

Ю.С. Ломов

История создания старших моделей ЕС ЭВМ

Введение

В 1968 году в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР «О дальнейшем развитии разработки и производства средств вычислительной техники» (от 30 декабря 1967 года) был создан Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники (НИЦЭВТ) — головная организация СССР и стран социалистического содружества (стран-членов СЭВ) по созданию комплекса электронных вычислительных машин «Ряд» — Единой системы электронных вычислительных машин (ЕС ЭВМ). Кроме выполнения головной роли, НИЦЭВТ непосредственно занимался созданием и внедрением в народное хозяйство старших моделей ЕС ЭВМ по программам «Ряд-1», «Ряд-2» и «Ряд-3».

В это время за рубежом начался массовый выпуск средств вычислительной техники (ВТ) третьего поколения (на микросхемах малой и средней степени интеграции). Парк вычислительных машин развитых зарубежных стран стремительно пополнялся, в том числе и за счет программно-совместимых ЭВМ общего назначения различной производительности. Их работа поддерживалась большим объемом внешней памяти на дисках, мощной и разнообразной номенклатурой периферийных устройств и абонентскими пунктами телеобработки, подключенными к центральному процессору через селекторные и мультиплексные каналы с высокой пропускной способностью. По отношению даже к «звездным» из большой номенклатуры отечественных ЭВМ второго поколения, которые в то время разрабатывались и производились в СССР, зарубежные ЭВМ третьего поколения имели преимущество как по основным характеристикам (производительность, надежность и т. д.), так и по качеству и объемам производства. К тому же указанный парк отечественных ЭВМ использовался в основном для расчетных задач (за исключением ЭВМ «Весна» и «Снег»), в то время как за рубежом ЭВМ третьего поколения использовались в информационных и управляющих системах различного назначения. И это преимущество обеспечивалось новой элементной базой, которую в совокупности с технологиями ее упаковки называют



А.М. Литвинов

базовой технологией. ЭВМ третьего поколения формировали промышленный комплекс индустрии массовых коммерческих средств электронной вычислительной техники. Началось движение в направлении, которое впоследствии назовут научно-технической революцией, изменившей облик цивилизации.

Созданная в США Комиссия по изучению мировых достижений в области программирования и ВТ в своих рекомендациях правительству страны отмечала, что развитые капиталистические страны добились значительного количественного и качественного превосходства в данной области над странами Совета экономической взаимопомощи (СЭВ). Широкий диапазон направлений ВТ делает невозможной и бессмысленной попытку охарактеризовать достигнутое превосходство каким-либо одним показателем. Однако отмечалось, что развитие ВТ в США по многим направлениям опережает страны СЭВ на 5–10 лет и более. Такой вывод не стал новостью ни для руководителей, ни для многих специалистов СССР. К примеру, председатель Комиссии по вычислительной технике АН СССР, председатель Научного совета по ВТ и системам управления Государственного комитета СМ СССР по науке и технике (ГКНТ СССР) академик А.А. Дородницын в своем докладе Коллегии ГКНТ в сентябре 1969 года утверждал, что по «содержательной части математического обеспечения мы стоим на уровне примерно 1960 г. по сравнению с США. У нас организовано ведется лишь разработка внутреннего математического обеспечения и некоторого минимального перечня стандартных программ и почти совсем не ведутся работы по типовым программам для комплексной обработки информации для предприятий, ведомств и других организаций». Академик Е.П. Велихов в 1987 году отмечал, что мы отставали по элементной базе на два поколения. К этому следует добавить, что сложность решаемых научно-технических, планово-экономических и производственных задач постоянно возрастала. Настоятельная необходимость удовлетворения потребностей научно-промышленного и оборонного комплекса страны современной вычислительной техникой требовала создания высокотехнологичной промышленной отрасли электронно-вычислительной техники.



С.П. Соловьев



Л.Д. Райков

Обычно бюрократический темп принятия решений значительно отстает от темпов развития ВТ. Очевидно, что к середине 1960-х годов

положение в области вычислительной техники достигло критической отметки. Решение ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 30 декабря 1967 г. было попыткой привести направление и темпы развития отечественной ВТ в соответствие с мировыми тенденциями.

Решение, определяя цели и задачи развития отечественной ВТ, носило не только мобилизационный характер. Кроме значительных инвестиций, оно предусматривало создание новых научно-технических центров (НТЦ) и промышленных предприятий, определяло конкретные мероприятия по разработке, закупке и внедрению новых технологий третьего поколения и т. д. Этим решением НИЦЭВТ поручалась разработка двух старших моделей ряда программно-совместимых ЭВМ (впоследствии получившего название «Единая система (ЕС) социалистических стран») Р-500 и Р-2000 с производительностью соответственно 500 и 2000 тыс. операций в секунду (оп/с).



Б.Н. Файзулаев

Формально разработка старших моделей ЕС ЭВМ началась с этого момента. В течение 1968 года формировался коллектив НИЦЭВТ и выбиралось направление разработки. Несмотря на то что аванпроект ориентировал разработку ряда совместимых машин на систему IBM 360, окончательное решение еще не было принято. Альтернативой системе IBM 360 могла стать «Система-4», предлагаемая английской фирмой ICL. «Система-4» разрабатывалась этой фирмой по лицензии американской компании RCA. В СССР эксплуатировалось несколько ЭВМ этой системы. Кроме того, фирмой ICL была обещана документация и помощь в разработке. Действительно, вскоре все столы разработчиков НИЦЭВТ оказались завалены документацией «Системы-4». Единственным настольным документом разработчика от IBM была книга «Вычислительная система IBM/360. Принципы работы» под редакцией В.С. Штаркмана.

Когда говорят об архитектуре IBM 360, то под этим понимают архитектуру *системы* как единство принципов работы (функционирования), а не архитектуру входящих в нее отдельных моделей. Возможности архитектурных и структурных решений этих моделей ничем не ограничивались при условии сохранения стандартных компонентов, необходимых и обязательных для идентификации этих моделей как моделей Единой системы.

Фактически работы начались после того, как в декабре 1968 года НИЦЭВТ объединился с Научно-исследовательским институтом



В.Г. Макуровичкин



В.И. Павлов

электронных математических машин (НИЭМ). Директором НИЦЭВТ и генеральным конструктором Единой системы ЭВМ был назначен С.А. Крутовских.

Руководителем научно-технического отделения по разработке старших моделей ЕС ЭВМ стал В.С. Антонов (позднее Ю.С. Ломов). Основной костяк разработчиков этого отделения составляли: А.А. Шульгин, К.С. Ораевский, М.Д. Пейбарт, И.Б. Михайлов, Г.С. Попилина, Н.В. Егорычева, И.П. Попова, Б.Б. Автономов, И.С. Храмцов, Ю.А. Почечуев, Ю.А. Коханов, Р.М. Коханова, С.К. Иванов, Н.Н. Слюсарев, В.В. Климов, А.И. Терёшкина, Ю.Н. Фомичёв, Ф.М. Шагиахметов, Л.М. Обьедкова, Е.И. Уробушкин, В.В. Герасимов, Г.В. Герасимов, В.Л. Мишняков, Г.А. Мишнякова, В.В. Ильенко, Т.А. Сергеева и А.Г. Пьянков.



Б.Б. Автономов

Костяк разработчиков НИЦЭВТ формировался в ходе разработки ЭВМ Р-500, получившей в рамках ЕС ЭВМ шифр ЕС-1050.

Разработкой ЭВМ Р-2000, получившей впоследствии шифр ЕС-1065, занимался коллектив второго разрабатывающего отделения по старшим моделям ЕС ЭВМ. Начальник отделения — А.М. Литвинов (позднее В.У. Плюснин), основные разработчики: Ю.П. Цуканов, Е.Л. Брусиловский, А.И. Никитин, Ф.Р. Кушнеров, В.Г. Моисеев, А.И. Слуцкий, Л.В. Поспелов, Л.А. Погорелов.

В то же время были созданы основные отделения по следующим тематическим направлениям:

- по общим вопросам ЕС. Начальник отделения — С.П. Соловьев, основные специалисты: А.П. Заморин, Е. Кошман, Я.П. Локшин;
- по программному обеспечению. Начальник отделения — Л.Д. Райков, основные специалисты: К.А. Ларионов, Г.В. Пеледов, Я.С. Шагидевич, А.П. Гагарин, В.Г. Лесюк, В.П. Данилочкин, Т.В. Макарова, Г.Н. Староверова;
- по элементной базе и электронному конструированию. Начальник отделения — Б.Н. Файзулаев (позднее Н.М. Малярский), основные специалисты: В.А. Гринкевич, Б.И. Юргаев, В.А. Павлычев, В.А. Драпкин, И.Н. Порфирьев, Е.И. Батюков, В.Г. Воронин;



А.Б. Акинфиев



А.В. Шмид

- по устройствам оперативной памяти. Начальник отделения — Н.М. Шаруненко (позднее А.Б. Акинфиев), основные специалисты: Вл.И. Павлов, Ю.В. Андреев;
- по внешним запоминающим устройствам. Начальник отделения — В.Г. Макурочкин, основные специалисты: В.М. Черемисинов, С.Л. Горбацевич;
- по автоматизации проектирования. Начальник отделения — А.И. Лазарев (А.В. Шмид), основные специалисты: В.П. Горелов, В.В. Ярных, Р.С. Вахнов, И.П. Ростовцева, Б.И. Седов;;
- по сервисному оборудованию. Начальник отделения — И.И. Пожаров, главный специалист Б.Ф. Осипов;
- по конструкции. Начальник отделения — Горшенин (позднее В.И. Павлов), основные специалисты: Л.Г. Тимохин, В.И. Антонов, В.Н. Гаврилов, Г.С. Репников, Б.И. Панфилкин, А.А. Чижов;



И.И. Пожаров



А.А. Шульгин

- по технологии. Начальник отделения — Ю.И. Гежа, основные специалисты: А.М. Медведев, А.М. Сержантов;
- отдел надежности. Начальник отдела — Б.П. Михайлин, главный специалист В.В. Веригин.

