

ИСААК СЕМЕНОВИЧ БРУК И ЕГО ШКОЛА

Филинов Е.Н., Прохоров Н.Л.

Москва, Россия

Если школа академика С.А.Лебедева складывалась в направлении создания ЭВМ максимальной производительности при каждом поколении технической базы, то школа члена-корреспондента АН СССР И.С.Брука изначально была нацелена на класс малых и средних ЭВМ, для которых весьма существенными являются показатель цена/производительность и сбалансированный компромисс характеристик.

Начало работы И.С.Брука над цифровыми ЭВМ относится к 1948 году. Интересно отметить, что и С.А.Лебедев, и И.С.Брук пришли к разработке цифровых машин, имея опыт решения задач из области электроэнергетики на аналоговых вычислительных машинах. В 1948 году И.С.Брук совместно с Б.И.Рамеевым составил отчет о принципах работы двоичной вычислительной машины с хранимой программой. В 1950 г. в Лаборатории электросистем Энергетического института АН СССР, руководимой И.С.Бруком, была начата разработка электронной автоматической цифровой вычислительной машины М-1. Основные идеи М-1 были сформулированы И.С.Бруком и Н.Я.Матюхиным, тогда молодым инженером, окончившим в 1950 году Радиотехнический факультет МЭИ, впоследствии членом-корреспондентом АН СССР. М-1 имела двухадресную систему команд, память 512 25-разрядных двоичных чисел, реализованную на магнитном барабане. М-1 заработала почти одновременно с МЭСМ, созданной С.А.Лебедевым в Киеве. Первые задачи на М-1 решались академиком С.Л.Соболевым, в то время заместителем академика И.В.Курчатова, директора Института атомной энергии.

В 1952 г. Лабораторией И.С.Брука была создана машина М-2. Ее разработку выполнила группа выпускников МЭИ, возглавляемая М.А.Карцевым. М-2 имела трехадресную систему команд, формат 34 двоичных разряда, представление чисел с плавающей точкой и фиксированной точкой, память на электронно-лучевых трубках (ЭЛТ) емкостью 512 чисел и дополнительную память на магнитном барабане емкостью 512 чисел. Производительность М-2 составляла в среднем 2 тыс.оп/сек. В памяти М-2 были применены обычные осциллографические ЭЛТ, а в логических схемах полупроводниковые диоды - что значительно сократило число электронных ламп, потребляемую мощность и стоимость. Опыт построения диодных логических схем, примененных в М-2, послужил в дальнейшем основой для диодно-транзисторной логики - схемотехники элементной базы ЭВМ второго поколения. Летом 1953 г. М-2 была введена в эксплуатацию. На ней проводились расчеты для Института атомной энергии, предприятия академика А.И.Берга, Института теоретической и экспериментальной физики АН СССР, Института проблем механики АН СССР (расчеты прочности плотин

Куйбышевской и Волжской гидроэлектростанций) и многих других научных и промышленных организаций. В 1953 году в СССР такие задачи можно было решать только на трех машинах - БЭСМ, М-2 и "Стрела". В 1954 г., затем в 1956 г. М-2 была модернизирована с расширением емкости оперативной памяти до 4096 чисел. Это потребовало введения специального регистра для запоминания того, какая область памяти используется программой, и специальной операции изменения содержимого этого регистра (переключение областей памяти). Вероятно, впервые в М-2 М.А.Карцевым была реализована идея укороченных адресов в командах и укороченных кодов операций. Эта идея была предшественником способов формирования исполнительных адресов в ЭВМ второго и третьего поколений.

Опираясь на опыт работ по М-1 и М-2, И.С.Брук в 1955-56 гг. сформулировал концепцию малых ЭВМ, в отличие от концепции ЭВМ высокой производительности (которую в настоящее время представляет класс суперЭВМ). Эта концепция отражалась им в термине "малогабаритная машина", который, конечно, не исчерпывал всех свойств малых ЭВМ, однако характеризовал потребности многих организаций, которые могут быть удовлетворены машиной, не обладающей рекордным быстродействием.

