Институт автоматики и телемеханики (технической кибернетики). М. 1966.
2. Кононенко Е.В., Финн А.Ф. Применение вычислительной машины ЭМУ-10 для исследования переходных электромеханических процессов в синхронных реактивных двигателях // Известия Томского Ордена Трудового Красного Знамени политехнического института им. С.М. Кирова. 1966. Т. 160.
3. Авен О.И., Коган Я.А. Управление вычислительным процессом в ЭВМ (Алгоритмы и модели). М. 1979.
4. Адельсон-Вельский Г.М., Арлазаров В.Л., Битман А.Р., Донской М.В. Машина играет в шахматы. М. 1983.
5. Дудкин М.В., Казьмин А.И., Менн А.А. Математическое обеспечение гибридной вычислительной системы "Русалка". Гибридный ассемблер. Гибридный диалоговый отладчик / Ин-т пробл. управления - Москва, 1980.
6. Прангишвили И.В., Виленкин С.Я., Медведев И.Л. Многопроцессорные вычислительные системы с общим управлением. М. 1983.
7. Трапезников В.А., Прангишвили И.В., Новохатный А.А., Резанов В.В. Многопроцессорный УВК с перестраиваемой структурой типа ПС-3000 // Приборы и системы управления. 1984. № 1. с. 3-5.
8. Иенатущенко В.В. Организация структур управляющих многопроцессорных вычислительных систем. М. 1984.
9. Лебедев В.Г. Разработка и исследование автоматического распараллеливания циклов и блочного распараллеливания Фортран-программ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. ИПУ, М., 1982.
10. Жожикашвили В.А. Исследование общих принципов построения, разработка и внедрение автоматизированной системы управления "Сирена". Доклад по совокупности работ, представленный на соискание ученой степени доктора технических наук. 05.13.01 / АН СССР. Институт проблем управления (автоматики и телемеханики). М. 1973.

*Менн Александр Аркадьевич – д-р техн. наук, проф, председатель Совета директоров группы Союз.  
Контактный телефон +7(499)579-77-50.*

#### Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**.
- в России – в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты. Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс **81874**) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс **39206**).
- в России, странах СНГ и дальнего зарубежья – через редакцию ([www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)).

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или оформив анкету на сайте [www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)

В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.