Многие из названных специалистов участвовали в разработке всех старших моделей ЕС ЭВМ.

В январе 1969 года Советом главных конструкторов ЕС ЭВМ выбор был сделан в пользу системы IBM 360. Очевидно, учитывалось обстоятельство, что уже в то время система воспринималась де-факто как сложившийся стандарт программно-совместимых ЭВМ общего назначения, с высокой степенью унификации интерфейсов, протоколов, способов взаимодействия, а также средств автоматизации проектирования и производства средств ВТ. Недаром в США систему IBM 360 называли *унифицированной системой*. Впоследствии это качество в ЕС ЭВМ широко



Б.П. Михайлин



Ю.И. Гежа

использовалось при разработке информационных и управляющих электронно-вычислительных систем самого разного назначения. Система IBM 360 определила вектор мирового развития ЭВМ общего назначения.

Концепции, заложенные при проектировании старших моделей ЕС ЭВМ, предполагают их использование в крупных вычислительных центрах и автоматизированных системах управления (АСУ) для решения широкого круга научно-технических, планово-экономических, информационных и специальных задач в режимах как местной, так и дистанционной обработки. Возможности многостороннего применения обеспечиваются универсальным набором команд, большим объемом оперативной и внешней памяти, высокоскоростными каналами ввода-вывода и широкой номенклатурой периферийного оборудования. Наличие этих средств, а также развитой системы прерываний, средств отсчета времени и защиты оперативной памяти позволяют эффективно использовать ЭВМ в мультипрограммном режиме, режиме разделения времени, а также в диалоговом режиме.

Многие считают, что старшие модели ЕС ЭВМ — это машины с предельным уровнем производительности, и сравнивают их с суперЭВМ. Это не так. ЭВМ Единой системы по производительности занимают зону между классом машин мини-ЭВМ и суперЭВМ. Единый ряд ЭВМ составляют модели, производительность которых определяется по определенной методике, начиная с младшей: производительность каждой последующей модели должна быть несколько выше двухпроцессорного варианта предыдущей модели. При этом для ЭВМ общего назначения производительность не является главным критерием разработки. Главным критерием служит эффективное решение широкого круга задач, массовость производства, эксплуатационные характеристики и широкие пользовательские аспекты, включая системность и коммуникабельность. Исходя из этого наиболее важными свойствами ЭВМ общего назначения являются стоимость, технологичность, максимальная автоматизация процессов производства, высокие эксплуатационные свойства, в том числе и достаточно простое увеличение вычислительной мощности в зависимости от возрастающей пользовательской потребности.

Электронные вычислительные машины ЕС-1050 и ЕС-1052

Первой разработанной НИЦЭВТ по проекту ЕС ЭВМ была ЭВМ ЕС-1050 — старшая модель первой очереди ЕС ЭВМ («Ряд-1»). Она испытала на себе все трудности и сложности разработки, внедрения в производство и ввода в эксплуатацию ЭВМ третьего поколения, причем в условиях, когда большинства технологий на тот период просто

не существовало. Новая элементная база, новая конструктивно-технологическая база, новая производственно-технологическая база, новая система автоматизации проектирования и т. д. — всё это рождалось, проверялось и совершенствовалось в реальном масштабе времени создания машины.

Главным конструктором ЭВМ ЕС-1050 (Р-500) стал к. т. н. В. С. Антонов. Первый заместитель и главный конструктор процессора ЕС 2050 — начальник ведущего отдела А. А. Шульгин. Главный конструктор процессора ввода-вывода — д. т. н. В. С. Лапин. Главный конструктор оперативной памяти — к. т. н. Н. М. Шаруненко. За программное обеспечение отвечал к. т. н. Л. Д. Райков, за электронное конструирование — д. т. н. Б. Н. Файзулаев, за внешние запоминающие устройства — к. т. н. В. Г. Макурочкин.

Одним из первых проблемных технических вопросов при разработке ЭВМ ЕС-1050 стал вопрос о системе охлаждения машины. Решение этой проблемы легло на плечи конструкторского подразделения (В. И. Павлов), обеспечившего проектирование конструктивных элементов всех старших моделей ЕС ЭВМ. Разработанная специалистами конструкторско-технологическая концепция конструирования и производства сложной электронной техники позволила создать высокопроизводительные машины на высоком технологическом, пользовательском и дизайнерском уровне. С каждой новой разработкой сложность возникающих проблем возрастала, но разработчики снова и снова находили новые решения, обеспечивающие возможность применения системы воздушного охлаждения, которая впервые была разработана именно для ЭВМ ЕС-1050.

Архитектура ЭВМ ЕС-1050 реализует принципы работы и систему команд IBM 360. Центральный процессор выполняет операции с плавающей и фиксированной запятой, логические операции, операции десятичной арифметики, операции управления. Операции ввода-вывода выполняются процессором ввода-вывода, центральный процессор только инициализирует их выполнение.

Многие из разработчиков имели опыт разработки таких ЭВМ, как «Весна», М-220, «Раздан», «Урал», и хорошо были знакомы с архитектурой машин серии БЭСМ, «Минск» и др., поэтому не испытывали трудностей в выборе и реализации архитектуры и структуры ЭВМ. К тому же незадолго до начала разработки в Советском Союзе были опубликованы материалы по американскому проекту Stretch («Стреч»), оказавшему огромное влияние на развитие вычислительной техники. Революционные технологии в области архитектуры ЭВМ, предложенные в этом проекте, вот уже более 50 лет не утрачивают своего значения, особенно для создателей суперЭВМ. Поэтому

в вопросах организации вычислительного процесса для ЭВМ с производительностью 500 тыс. команд/с разработчики затруднений не испытывали.

Структура центрального процессора содержит три основных блока: блок центрального управления и два арифметическо-логических — основной блок и блок десятичных операций. Совмещение при выполнении команд — трехуровневое. Объем оперативной памяти на ферритовых сердечниках — от 256 до 1024 Кбайт. В системе ввода-вывода использован стандартный интерфейс между каналами и периферийными устройствами. Селекторных каналов — 4; мультиплексных каналов — 1 (с двумя селекторными подканалами). Пропускная способность селекторного канала — 1,3 Мбайт/с и 580 Кбайт/с для мультиплексного канала с двумя селекторными подканалами.

Элементная база (интегральные логические схемы средней интеграции ECL137, ECL138 и ферритовые сердечники в качестве элементов памяти), хотя и значительно уступала зарубежной, всё же позволяла реализовать предложенную архитектуру ЭВМ. Так что с выполнением требований по производительности (500 тыс. оп/с) с точки зрения возможностей архитектуры трудностей не ожидалось. Разработанные для ЭВМ ЕС-1050 конструктивы всех уровней (типовые элементы замены — ТЭЗы, панель, рама, стойка) по электромеханическим свойствам соответствовали современным стандартам. Однако большие опасения вызывали существовавшие в то время технологии монтажа и сборки со слабой автоматизацией процессов, которые не позволяли добиться нужного уровня упаковки (хотя бы рациональной компоновки). К таким технологиям относились технологии ферритовой памяти, технологии проводного монтажа для панелей, технологии пайки, разъемный монтаж для межпанельных, межрамных и межстоечных соединений и т. д. И, действительно, впоследствии они доставили нам немало сложностей.

Но всё-таки первую подножку нам подставила именно архитектура. Причем трудности возникли не из-за недостаточности ноу-хау в этой области, а, как это ни парадоксально, из-за богатого опыта отдельных разработчиков. Создавая отдельные блоки и устройства, они уже имели опыт разработки подобной аппаратуры и переносили эти решения на новую разработку, естественно, считая их самыми оптимальными. Наверное, так оно и было. Но в данном случае требовались не просто эффективные решения, а решения в формате принципов работы ЕС ЭВМ. Одновременная разработка центрального процессора (ЦП), процессора ввода-вывода (ПВВ), операционной системы (ОС), оперативной и внешней памяти требовала единого понимания и учета данного аспекта. Каждый разработчик делал это на свой страх и риск. Особенно трудно шла наладка, тогда-то и проявились все нестыковки,

связанные с разным пониманием или недопониманием принципов работы. Вопросы эти настолько тонкие и трудные для выявления и исправления (вроде бы всё работает так, как задумано, а нужного результата нет), что проявлялись и на этапе наладки, и на этапе постановки на производство, и даже при эксплуатации. Более того, такие проблемы, конечно, значительно в меньшей степени, возникали и на некоторых моделях второй очереди. К тому же исправлять ошибки было непросто как идеологически, так и физически.

Множество подобных нестыковок относилось к системным устройствам, таким как каналы ввода-вывода при их взаимодействии с дисками и процессором. Требовались не просто знания, а доскональные знания одновременно операционной системы, принципов работы центральных и периферийных устройств. И такими знаниями обладали ведущие математики НИЦЭВТ: Константин Ларионов, Татьяна Макарова, Наталия Музылева, Галина Староверова и др. На всех объектах и площадках, где устанавливались первые модели ЕС ЭВМ, они успешно справлялись с самыми сложными системными ситуациями. Это идеологически. А физически потому, что, хотя конструкции всех уровней считались ремонтпригодными, промышленных технологий процесса ремонта разработано еще не было. Все исправления, в том числе и на многослойных печатных платах, проводились на уровне изобретательской смекалки и подручным инструментом, что не добавляло надежности функционирования опытному образцу. Так, очевидно, было и с другими моделями ЕС ЭВМ первой очереди, разрабатываемыми в СССР. В пользу этой версии говорит и то, что почти сразу после освоения в производстве все эти модели были модернизированы. В общем, новый опыт и новые знания давались непросто. Рождение ЕС ЭВМ было тяжелым и мучительно-болезненным, впрочем, как и положено при появлении чего-либо нового.