Первым решением задачи создания малых ЭВМ, поставленной И.С.Бруком, была разработка М-3, проведенная совместно Лабораторией управляющих машин и систем АН СССР и ВНИИЭМ в 1956-57 гг. М-3 работала с 30-разрядными двоичными числами с фиксированной точкой, имела двухадресный формат команд, память емкостью 2048 чисел на магнитном барабане и производительность 30 оп/сек. При работе с ферритовой памятью той же емкости производительность М-3 возрастала до 1,5 тыс.оп/сек. Она имела всего 770 электронных ламп и 3 тыс. купроксных диодов и занимала площадь 3 кв.м. Основные идеи построения М-3 были сформулированы И.С.Бруком, Н.Я.Матюхиным и В.В.Белынским. М-3 была предназначена для проектных и исследовательских институтов и после ее приемки в 1957 году Государственной комиссией под председательством академика Н.Г.Бруевича выпускалась серийно на заводе имени С.Орджоникидзе в Минске. До начала серийного выпуска три организации в кооперации на паях изготавливали образцы М-3 для себя: КБ академика С.П.Королева, ВНИИЭМ (акад. А.Г.Иосифьян) и Институт математики АН Армянской ССР (акад. С.Н.Мергелян), из которого позже выделился Ереванский институт математических машин. Таким образом, М-3 послужила прототипом для двух промышленных серий ЭВМ - "Минск" и "Раздан". В появившихся позже Минск-2, Минск-3 и других машинах, выпускавшихся в Белоруссии и Армении, были заметны гены М-1 и М-3. Школа управляющих машин ВНИИЭМ также имела своей прародительницей М-3, что неоднократно отмечали участники ее разработки Б.М.Каган, В.М.Долкарт.

В традициях школы малых ЭВМ И.С.Брука была выполнена разработка машины "Сетунь", выпускавшейся серийно Казанским заводом ЭВМ. Автор машины "Сетунь" Н.П.Брусенцов сотрудничал с И.С.Бруком во время создания М-2 и развил инженерные подходы к конструированию малых ЭВМ, которые были свойственны школе И.С.Брука. Машина "Сетунь" интересна тем, что она

была основана на троичной системе счисления. Интересен также опыт программирования задач на машине "Сетунь", который дал представление о подходах к структурному программированию и диалоговому режиму работы.

В 1957 году И.С.Бруком была поставлена научная проблема "Разработка теории, принципов построения и применения электронных управляющих машин". Для решения этой проблемы был создан Институт электронных управляющих машин АН СССР (ИНЭУМ), директором которого стал И.С.Брук, научный руководитель проблемы. Постановка проблемы содержала систематизированное изложение основных направлений фундаментальных и прикладных исследований в области автоматизации производства и управления объектами с помощью электронных цифровых управляющих машин, создания автоматизированных систем управления, включающих в качестве звена человека-оператора, взаимодействующего с машиной. Заметим, что термин "Кибернетика" еще не употреблялся в то время в связи с идеологическими гонениями на это слово в недавнем прошлом. Однако, по содержанию проблема, поставленная И.С.Бруком, была направлена на развитие исследований и разработок в СССР именно в области кибернетики (как потом стали говорить, - технической кибернетики). Проблемная записка И.С.Брука, опубликованная АН СССР в 1958 г., явилась толчком к организации в стране в конце 50-х годов целого ряда научно-исследовательских институтов и КБ, которые занимались созданием и применением универсальных и специализированных цифровых электронных управляющих машин и систем.

Такие НИИ и КБ были организованы в оборонных отраслях промышленности для решения задач управления объектами. В НИИ, которым руководил Главный конструктор Г.Л.Шорин, перешла из ИНЭУМ группа разработчиков во главе с Н.Я.Матюхиным с целью создания цифровых вычислительных и управляющих машин систем противовоздушной обороны. В дальнейшем эта группа составила ядро Отделения в НИИ автоматической аппаратуры, директором которого стал академик В.С.Семенихин. Н.Я.Матюхин в 1957 г. независимо от М.Уилкса предложил принцип микропрограммного управления ЭВМ, что потребовало детальной проработки алгоритмов выполнения арифметических операций, разложения их на элементарные микрооперации и макетной проверки схемотехники микропрограммной машины, использующей постоянную память для хранения микропрограмм. Реализован этот принцип им был в 1960 г. в специализированной машине "Тетива".