Тем не менее разработка была закончена, и абсолютно «задушенный» опытный образец ЭВМ ЕС-1050 с некоторыми ТЭЗами, напоминавшими решето, с растрепанным навесным монтажом панелей в 1973 году был представлен на государственные испытания (председатель комиссии — академик А.А. Дородницын). Промышленной технологической основы для надежной работы опытный образец не имел, функционировал, что называется, «на честном слове» и потому не мог показать все свои возможности. Это были необычайно трудные, напряженные и нервные испытания. Более жарких и эмоциональных дебатов по проблемам ВТ, думается, не было ни до, ни после этих испытаний. Несмотря на большое количество замечаний, испытания прошли с положительным результатом, причем во многом благодаря позиции Министерства обороны (заместитель председателя комиссии — главный инженер заказывающего

Управления полковник С.Ф. Середа, председатель технической подкомиссии — начальник отделения 27-го ЦНИИ МО полковник Н.М. Яковлев).

Хотелось бы обратить внимание на один момент. Советом главных конструкторов ЕС ЭВМ в январе 1969 года было принято еще одно очень важное решение — о двойном назначении ЭВМ Единой системы и о разработке единой конструкторской (КД) и технической (ТД) документации для Министерства обороны (МО) и народного хозяйства. Таким образом, у ЕС ЭВМ появился заинтересованный потребитель и контролер качества разработки и производства. Министерство обороны активно способствовало становлению ЕС ЭВМ. Это проявилось и на государственных испытаниях, и на всех последующих этапах создания и освоения ЕС ЭВМ. Представители МО не только поддерживали, но и практической работой совместно с разработчиком и специалистами завода конкретно решали возникающие проблемы. Так было на этапе разработки изделий ЕС ЭВМ с головной приемкой заказчика при НИЦЭВТ (Д.Л. Файнберг, Ю.И. Грачев, А.И. Абрамов). Так было и на этапе внедрения в производство при работе с приемкой Пензенского завода ВЭМ (полковник А.Г. Питиков).

Наиболее ярким примером этого стал ввод в эксплуатацию ЭВМ ЕС-1050 № 13 в г. Болшево Московской области. Во всех отношениях с представителями МО чувствовались их заинтересованность и партнерское сотрудничество, которые не могли быть просто случайностью. Очевидно, это была целенаправленная деятельность МО, сформулированная и направляемая начальником заказывающего Управления генерал-лейтенантом Кириллом Николаевичем Трофимовым, занимавшимся вопросами создания автоматизированных систем управления военного назначения.

Вот что пишет о взаимодействиях с представителями заказчика главный инженер Минского производственного объединения вычислительной техники (МПО ВТ), к. т.н., лауреат Государственной и Ленинской премий Юрий Владимирович Карпилович: «Еще раз добрым словом вспоминаю организацию приемки. Она сослужила добрую службу в деле укрепления технологической дисциплины, повышения чувства ответственности. Конечно, руководители приемки основательно “портили нервы” всем нам, но это было на общую пользу. Особенно эффективно работал “командир” данной службы Кирилл Николаевич Трофимов — человек очень интеллигентный, культурный, всесторонне развитый. Он прожил сложную жизнь и, к глубокому сожалению, трагически погиб в самом расцвете творческих сил. Именно он учил нас, что тупиковых ситуаций не существует. В каждом случае есть выход, и надо, не торопясь, не паникуя, искать грамотное решение, устраивающее все стороны. Так он обычно поступал и сам».

Следующим этапом создания ЕС-1050 был этап ее освоения в производстве на заводе ВЭМ в г. Пенза. К проблемам разработки добавились проблемы производства. Пришлось корректировать большой объем конструкторской документации, поскольку машина изначально готовилась для производства на московском заводе САМ. К тому же полной технологической готовности завода ВЭМ не было. И только совместная работа службы главного конструктора, технологов разработчика, технологов СКБ и инженерных служб, а также ответственная позиция директора завода В.А. Стукалова, личная инициатива и творческая изобретательность главного инженера завода В.Е. Прохорова, его заместителя Н.В. Васильева и представителя СКБ В.А. Ревунова позволили обеспечить серийный выпуск ЭВМ ЕС-1050 в 1974 году. Это стало возможным благодаря тому, что все или почти все новые технологии (пайки, накрутки, изготовления печатных плат, автоматизации производства, наладки и контроля, а также многое-многое другое) были созданы совместными усилиями разработчика и производителя и проходили обкатку на первых серийных образцах этой модели. Технологическое перевооружение производственной базы ВТ и создание автоматизированных высокотехнологичных конвейерных производственных линий, позволивших освоить серийное, а затем и крупносерийное производство средств вычислительной техники, — один из основных продуктивных итогов реализации программы ЕС ЭВМ.

Кстати, передача ЭВМ для производства с одного завода на другой была каким-то злым роком старших моделей ЕС ЭВМ. Мы долго работали с технологами и конструкторами СКБ московского завода, и вдруг перенос в Пензу. Всю работу пришлось начинать сначала. ЭВМ ЕС-1060 готовились производить в Пензе, а внедрили в Минске. ЭВМ ЕС-1066 начали производить в Пензе, затем переделали всю конструкторско-технологическую документацию и продолжили производить в Минске.

Следующий этап — сдача ЭВМ в эксплуатацию у пользователя. И здесь нам снова помогли представители МО. Они проявили инициативу, предложив объединить усилия



Международная выставка ЕС ЭВМ. Сидят (слева направо): генеральный конструктор ЕС ЭВМ В.В. Пржиялковский; А.И. Белов; начальник заказывающего Управления изделий ЕС ЭВМ К.Н. Трофимов. Стоит: руководитель головного представительства заказчика по разработке изделий и программного обеспечения ЕС ЭВМ в НИЦЭВТ Д.Л. Файнберг

разработчика, завода и заказчика по вводу в эксплуатацию ЕС-1050 № 13 в вычислительном центре заказчика. Задачей ставилось не только введение образца в эксплуатацию, но и предстояло «вычистить» все недоработки разработки и производства. Вдохновителем и организатором этих работ был главный инженер ВЦ НИИ-4 полковник М.Т. Кобзарь. От НИЦЭВТ активное участие принимали А.А. Шульгин (ответственный), Б.Б. Автономов, Ю.А. Коханов, К.А. Ларионов, Ю.С. Ломов, Ю.А. Почечуев, Н.Н. Слюсарев и др. От завода ВЭМ — Н. Васильев (ответственный), В. Гончарик, Ю. Пахолков и др. От заказчика — подполковник В. Стецюк, представитель заказчика НИЦЭВТ — А.И. Абрамов. Общими усилиями в мае 1975 года ЭВМ ЕС-1050 № 13 была сдана в эксплуатацию. О важности и качестве этой работы говорит тот факт, что этот образец успешно эксплуатировался почти 15 лет. Команду заказчика во главе с М.Т. Кобзарем можно с полным правом назвать соисполнителями создания ЕС-1050. Доводка системы — такой же важнейший этап, как и разработка. Этап, который требует особого таланта, терпения и умения. И всеми этими качествами обладала команда М.Т. Кобзаря.

Состояние разработки и внедрения в производство ЕС-1050 постоянно контролировалось Министерством радиопромышленности СССР (Минрадиопромом) и Военно-промышленной комиссией при СМ СССР. Давление на разработчиков было чрезвычайным.

Весь период от начала госиспытаний до сдачи в эксплуатацию был для всех участников работы экстремально-стрессовым. И только один человек спокойно и уверенно

вел дело к успеху. Это главный конструктор Вениамин Степанович Антонов! Трудно представить, какие страсти бушевали у него внутри, но даже в самые сложные, самые критические моменты он оставался внешне спокойным. Его уверенное спокойствие передавалось коллективу, что создавало нормальную рабочую обстановку. Хотя эмоциональных моментов тоже хватало. Они исходили от заместителя главного конструктора Андрея Андреевича Шульгина, по поведению которого сразу можно было ощутить ту бурю эмоций, которая обуревала руководство проектом, и всё то, что они хотели



Главный инженер завода ВЭМ г. Пенза В.Е. Прохоров проводит заседание комиссии по приемочным испытаниям ЭВМ ЕС-1052 (первый слева от В.Е. Прохорова — В.А. Ревунов)

от разработчиков. Несмотря на разность темпераментов, эти два человека представляли собой единое целое, причем настолько позитивное, что уровень уважения к ним среди разработчиков (и не только) просто зашкаливал.

Электронно-вычислительная машина ЕС-1050 выпускалась на пензенском заводе ВЭМ с 1974 по 1978 год. Работала она под управлением операционной системы ОС-4. На тот момент у нас в стране это было качественно новое ПО с функциями диспетчеризации, редактирования заданий, управления вводом-выводом. Периферия — НМЛ ЕС5511/5017, НМД 5561/5056 (27 Мбайт), АЦПУ, устройства ввода-вывода на перфокарты (ПК) и перфоленту (ПЛ).

Всего было выпущено 87 машин. Эта цифра говорит о том, что совместными усилиями всех заинтересованных сторон машина в производственном и эксплуатационном качестве была доведена «до ума». ЕС-1050 стала первой ЭВМ, созданной в НИЦЭВТ, реализовавшей технологии машин третьего поколения на базе интегральных схем типа ЕСЛ средней степени интеграции. Приобретенный при ее создании богатый опыт требовал немедленной реализации. Было принято решение о модернизации.