В 1957 г. в ИНЭУМ коллектив, руководимый М.А.Карцевым, начал разработку электронной управляющей машины М-4, одной из первых транзисторных машин, предназначенной для управления в реальном масштабе времени комплексом радиолокационных станций (РЛС), который создавал Радиотехнический институт АН СССР (академик А.Л.Минц). В 1958 г. были разработаны эскизный и технический проект М-4, а в 1959 г. уже были изготовлены 2 комплекта М-4 на заводе. Испытания заводского образца М-4 на экспериментальном комплексе РЛС были проведены в 1962 г. Это была машина, впервые выполненная по ТЗ конкретного заказчика, что позволило принимать технические решения, соответствующие предполагаемым

алгоритмам обработки информации. М-4 работала с 23-разрядными числами с фиксированной точкой (отрицательные числа представлялись в дополнительном коде), имела оперативную память емкостью 1024 24-разрядных числа и постоянную память программ емкостью 1280 30-разрядных чисел (использовалось разделение памяти программ и данных). Кроме того, она содержала узлы приема и выдачи информации с собственной буферной памятью и имела параллельный ввод/вывод информации по 14 каналам со скоростью более 6 тыс.чисел/сек. Реальное быстродействие М-4 составляло 30 тыс.оп/сек. (на операциях сложения). Решение о запуске М-4 в серийное производство состоялось в 1962 году. Но разработчики настояли на ее модернизации, имея в виду, что, благодаря прогрессу в электронной технике за 1957-62 гг., можно было резко улучшить ее характеристики и выпустить машину, на порядок более мощную, чем выпускавшиеся тогда в СССР. Модернизированная М4 (М4М) включала также новые узлы первичной обработки информации (устройство перекодирования, устройство определения координат), буферную память. В декабре 1964 года завод выпустил 5 машин М-4М, которые имели быстродействие 220 тыс.оп/сек на программах, записанных в постоянной памяти, и 110 тыс.оп/сек на программах, хранящихся в основной оперативной памяти. Емкость оперативной памяти составляла от 4096 до 16384 29-разрядных слов, а постоянной памяти - от 4096 до 8192 в инструкций и констант (также 29-разрядных). В таком виде М-4М выпускалась серийно 15 лет. Для нее была в 1968 г. разработана система внешних устройств для ввода, хранения, документирования, частичной обработки и выдачи информации внешним абонентам при одновременной асинхронной работе всех абонентских систем и устройств.

Руководителем этих разработок М.А.Карцевым был сделан значительный вклад в создание цифровых вычислительных и управляющих машин. Свой опыт и представления об архитектуре ЦВМ М.А.Карцев обобщил в монографии "Архитектура цифровых вычислительных машин", изданной в 1978 году, рассмотрев эти вопросы применительно уже к машинам 3-го поколения.

Другой разработкой ИНЭУМ, выполненной под руководством И.С.Брука, была управляющая машина М-7. Эта машина имела характеристики, относящие ее к другому классу по сравнению с М-4. М-7 предназначалась для систем управления мощными теплоэнергетическими блоками электростанций ("котел-турбина-генератор"). Она выполняла функции поддержания нормальных режимов работы энергоблока путем их оптимизации на минимум расхода топлива, выдачи соответствующих уставок на регуляторы, а также сложные логические программы операций пуска и останова энергоблока, анализа сочетаний параметров работы энергоблока с целью обнаружения предаварийных ситуаций и отображения необходимой информации для оператора энергоблока. Ориентация архитектуры машины на ожидаемые алгоритмы решения задач позволила выбрать технические решения, наилучшим образом отвечающие требованиям по надежности. М-7 была классической цифровой управляющей машиной последовательного действия с памятью на магнитном барабане и развитыми устройствами связи с объектом,

обеспечивающими ввод аналоговых сигналов с преобразованием их в цифровую форму, а также дискретной информации от релейных датчиков. Она оперировала с 12-разрядными числами с фиксированной точкой. Сходные принципы построения были реализованы в машинах фирмы Librascope (США). Разработку М-7 и ее внедрение в 1966-69 годах на энергоблоках 200 Мвт Конаковской ГРЭС и 800 Мвт Славянской ГРЭС проводили группы Н.Н.Ленова и Н.В.Паутина.

В 1958 году И.С.Брук начал разработку машины М-5. На начальной стадии работ в выборе архитектуры М-5 участвовал М.А.Карцев, а разработка была проведена коллективом во главе с В.В.Белынским. М-5 представляла собой мультипрограммную и многотерминальную ЭВМ, реализующую режимы как пакетной обработки, так и разделения времени. Ее структура базировалась на общей магистрали, связывающей центральный процессор, блоки оперативной памяти, устройства управления вводом-выводом и внешней памятью (игравшие роль каналов, характерных для машин третьего поколения). Была выделена адресная арифметика, обеспечивавшая выполнение операций над индексными регистрами и преобразование. М-5 оперировала с 37-разрядными числами с фиксированной и плавающей точкой. 37-разрядный формат одноадресных инструкций содержал поля адреса, ключей, индексов и кода операций. Была обеспечена возможность страничной организации памяти. Машина М-5, реализованная на транзисторных элементах и ферритовой памяти (т.е. на технической базе ЭВМ второго поколения), по своей архитектуре во многом была предшественницей ЭВМ третьего поколения. Она была изготовлена Минским заводом им. С.Орджоникидзе в одном экземпляре в 1961 году и, к сожалению, не получила дальнейшего развития по причинам не технического, а организационного характера.

И.С. Брук еще во второй половине 50-х годов пришел к выводу, что наряду с применением ЭВМ для научных расчетов и управления объектами, необходимо развивать другую область применения ЭВМ - обработку экономической информации для задач учета, статистики, планирования, моделирования экономики. Зная о результатах Л.В.Канторовича по методам линейного программирования, В.Леонтьева по классическим динамическим моделям экономики, методам межотраслевых балансов, И.С.Брук развернул в ИНЭУМ работы по применению математических методов и вычислительной техники для решения экономических задач на государственном уровне. С самого начала этих работ И.С.Брук ставил задачу о достоверности исходной базы для экономико-математических моделей, которую составляли соотношения цен. Он говорил о том, что в нормальной экономике не может быть планово-убыточных отраслей, что проводимая в начале 60-х годов в СССР экономическая реформа должна учитывать пересмотр цен. Одновременно он имел ввиду учет специфики экономико-математических задач при создании ЭВМ следующих поколений. Эти и другие предложения И.С.Брука по применению ЭВМ в экономике встретили резкие возражения у руководства Госпланом СССР, в ведение которого попал ИНЭУМ в начале 60-х годов. В результате непримиримых противоречий с руководством И.С.Брук в 1964 г. был вынужден уйти с поста директора ИНЭУМ.

В 1967 году ИНЭУМ возглавил Б.Н.Наумов. Он продолжил работы по проблеме "Создание теории, принципов построения и применения электронных управляющих машин", поставленной И.С.Бруком. Под руководством Б.Н.Наумова в 1968-74 гг. была разработана Агрегатная система средств вычислительной техники на микроэлектронной базе (АСВТ-М). Эти средства (М-4030, М-400, М-40) составили в 70-х годах техническую базу автоматизированных систем управления, созданных в СССР для автоматизации научных исследований и экспериментов, автоматизации диспетчерского управления в крупных энергообъединениях и энергосистемах, управления технологическими процессами, производствами, цехами и предприятиями в машиностроении, металлургии и других отраслях промышленности. При разработке АСВТ-М учитывалось взаимодействие ЭВМ разных архитектур в интегрированных производственных системах, состоящих из иерархии нескольких уровней управления. Для ЭВМ верхнего уровня (М-4030) была выбрана архитектура, совместимая с моделями ЕС ЭВМ. Класс мини-ЭВМ представляла М-400, совместимая с РДР-11 фирмы DEC. Для нижнего уровня систем предназначались машины централизованного контроля и регулирования М-40. Предусматривалось также сопряжение с агрегатными комплексами Государственной системы приборов и средств автоматизации (датчики, измерительные приборы, исполнительные механизмы, регуляторы).