Модернизация ЭВМ ЕС-1050 завершилась в 1977 году. Новой модели был присвоен шифр ЕС-1052.

Модернизация проводилась специалистами СКБ пензенского завода ВЭМ. ЭВМ ЕС-1052 выпускалась этим заводом с 1978 по 1980 год, заменив собою ЕС-1050. За эти годы было выпущено 74 машины.

Принципиальной особенностью ЕС-1052 по отношению к ЕС-1050 явилась более плотная компоновка, что позволило увеличить производительность машины до 700 тыс. оп/с и повысить показатели надежности за счет лучшей технологичности.

Основные разработчики: В. А. Ревунов, В. Гончарик, Ю. Пахолков, Е. А. Рассказов и другие сотрудники СКБ завода ВЭМ. Большое и плодотворное участие в создании ЕС-1052 принимал заместитель главного инженера Н. В. Васильев.

Электронные вычислительные машины ЕС-1060 и ЕС-1061

Главный конструктор ЭВМ ЕС-1060 — начальник отделения НИЦЭВТ, к. т. н., лауреат Ленинской премии В. С. Антонов.

Состав заместителей главного конструктора и основных разработчиков практически не изменился по сравнению с командой



В.С. Антонов

ЕС-1050, за исключением того, что заместителями главного конструктора ЭВМ ЕС-1060 были назначены начальник отделения В.И. Павлов и главный инженер отделения Ю.С. Ломов, а главным конструктором каналов ввода-вывода ЕС-4001 — Е.И. Уробушкин.

Начало разработки — 1972 год. Окончание — 1977 год.

Электронная вычислительная машина ЕС-1060 относится к старшим моделям Единой системы второй очереди («Ряд-2») с набором команд IBM 370. По отношению к ЕС-1050 модель ЕС-1060 реализует новые возможности:

- расширенный набор команд;
- расширенный режим управления в процессоре;
- динамическое преобразование адресов в процессоре;
- косвенную адресацию данных в каналах;
- блок-мультиплексный режим работы каналов;
- новые микропроцессорные средства;
- повышение точности операций с плавающей запятой;
- расширенную систему прерываний;
- новые средства отсчета времени;
- обеспечение мониторинговых программ;
- регистрацию программных событий;
- повышение эффективности средств контроля и диагностики.

Почти все эти свойства были реализованы впервые в отечественных ЭВМ и ВТ социалистических стран.



Процессор ввода-вывода ЕС 4001

Архитектурные и структурные особенности ЕС-1060 направлены на повышение производительности, надежности и эффективности использования, а также на создание простоты и удобства в обслуживании. Производительность процессора (1 млн команд/с) достигается за счет организации быстрого доступа к данным, совмещения выполнения операций и применения эффективных алгоритмов вычислений.

Для согласования времени работы процессора и временных параметров

оперативной памяти (ОЗУ) использована кэш-память объемом 8 Кбайт. Обмен между основной памятью и буферной осуществляется 32-разрядными блоками (страницами) данных. Использование эффективного алгоритма замещения информации в буферной памяти в сочетании с применением буфера каналов позволяет снизить степень конфликтности в процессоре.

В арифметическом устройстве используются эффективные алгоритмы, которые позволяют сочетать высокий темп выполнения операций с разумными затратами оборудования. Специальный блок ускоренного умножения позволил повысить скорость операций умножения в 2–2,5 раза. В процессоре одновременно выполняется несколько команд, которые находятся на разных уровнях обработки. Параллельно с обработкой команд осуществляются формирование адреса следующего участка программы и считывание команд из памяти в буферный регистр. При разработке структуры ЭВМ общего назначения разработчик всегда решает компромиссную задачу — достижение заданной производительности при разумной сложности. В ЕС-1060 решение этой задачи обусловлено:

- введением микропрограммного управления не только в арифметическом устройстве (АЛУ), но и в устройстве центрального управления;
- строгой синхронизацией работы уровней совмещения по времени;
- введением эффективной системы контроля и диагностики.

Обработка команд в процессоре, выполнение операций и обработка прерываний управляются микропрограммами. Управляющая память с возможностью перезаписи информации выполнена на интегральных схемах (ИС) и состоит из двух блоков — основного и управляющего, выборка из которых проводится по независимым адресам. Объем основного блока памяти микропрограмм — 4096 слов по 144 разряда, управляющего — 512 слов по 24 разряда. В процессоре ЕС 2060 все блоки центрального управления и арифметического устройства



Электронная вычислительная машина ЕС-1060

работают под микропрограммным управлением. Блок системных средств управления, а также блок контроля и диагностики имеют смешанное аппаратно-микропрограммное управление. Такое широкое внедрение принципа микропрограммного управления стало особенностью и одновременно достоинством ЕС-1060, поскольку в то время этот принцип для высокопроизводительных машин не применялся.

Управление вводом-выводом информации осуществляется асинхронным процессором ввода-вывода ЕС 4001, подключенным к центральному процессору и разделяющим с ним оперативную память.

Впервые в отечественных ЭВМ появились блок-мультиплексные каналы, дисковые накопители емкостью 100 Мбайт, телепроцессор, комплекс средств отображения информации ЕС 7920.

В каждом из имеющихся трех блок-мультиплексных каналов содержится по 80 активных подканалов. Пропускная способность каждого канала — 1,5 Мбайт/с.



Инженеры-наладчики Юрий Рогатко, Ирина Пронина и Лилия Александрова проводят отладочные работы на ЭВМ ЕС-1061

Байт-мультиплексный канал имеет четыре селекторных канала и один мультиплексный. Пропускная способность селекторного канала — 500 Кбайт/с, мультиплексного — 100 Кбайт/с.

Основную сложность при разработке создавало отсутствие интегральных схем статической памяти для буферных памяти процессора и каналов, а также интегральных схем динамической памяти для ОЗУ. Интегральные схемы (ИС) статической памяти на опытный образец и первые серийные образцы пришлось закупать за рубежом. А оперативная память ЕС 3206 была разработана в двух вариантах — на ферритовых сердечниках и интегральных схемах. Память на ферритах

имела объем от 2 до 8 Мбайт с четырехкратным чередованием адресов. Цикл обращения — 125 мкс, время выборки — 0,8 мкс. В одной стойке с питанием размещался 1 Мбайт памяти. Для реализации памяти объемом 8 Мбайт потребовалось бы 8 стоек. Вот такой тогда был уровень базовых технологий. Устройство полупроводниковой динамической оперативной памяти ЕС 3266 на интегральных схемах 16 Кбит в корпусе имело объем 8 Мбайт, время цикла — 680 нс, время выборки — 520 нс.

На центральный процессор и на процессор ввода-вывода было получено более 20 авторских свидетельств.

ЭВМ ЕС-1060 работала под управлением ОС ЕС, в состав которой входили трансляторы с языков программирования Ассемблер, Фортран, Кобол, Алгол-60, ПЛ/1, РПГ. В состав ПО также входили комплект неавтономных тестов устройств, тест-монитор, система микродиагностики.

В 1977 году ЕС-1060 успешно прошла государственные испытания и была рекомендована к серийному производству.

Серийное производство началось в 1978 году. В процессе подготовки производства ЕС-1060 впервые была освоена технология изготовления многослойных печатных плат ТЭЗов и ответных панелей. Применен метод металлизированных сквозных отверстий. Освоена технология производства плоских кабелей. Создан ряд



В Вычислительном центре АН СССР, 1983 год. Инженеры проводят тестовую проверку памяти ЭВМ ЕС-1060



Ю.В. Карпилович

автоматизированного оборудования для подготовки и установки электро-радиоэлементов (ЭРЭ) на печатную плату, полуавтоматы для монтажа методом накрутки. В механообрабатывающем производстве внедрен ряд прогрессивных формообразующих методов. За годы производства (1978–1982) было выпущено 313 машин ЕС-1060.

СКБ Минского производственного объединения вычислительной техники совместно с НИЦЭВТ провело модернизацию ЕС-1060 с целью повышения ее производительности и надежности. Модернизированная версия получила название ЕС-1061. На основе возможностей новой базовой технологии удалось сократить объем аппаратуры центрального процессора и повысить производительность до 2 млн команд/с. Особое внимание было уделено проблемам надежности. Кроме схемотехнических решений, совершенствовались технологии изготовления ЭВМ ЕС-1061 в части автоматизации процессов производства и наладки узлов и блоков. Но наибольший вклад в решение проблем надежности внесла организация входного контроля электронно-компонентной базы. Для этого был создан цех входного контроля, по рекомендациям которого были введены электротермотренировки ИС, ТЭЗов и ЭВМ в целом, налажен обмен информацией с предприятиями Министерства электронной промышленности (МЭП) по вопросам улучшения качества поставок ИС. Это позволило повысить наработку на отказ ЕС-1061 по сравнению с ЕС-1060 в 3,5 раза.

Главная заслуга в проведении комплекса работ, в том числе по повышению надежности, принадлежит начальнику СКБ завода, лауреату Государственной премии Владимиру Петровичу Шершню. В числе этих работ — внедрение на заводе по согласованию с МЭП системы входного контроля компонентной базы.

Работы по модернизации были закончены в 1983 году созданием ЕС-1061.

Главный конструктор ЕС-1061 — главный инженер МПО ВТ, к. т.н., лауреат Государственной и Ленинской премий Ю.В. Карпилович; начальник отдела СКБ — А.Н. Виталисов.

Заместитель главного конструктора от НИЦЭВТ — Ю.С. Ломов.