Сопряжение ЭВМ разных архитектур в гетерогенных системах было одной из существенных особенностей АСВТ-М. Фирмы IBM и DEC стали решать объединенными усилиями вопросы совместной работы выпускаемых ими ЭВМ значительно позже - только в 80-х годах. При разработке программного обеспечения М-4030 был решен вопрос совместимости близких архитектур на уровне операционной системы. Операционная система ДОС АСВТ для М-4030 (разработчики И.Я.Ландау, В.А.Козмидиadi), будучи совместимой для приложений с системой BS-2000 фирмы Сименс, работала на аппаратуре, архитектурно совместимой с системой 360 фирмы IBM.

В основу выбора архитектурных решений ЭВМ, входящих в АСВТ-М, были положены соображения, многократно обсуждавшиеся Б.Н.Наумовым и И.С.Бруком, в то время научным советником ИНЭУМ. Представляют интерес неопубликованные комментарии И.С.Брука по докладу Межведомственной комиссии о разработке систем "Ряд" (ЕС ЭВМ), сделанные им в 1971 г. И.С.Брук писал: "Если только не поставить перед собой цель выйти на внешний рынок и частично вытеснить западные фирмы, то при выборе структуры "Ряда" следовало бы больше ориентироваться на существующие у нас условия с учетом их изменения вследствие роста применения вычислительной техники. Доклад ориентирует на повторение или ускорение прохождения пути развития вычислительной техники за рубежом, т.е. в США. И это представляется ошибочным. Главные рекомендуемые в докладе мероприятия - увеличить капиталовложения, значительно увеличить подготовку кадров, довести все составляющие примерно до уровня США, а "остальное приложится". Конечно, вложения дадут результаты. Но это верно в целом лишь отчасти. Предпосылкой является, по мнению составителей доклада, то, что, если в США применение вычислительной техники и средств автоматической обработки информации дает

значительный экономический эффект, то тем более это даст эффект в условиях социалистического планового хозяйства ввиду его бесспорных преимуществ. Нужно, однако считаться с тем, что никакого “автоматизма” здесь в действительности нет. Экономические выгоды не лежат на поверхности, и их извлечение требует больших усилий и умения. В этом суть дела. Многолетний опыт разработки, производства и различных применений вычислительной техники в СССР показывает, что несмотря на значительные вложения в эту область, наличие мощной производственной базы, продолжается выпуск оборудования, отстающего по своим характеристикам от зарубежного уровня примерно на 12 лет. Это отставание неравномерно по всему фронту. Например, разработанная ИТМ и ВТ БЭСМ-6 несомненно ближе других к современным ЭВМ по своей логике и производительности. Для всех разработок и выпускаемых устройств характерен низкий уровень технологии, заложенный в конструкциях. Сам по себе тот факт, что при незначительном годовом выпуске в несколько сот вычислительных машин они выпускаются более десяти различных типов, не имеющих ничего общего по конструкциям, логике, языку и т.п., свидетельствует об отсутствии сколько-нибудь разумного регулирования и планирования. Поэтому введение вместо многочисленных выпускаемых и намечаемых к выпуску “проталкиваемых”, премированных и т.п. машин (систем) - ограниченного числа программно совместимых моделей безусловно прогрессивно.

Практически невозможно скопировать вычислительную машину по общему описанию, списку команд и описанию конструкции, эксплуатационным документам. Нет нужды доказывать, что наилучшим и экономичным по затрате времени решением проблемы освоения того, что уже достигнуто за рубежом, было бы использование лицензий - готовой документации и технологии. В противном случае - трудно устранимое отставание. Главным средством сокращения длительности разработок и освоения их в производстве является уменьшение объема самих разработок за счет сокращения номенклатуры до разумного минимума. Надо ориентироваться на массовое производство моделей, имеющих наибольшее применение, - малых и средних моделей семейства. На начальном этапе следует ограничиться одной-двумя моделями с соотношением их производительности в 4-5 раз (а не в 3 раза как у семейства 360). Привлекательны двухпроцессорные системы с точки зрения повышения производительности за меньшую цену и надежности (живучести) с потерей производительности при отказах.