Основные разработчики от СКБ: Н.З. Поздняков (процессор команд), А.С. Григорьев (арифметическое устройство), Б.Ф. Шадрин и В.И. Делендик (каналы ввода-вывода).

Основные разработчики от НИЦЭВТ: И.С. Храмцов (центральный процессор), Н.А. Слюсарев (арифметическое устройство), Ю.А. Коханов (устройство управления памятью), В.В. Герасимов и В.Л. Мишняков (каналы ввода-вывода).

С 1983 по 1988 год было произведено 566 машин.

Электронная вычислительная машина ЕС-1065

ЭВМ ЕС-1065 — старшая модель Единой системы второй очереди. Ее разработка началась отделом под руководством М.Б. Тамаркина еще в 1969 году в качестве старшей модели первой очереди ЕС ЭВМ с системой команд IBM 360 и производительностью 2 млн команд/с. Естественно, что в качестве прототипа архитектуры центрального процессора ЕС 2065 рассматривалась архитектура старшей модели IBM 360/91.

Центральный процессор модели 91 имел пять автономных устройств (устройство памяти, процессор управления памятью, процессор команд, процессор с фиксированной запятой и процессор с плавающей запятой), которые позволяли машине, учитывая механизм совмещения, выполнять несколько функций и обрабатывать множество команд одновременно. Оперативная память составляла 2 Мбайт с расширением до 6 Мбайт с 16-кратным чередованием адресов. Эта суперскалярная архитектура, естественно, вызвала у специалистов НИЦЭВТ неподдельный профессиональный интерес. Архитектура резко контрастировала с архитектурами других моделей системы IBM 360. Нам было известно, что подобная архитектура эффективна для решения научно-технических задач, поскольку она уже использовалась в 1964 году в ЭВМ научного назначения CDC6600. Но вызывала сомнение ее эффективность на широком круге задач разного назначения, которые на ЭВМ общего назначения должны решаться примерно с одинаковой эффективностью. В моделях IBM 360 для этого используется универсальная система команд, которая состоит из стандартного набора команд для экономических и научных применений. Стандартный набор команд включает команды фиксированной запятой, команды управления, обмена, ввода-вывода, логических операций и защиты памяти. Набор команд для экономических применений составляют команды стандартного набора и команды, обеспечивающие обработку десятичных данных с переменной длиной слова. Команды для научных применений, кроме стандартного набора команд, включают операции с плавающей запятой.

Для исследования эффективности архитектуры модели IBM 360/91 на разных классах задач была создана программная модель его центрального процессора на основе СЛЭНГ — системы программирования, разработанной в Киевском институте кибернетики АН УССР под руководством В.М. Глушкова. В Киеве на ЭВМ БЭСМ-6 проводилось и моделирование. Моделирование, прежде всего, показало, что высокая производительность модели 91 достигалась за счет сочетания двух ключевых факторов. Первый фактор — это передовая базовая технология (элементная база плюс технология высокой плотности ее упаковки), обеспечившая время цикла процессора, равное 60 нс. Вторым фактором являлась высокая степень параллельной

и магистральной (конвейерной) организации выполнения команд (в том числе возможность выполнения с нарушением порядка их поступления), которая совместно с динамическим переименованием регистров и предсказанием переходов позволила выполнять больше одной команды за такт. Такая архитектура позднее получила название суперскалярной архитектуры. Что касается приоритетов, то безусловный приоритет ее рождения принадлежит молодым специалистам, разработавшим американский проект Stretch. Именно молодые специалисты (как их называли в нашей стране) не только разработали, но и реализовали проект, который еще многие годы питал разработчиков (особенно разработчиков суперЭВМ) новыми идеями и оригинальными технологиями вычислений. И это несмотря на то, что как коммерческий проект был признан неудавшимся. Очевидно, основную роль в этом сыграли высокая сложность ЭВМ и, как следствие, высокая стоимость выполнения одной операции. В моделях машин CDC6600 и IBM 360/91 явно прослеживается влияние проекта Stretch.

Моделирование IBM 360/91 также подтвердило наши предположения, что данная архитектура эффективна в основном на научно-технических задачах. Возник вопрос о принадлежности этой модели к системе IBM 360 (имеется в виду к системе машин общего назначения). Много позже стало известно, что эта модель разрабатывалась специально для научных применений, таких как освоение космоса, теоретическая астрономия, субатомная физика и глобальное прогнозирование погоды. Ее работа поддерживалась мощным, специальным для этой модели программным пакетом. В январе 1968 года она была введена в эксплуатацию в Национальном управлении по аэронавтике и исследованию космического пространства США (НАСА). Производительность этой модели (16,6 млн команд/с) в 50 раз больше предыдущей ЭВМ (IBM 7090), установленной в НАСА. Несмотря на то что это была специальная разработка для научных приложений, пользователям она функционально представлялась как любая другая модель общего назначения системы IBM 360, хотя относилась к классу суперЭВМ того времени как по производительности, так и по назначению. Это лишний раз доказывает, что система IBM 360 не имела принципиальных ограничений организации вычислительного процесса.

Кроме того, моделирование показало, что уровень отечественной элементной базы 1960-х годов не позволял эффективно реализовать подобную архитектуру. В тот период разработчик мог рассчитывать только на схемы средней степени интеграции, поскольку отсутствовали полупроводниковые схемы как статической, так и динамической памяти, а ОЗУ строилось на ферритовых сердечниках. Внешняя память также была ограничена низкой емкостью накопителей на дисках и лентах. Что могло бы

получиться при попытке реализовать подобную архитектуру в ЭВМ на этой базовой технологии, показало моделирование. Это был бы монстр — уродец, более чем в пять раз уступающий прототипу по производительности и с втрое большей площадью, занимаемой центральной частью. Да к тому же, скорее всего, нежизнеспособный, ввиду большого аппаратного объема центральных устройств и слабой надежности их интегральных схем.

Таких примеров в истории техники много. Разработка моделей ЭВМ общего назначения с подобной архитектурой привела бы к их необоснованной сложности и удорожанию. Судя по дальнейшему развитию событий, и IBM создание этой модели далось не просто. Такой вывод косвенно подтверждается тем, что к архитектуре суперскаляра корпорация IBM вернулась только в 1980-е годы, когда появились принципиально новые базовые технологии.

По результатам нашего моделирования был запатентован «Центральный процессор мультипрограммной мультипроцессорной вычислительной системы» (авторы: М.Б. Тамаркин, Ю.С. Ломов, В.М. Гальцов, И.Ф. Казаков, В.А. Субботин, А.А. Горностаев, А.Г. Григорцевский) со суперскалярной архитектурой (приоритет от 14 августа 1969 года), но мы также заморозили реализацию этой архитектуры до 1980-х годов.

А для ЭВМ ЕС-1065 коллективом специалистов НИЦЭВТ (В.У. Плюсин, А.М. Литвинов, Ю.П. Цуканов, Е.Л. Брусиловский, А.И. Никитин, Ф.Р. Кушнеров, В.Г. Моисеев, А.И. Слуцкий, Л.А. Погорелов, В.И. Павлов) была разработана оригинальная архитектура, не имевшая зарубежных и отечественных аналогов.

Главный конструктором ЭВМ ЕС-1065 был назначен начальник отделения, к. т.н. Владимир Устинович Плюсин. Заместителями главного конструктора — д. т.н. Б.Н. Файзулаев, к. т.н. Л.Ф. Райков, к. т.н. В.Г. Макурочкин и В.И. Павлов.

ЕС-1065 реализует все режимы обработки данных и использует все функциональные и логические возможности ЕС ЭВМ-2. Она, как и все модели ЕС ЭВМ, прежде всего, является ЭВМ общего назначения. В этом плане она должна обладать свойствами универсальности и обеспечивать возможность эффективного решения самых различных классов задач пользователей. В то же время модели ЕС ЭВМ должны обладать свойствами специального системного применения, в том числе характерными чертами открытой системы, позволяющими включать в ее состав проблемно-ориентированные устройства.



В.У. Плюсин

Исходя из этого, архитектура ЕС-1065 должна была:

- обеспечивать достижение высокой скорости выполнения команд при обработке широкого круга задач;
- допускать возможность введения в состав модели специальных процессоров;
- реализовать развитые средства комплексирования, реализующие следующие свойства:
 - реконфигурируемость;
 - расширяемость;
 - толерантность;
 - модульность.

В основу ЕС-1065 положены принципы комплексирования функциональных, конструктивно законченных модулей, а также принципы расширения номенклатуры технических средств и ПО для создания вариантных конфигураций, учитывающих специфику конкретного проблемно-ориентированного применения.

В ЕС-1065 реализована архитектура, которую можно охарактеризовать как архитектуру с общим исполнительным ресурсом. Это предполагает наличие нескольких устройств, подготавливающих команды к выполнению, а выполнение этих команд осуществляется в одном из блоков операционного устройства, которое является общим ресурсом для всех этих устройств. При этом предполагается принятие специальных мер по сокращению времени обработки на всех этапах подготовки и выполнения команд. Операционное устройство обладает пропускной способностью, равной нескольким десяткам миллионов команд в секунду, и имеет возможность наращивать суммарную мощность путем подключения как аналогичных стандартных арифметических блоков ЕС ЭВМ, так и проблемно-ориентированных устройств. Она значительно выше пропускной способности процессоров команд и управления памятью. В этом случае представляется возможным и целесообразным использование нескольких процессоров команд и разделение буферной памяти на независимые сектора с собственным управлением и доступом в оперативную память.