Наконец, в области применений необходимо в корне изменить подход к функциональному построению АСУ, не копировать когда-то принятую структуру сложившейся ручной технологии. Это лишено смысла.”

Учет рекомендаций И.С.Брука позволил ИНЭУМ и Киевскому заводу ВУМ создать в начале 70-х годов ЭВМ М-4030 и М400, а затем СМ4, по характеристикам близкие к ЭВМ, доминировавшим в то время на мировом рынке.

В разработках СМ ЭВМ, освоенных в производстве в период 1974-1984 гг. кооперацией стран-членов СЭВ, Б.Н.Наумов, как Генеральный конструктор системы мини-ЭВМ (СМ ЭВМ), провел последовательную линию на принятие

международных стандартов МЭК, ИСО и стандартов "де-факто" в части архитектуры мини-ЭВМ. "Бытует мнение, - говорил Б.Н.Наумов, - что ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ представляли собой копии зарубежных образцов. Это мнение является ошибочным. ЭВМ Единой системы, так же, как и СМ ЭВМ, существенно отличаются от аналогичных зарубежных ЭВМ, хотя бы уже потому, что они созданы на базе нашей отечественной технологии, а она неадекватна зарубежной. При разработке моделей Единой системы и СМ ЭВМ была поставлена цель обеспечить в максимальной мере их совместимость с ЭВМ, разработанными в других странах. Такая цель вполне оправдана, поскольку в противном случае наша вычислительная техника была бы изолирована от мировых достижений в области компьютерной технологии и, в частности, принципиально не имела бы доступа к накопленному в мире программному обеспечению".

В созданных под руководством Б.Н.Наумова моделях СМ ЭВМ был реализован ряд принципов, отличных от зарубежных аналогов. На основе базовых мини- и микро-ЭВМ и аппаратуры КАМАК были разработаны измерительно-вычислительные комплексы - один из видов комплексов с проблемной ориентацией. А.Н.Кабалевским и В.П.Семиком были исследованы и реализованы вычислительные комплексы с разделением функций между двумя или несколькими процессорами. Один из таких комплексов СМ1410 обеспечивал возможность использования прикладных программ инженерных расчетов, написанных для малых ЭВМ "МИР". Комплекс СМ-1410 имел ведущий процессор, совместимый с РДР-11, и процессор приложений, аппаратно (с помощью микропрограмм) реализующий алголоподобный входной язык "Аналитик". Были также реализованы спецпроцессоры - ускорители наиболее часто используемых методов вычислений. Примером таких решений служит вычислительный комплекс на базе СМ4 и Фурье-процессора, созданный ИНЭУМ совместно с Институтом радиотехники и электроники АН СССР (академик В.А.Котельников) для обработки радиолокационных изображений поверхности Венеры. Этот комплекс позволил решить уникальную задачу с помощью миниЭВМ вместо суперЭВМ, которая потребовалась бы в ином случае.

В 1984 году директором ИНЭУМ и Генеральным конструктором СМ ЭВМ стал Н.Л.Прохоров. Продолжая разработки СМ ЭВМ, ИНЭУМ создал микро-ЭВМ СМ 1800 на базе 8-разрядных и 16-разрядных микропроцессоров, а также ряд управляющих комплексов на их базе, освоенных в производстве на заводах в Киеве, Черновцах, Тбилиси, Орле. Были разработаны 32-разрядные вычислительные комплексы СМ-1700, программно-совместимые с VAX-11 фирмы Digital Equipment Corp., которые выпускались серийно на заводе в Вильнюсе. В 90-х годах в ИНЭУМ была разработана мобильная операционная система USIX - оригинальная реализация системы типа UNIX, обеспечивающая режим реального времени и поддерживающая многопроцессорные конфигурации.

Школа И.С.Брука сыграла значительную роль в становлении и развитии вычислительной техники в России и других республиках бывшего СССР. Коллеги и ученики И.С.Брука - Б.И.Рамеев, Н.Я.Матюхин, М.А.Карцев,

Г.П.Лопато, Б.Н.Наумов - создали свои коллективы и школы, которые продолжили традиции, заложенные И.С.Бруком, в разных организациях и предприятиях России, Украины, Белоруссии, Литвы, Армении.