Архитектура с общими ресурсами, которая с точки зрения операционной системы представляется как многопроцессорная, работающая на общее поле оперативной памяти, имеет ряд достоинств. Это, прежде всего, эффективное повышение производительности и обеспечение живучести системы. ЭВМ продолжает функционировать, хотя и с меньшей производительностью, при отказе отдельных устройств. При включении в состав ЭВМ второго операционного устройства, которое также будет являться общим ресурсом, надежность системы многократно увеличивается. Кроме того,



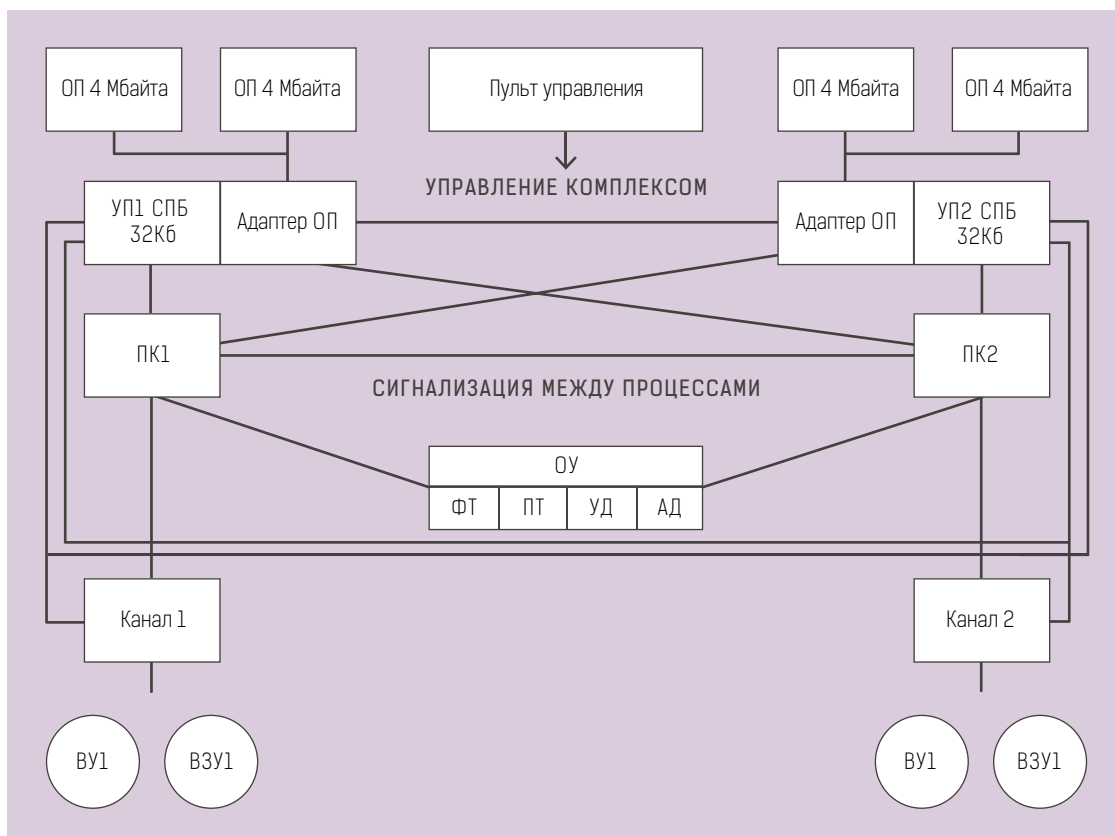
Основные свойства ЭВМ ЕС-1065

введение в состав центрального процессора нескольких процессоров команд упрощает структуры каждого из них, например, за счет реализации микропрограммного принципа управления. Проблемно-ориентированные процессоры на правах общего ресурса подсоединяются к любому из процессоров команд посредством специального интерфейса.

Главный конструктор ЕС-1065 назвал модель с такой организацией вычислительного процесса «вычислительной системой с адаптивно-перестраиваемой структурой».

К дополнительным особенностям ЕС 1065 относятся:

- наличие общего поля оперативной и внешней памяти для всех процессоров команд;
- выделение пульта управления ЕС 1565 в самостоятельное устройство и расширение его функциональных возможностей;
- аппаратная возможность реализации четырехпроцессорного варианта ЭВМ;



Структура центрального процессора ЭВМ ЕС-1065

- возможность статической и динамической реконфигурации системы, обеспечивающей ее повышенную живучесть за счет широкой номенклатуры общих ресурсов;
- возможность логической изоляции отдельных устройств для проведения диагностических и профилактических процедур.

Высокая скорость процессора ЕС 2065 (4,2 млн команд/с на процессор) с оперативной памятью объемом 16 Мбайт поддерживается мощной системой ввода-вывода: два мультиплексных и шесть блок-мультиплексных каналов. Развитая система контроля и диагностики обеспечивает 17 видов восстановительных реконфигураций

при выходе из строя отдельных блоков. Кроме того, создан высокоэффективный тестер, выявляющий не только статические, но и динамические ошибки в работе схем.

Пульт управления ЕС 1565 является автономным комплексом в структуре ЭВМ ЕС-1065. В его составе имеется управляющий процессор с развитой системой прерываний и запросов в оперативную и внешнюю память. Все центральные устройства ЕС-1065 — абоненты пультового системного процессора. Обмен данными происходит по специальному интерфейсу.

Он объединяет в себе функции:

- пульта оператора, обеспечивая контроль и управление системой и программой;
- пульта инженера, обеспечивая контроль и управление ЭВМ при проведении наладочных, диагностических и профилактических работ;
- пульта управления, обеспечивая контроль электропитания и управление всеми его режимами работы.

Для сравнения на рисунке показан пульт модели 91 системы IBM 360. Общее у них только то, что сейчас оба устройства находятся в музее. Одно из них (ЕС 1565) в Политехническом музее в Москве, в составе ЕС-1065. Второе — в Музее компьютерной истории (в технологической галерее) IBM в США как отдельное уникальное устройство, как демонстрация достижений первой половины 1960-х годов.

Что-то похожее на архитектуру ЕС-1065 у IBM появилось в 1980 году в модели IBM 370/3081. Два процессора этой модели (основной и присоединенный) также работали на общий ресурс. Но общим ресурсом была буферная и оперативная память. Вследствие этого модель 3081 не могла, как ЕС-1065, работать в режиме двух независимых ЭВМ. А при подключении второго процессора производительность двухпроцессорной ЭВМ становилась на 45% выше однопроцессорной, в то время как при работе двухпроцессорного варианта ЕС-1065 производительность увеличивается до 80%. Да и возможностей реконфигурации у ЕС-1065 было



Пульт модели 91 системы IBM 360

больше. В то же время архитектура IBM 370/3081 при общем удешевлении проекта позволяла в основном процессоре реализовать более эффективную архитектуру (суперскаляр) и общее значительное повышение производительности по сравнению с другими моделями.

Предложенная архитектура ЕС-1065 позволяла значительно превысить требования технического задания по производительности, но по совокупности причин было принято решение о разработке ЕС-1060. Создание ЕС-1065 переносилось на вторую очередь Единой системы с одновременным повышением требований по производительности.

Изготовление ЕС-1065 на заводе потребовало внедрения новых технологий по отношению к ранее выпускаемым ЭВМ. Впервые и специально для ЕС-1065 была разработана (В.И. Павлов, Ю.И. Гежа, В.И. Матросов, А.Н. Бельцев) технология двойного ТЭЗа (280 × 150 мм) с повышенным количеством слоев (логических до шести) и повышенной плотностью монтажа (два проводника в шаге). Непростым оказалось и освоение производства сдвоенного ТЭЗа на многослойной печатной плате с двумя проводниками в шаге на заводе. Эта технология была внедрена на Минском производственном объединении вычислительной техники (МПО ВТ) при освоении ЕС-1065.

Совместным решением НИЦЭВТ и МПО ВТ изготовление опытного образца ЕС-1065, наладка и государственные испытания должны были проводиться на МПО ВТ. Для этих целей на заводе был выделен отдельный цех. Ход изготовления и наладки ЭВМ контролировался не реже одного раза в месяц руководством института и завода на совместных совещаниях. Разработчики поселились в Минске. Ответственным от НИЦЭВТ был назначен начальник отделения Ю.С. Ломов, от МПО ВТ — заместитель главного инженера М.П. Кривонос. Большую помощь в создании ЭВМ от завода оказали начальники цеха Заволокин, А.И. Галимский, В.И. Козарь и др.

В 1984 году ЕС-1065 успешно прошла государственные испытания. Государственная комиссия по техническому уровню разработки отнесла ЕС-1065 к изделиям высшей категории качества. На машину оформлено несколько десятков авторских свидетельств, в том числе на мультипроцессор.

В том же году ЕС-1065 была поставлена на производство. В 1985–1986 годах выпущено 7 машин под контролем государственной приемки.

Старшая модель семейства ЕС ЭВМ второй очереди нашла применение в вычислительных центрах Министерства геологии для обработки геологоразведочной информации при определении нефтяных месторождений.

Электронная вычислительная машина ЕС-1066

ЕС-1066 является старшей моделью третьей очереди («Ряд-3») ЕС ЭВМ. Главный конструктор — д. т. н., профессор, Лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки РФ Юрий Сергеевич Ломов. По сравнению с командой разработчиков ЕС-1060 несколько изменился состав заместителей и главных конструкторов устройств. Заместителями главного конструктора стали: Игорь Сергеевич Храмцов, Борис Борисович Автономов, Константин Сергеевич Ораевский, Вячеслав Ильич Павлов, Юрий Иванович Гежа. Главный конструктор центрального процессора — И. С. Храмцов. Главный конструктор процессора ввода-вывода — Владимир Александрович Ревунов (СКБ завода ВЭМ г. Пенза).

К началу 1980-х годов в рамках проекта ЕС ЭВМ было разработано и освоено большинство современных технологий проектирования и производства, без которых невозможно создание высокотехнологичных продуктов вычислительной техники. Это относится как к технологиям автоматизированных систем проектирования и наладки ЭВМ, так и к технологиям оснащения производств современным автоматизированным оборудованием с высокой степенью автоматизации процессов производства, контроля качества, наладочных, тренировочных и испытательных работ. Кроме военной приемки на заводах была введена государственная приемка. К тому времени значительно возрос уровень базовых технологий. Всё это, вместе взятое, позволило вывести ЭВМ Единой системы третьей очереди на более высокий качественный уровень как по функциональным возможностям и основным параметрам (производительность, надежность), так и по эксплуатационным характеристикам. К таким ЭВМ относилась и ЕС-1066.

Разработка ЕС-1066 началась в 1980 году практически тем же составом разработчиков, который трудился над созданием ЕС-1050 и ЕС-1060. К тому времени их опыт разработки и постановки на производство был еще обогащен многолетним опытом эксплуатации ЭВМ у пользователей, не в полной мере удовлетворенных предыдущими разработками в части качества разработки и производства, надежности, времени локализации отказов, условий эксплуатации. Решение этих проблем, наряду с задачей реализации высокой производительности, было приоритетной задачей разработки ЕС-1066.

Качество разработки и производства — это такое состояние поставляемых пользователю машин, при котором не требуется многомесячное проведение пусконаладочных работ (как это



Ю. С. Ломов

было с ЕС-1050) и доводка машины по мере эксплуатации. ЭВМ сразу должна начинать работать после установки и монтажа в вычислительном центре пользователя. Это само собой разумеющееся, но труднореализуемое требование. Даже на зарубежных образцах, которые впоследствии стали доступны в России, следы доработок по первичным извещениям были далеко не единичными случаями.

Надежность ЭВМ во многом определяется качеством производства. Все техпроцессы повышения надежности, отработанные при производстве ЕС-1061, и в первую очередь такие действенные, как входной контроль электронно-компонентной базы, электротермотренировки и др., использовались и при производстве ЕС-1066. Помимо этого были разработаны и применялись наиболее передовые технологические процессы: роботы, обрабатывающие центры, гибкие производственные модули, гальванические процессы с управлением от ЭВМ. Были созданы и успешно работали комплексно-механизированные участки по производству ТЭЗов, блоков, стоек и ЭВМ.

Но надежность продукта закладывается на стадии проектирования разработчиком. Схемотехнические методы обеспечения надежности функционирования, такие как исправление одиночных и обнаружение двойных ошибок памяти, автоматическое повторение выполнения команд и процедур при сбоях, а также методы реконфигурации и деградации для поддержания непрерывности функционирования и многие другие, используются практически во всех ЭВМ Единой системы. Однако все эти средства направлены на исправление ситуации, когда событие уже произошло. При разработке ЕС-1066 ставилась и решалась задача профилактики причин возникновения отказов, при этом особое внимание уделялось разработке конструкции, системы охлаждения и электропитания. Разработчики конструкции ЕС-1066 (В.И. Павлов, Л.Г. Тимохин, В.И. Антонов и др.) сумели найти такие решения, которые при сохранении воздушного охлаждения обеспечивали комфортные эксплуатационные условия работы интегральных схем, в том числе и температурные. Для старших моделей была создана линейка вентиляторов производительностью от 360 до 560 м³/час.

Разработка конструкции, в которой отсутствуют температурные перекося в зависимости от расположения интегральных схем, представляла особую сложность, но одновременно это было и наиболее действенным средством профилактики отказов. За разработку конструкций для ЕС-1065 и ЕС-1066 В.И. Павлову в 1983 году было присвоено звание «Заслуженный изобретатель СССР».

Усовершенствованная конструкция совместно с новой системой электропитания (Е.И. Батюков, В.Г. Воронин) обеспечила размещение основного электронного оборудования ЕС-1066: процессора, 12 каналов ввода-вывода, оперативной памяти

емкостью 16 Мбайт (имелась возможность расширения памяти до 32 Мбайт) и вторичного электропитания в трех стандартных стойках ЕС ЭВМ, а также высокую степень упаковки. Объем занимаемой площади при этом сократился в 1,5–2 раза по сравнению с ЭВМ подобного класса.

Зависимость надежности от режимов электропитания — общеизвестный факт, который при создании ЕС-1066 предопределил исследования и разработку новой системы электропитания центральных устройств, включая:

- построение источников вторичного электропитания с бестрансформаторным входом и новой элементной базой, позволяющих сократить количество блоков питания и повысить среднее время их наработки на отказ;
- использование методов резервирования блоков питания с учетом реализации в них возможностей параллельной работы на общую нагрузку;
- введение программного автоматического управления режимами работы и параметрами блоков питания в процессе функционирования ЭВМ.

В результате использование специально разработанных программно-управляемых от пульта ЕС-1066 мощных источников питания с широкими диагностическими возможностями, автоматическое отслеживание и корректировка режимов электропитания в процессе функционирования, сокращение в 3 раза количества блоков питания и полное исключение блоков управления питанием стали одними из основных особенностей ЭВМ ЕС-1066.

Все эти меры уменьшают количество факторов отказа интегральных схем (включая проблему включения-выключения питания) и, по нашим расчетам, на порядок повышают надежность самой системы электропитания.

Еще одна особенность ЕС-1066 — пульт управления ЕС 1566 (Н.Ю. Салтанов), реализующий все функции, необходимые для поддержания надежного функционирования, эксплуатации и инженерного обслуживания ЭВМ. Пульт ЕС 1566, построенный на базе сервисного процессора, принципиально отличается от пультов предыдущих поколений ЭВМ. Сервисный процессор представляет собой специально разработанную для пульта мини-машину с собственной системой команд, оперативной памятью и операционной системой. Конструктивно пульт реализован в виде стола, в котором вместе с питанием расположены два сервисных процессора. Управляется он через дисплей, а также при помощи переключателей и кнопок на панели управления.

Пульт управления ЕС 1566 расширяет схемотехнические возможности повышения надежности ЭВМ. Система прогнозирования отказов, реализованная на базе сервисного процессора, обеспечивает своевременную и обоснованную замену

предполагаемых ненадежных элементов. Если отказ всё же произошел, пульт сокращает время поиска неисправностей путем автоматического выполнения диагностических процедур локализации неисправностей на базе системы микродиагностики. Если в традиционных тестовых программах применялась рабочая система команд устройства и это устройство при отказе должно было сохранять работоспособность части оборудования (ядра), необходимого для запуска тестов, то в ЕС-1066 в режиме микротестирования используется сервисный процессор и специальные диагностические команды. Режим микротестирования как бы допускает «микрокопирование» работы аппаратуры по месту и по времени. Разработчики (И.Б. Михайлов, А.П. Волков, В.Д. Мальшаков) большое внимание уделяли качеству диагностической информации, получая ее путем логического и физического моделирования, ужесточения требований к моделирующим программам и совершенствования методов генерации тестов. В результате автоматическая локализация неисправностей ЭВМ осуществлялась с точностью до ТЭЗа. А с учетом того, что пульт управления одновременно являлся стендом для проверки работоспособности ТЭЗов и хранил весь необходимый объем тестовой информации, то локализация осуществлялась практически до микросхемы.

Согласно зарубежной классификации, ЕС-1066 относится к большим машинам и работает на высокой тактовой частоте. Для устойчивого функционирования этой машины требовалась новая система охлаждения. Старая система, применяемая при создании ЕС-1060, и ранее не удовлетворяла требованиям как по мощности, так и по шумовым характеристикам. Неудовлетворенность условиями эксплуатации старших моделей Единой системы была связана с высокой шумностью в зале эксплуатации машин. Перед разработчиками возникла альтернатива: либо переходить на систему жидкостного охлаждения, либо сохранить воздушное. Опыта разработки жидкостного охлаждения у нас не было. Кроме того, его разработка могла задержать и, скорее всего, задержала бы сроки разработки. Но главное — это увеличение стоимости ЭВМ, что для машин общего назначения нежелательный фактор. Для сохранения воздушного охлаждения требовалась разработка нового мощного вентилятора, да к тому же с низким уровнем шума. Но даже если такой вентилятор будет создан, его еще надо было освоить в серийном производстве. И всё это в масштабе времени разработки ЕС-1066. Невероятно сложная задача! И всё же мы рискнули, опираясь на опыт подобных разработок специалистов НИЦЭВТ (В.И. Павлов, В.И. Антонов, Л.К. Чучупака). И они решили эту задачу. Разработка оказалась настолько эффективна и технологична, что сразу же была принята в массовое производство и потом

использовалась во всех ЭВМ Единой системы. На базе этого вентилятора создана эффективная и малозумная система охлаждения ЭВМ ЕС-1066.

На стадии эксплуатации для пользователей моделей ЕС ЭВМ существенным являлось решение следующих проблем:

- быстрая проверка готовности ЭВМ с большой конфигурацией периферийных устройств после включения в режиме одно-двухсменной работы вычислительного центра;
- обеспечение непрерывного профилактического контроля и ремонта периферийных устройств, надежность которых на порядок ниже надежности центральных устройств, при многосуточном (или непрерывном) режиме эксплуатации ЭВМ;
- сокращение времени поиска неисправностей в центральных устройствах ЭВМ;
- оперативное подавление влияния сбоев в работе устройств без существенного снижения производительности ЭВМ;
- постоянный автоматический сбор данных о сбоях, отказах и загрузке центральных, а также периферийных устройств, периодический анализ полученной информации.

Цена простоя высокопроизводительной ЭВМ достаточно высока. В системах управления реальными объектами простои могут привести к катастрофическим последствиям. Обслуживающий персонал ЕС-1066 для организации техобслуживания имеет в своем распоряжении достаточные аппаратные средства, упомянутые выше, и программные средства (основные разработчики И.Б. Михайлов, Ю.Я. Коган, А.К. Казаков). К последним относятся:

- автономные тесты устройств (тест-монитор ЕС ЭВМ — ТМЕС);
- комплект неавтономных тестов устройств — КНТУ;
- система комплексного автоматического тестирования — СКАТ;
- средства микротестирования и микропрограммного тестирования;
- программные средства восстановления вычислительного процесса в составе операционной системы (SERO, SERI, CCH, ERP, OBR, EREP, APR, DDR, MIC и др.).

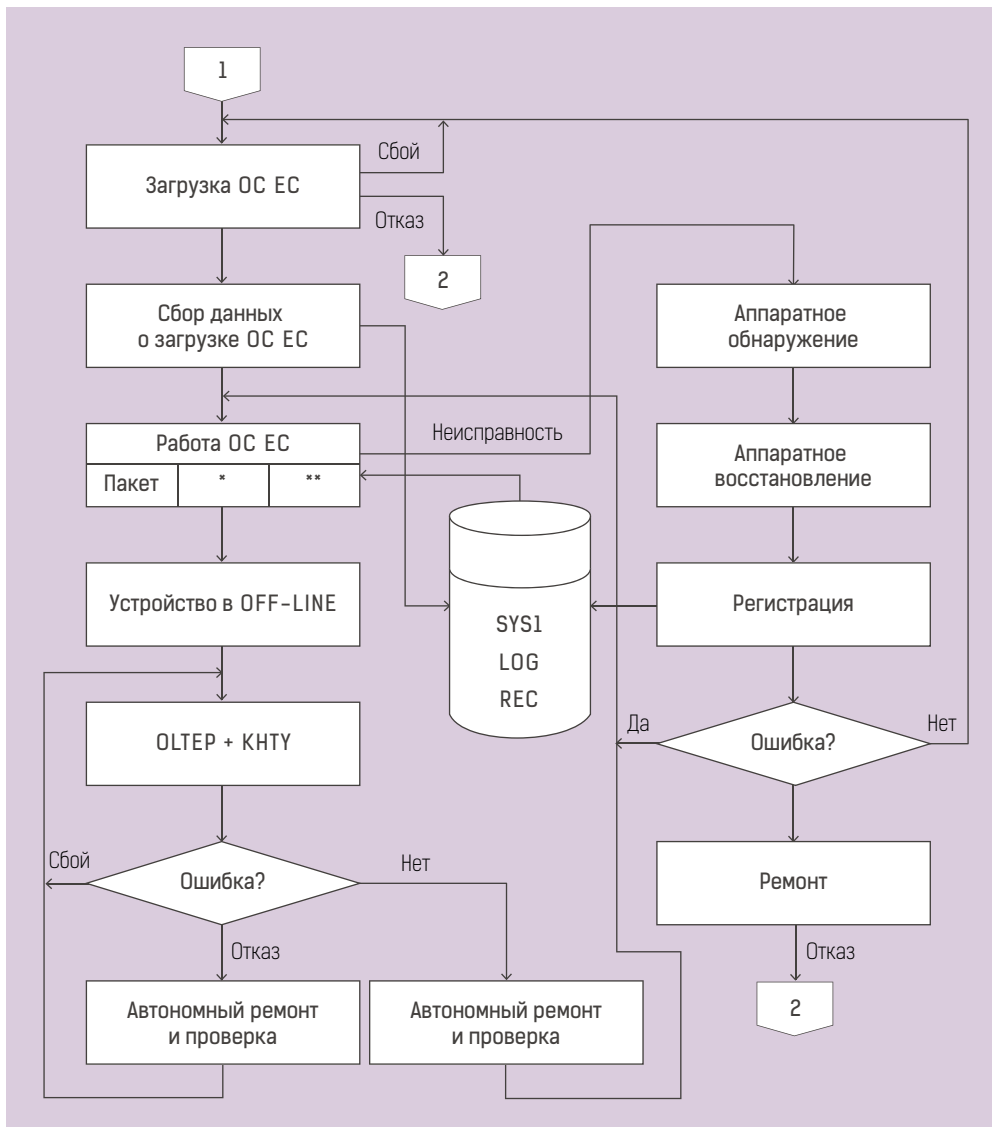
На рисунках показан типовой алгоритм техобслуживания после включения ЭВМ и в процессе работы пакета ОС ЕС.

Все вышеуказанные мероприятия существенно повысили качество разработки и производства, а также качественно улучшили пользовательские и эксплуатационные характеристики ЕС-1066. Время наладки ЭВМ после изготовления резко сократилось и, по существу, свелось к времени поиска незначительных неисправностей,

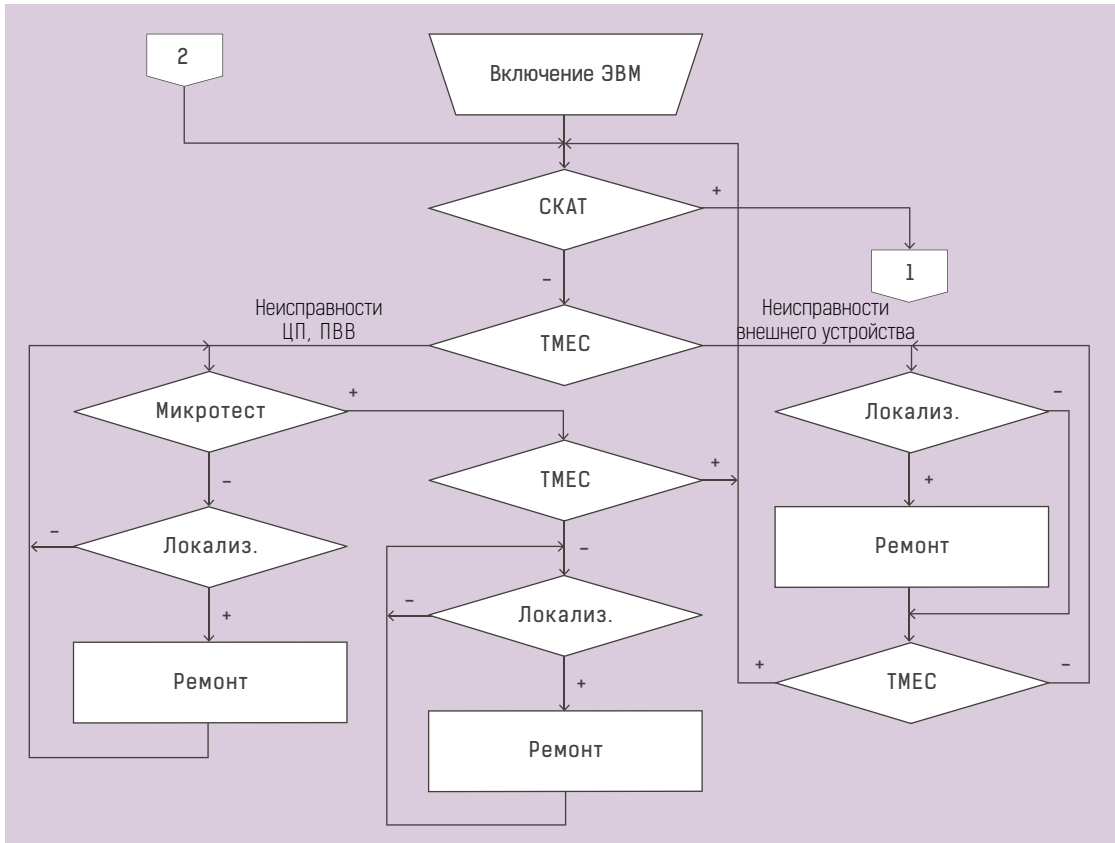
допущенных на всех стадиях производства. Этому способствовала и автоматизация процесса наладки на базе интеллектуальных возможностей пульта ЕС 1566, который позволял вести наладку и проверку центрального процессора с оперативной памятью, но без каналов, а каналы с основной памятью — без центрального процессора. В этом отношении ЭВМ Единой системы третьей очереди сделали значительный шаг вперед.

Теперь некоторая характеристика архитектурных и структурных решений ЕС-1066. Отличительными особенностями этой машины являются:

- высокая производительность (12,5 млн одноктактных команд/с) за счет конвейерной обработки и подготовки команд, совмещенной с выполнением команд в операционном устройстве;
- параллельное выполнение команд обеспечивается за счет наличия в процессоре трех параллельно работающих блоков — блока команд, арифметического блока и блока управления памятью;
- предварительная подготовка трех потоков команд — основного и двух альтернативных, хранимых в буферной памяти (объем 64 Кбайт) и выбираемых по адресам команд переходов;
- микропрограммное управление, обеспечивающее эффективность алгоритмов управления и выполнения операций в процессоре (емкость управляющей памяти 128 Кбайт) и процедур ввода-вывода в каналах;
- динамическое микропрограммирование управляющей памяти за счет оперативного обновления содержимого микропрограмм при помощи сервисного процессора;
- автоматическое исправление содержимого управляющей памяти при ее сбоях;
- сокращение времени записи результатов от процессора за счет создания очереди до 6 запросов на запись.
- параллельное обращение к 8 независимо адресуемым модулям (каждый 1 или 2 Мбайт) оперативной памяти, реализованной на БИС ОЗУ, объемом 16 или 64 Кбит в корпусе и общей емкостью ОЗУ 8 или 16 Мбайт;
- применение высокоэффективных алгоритмов выполнения системных команд обеспечивает снижение затрат времени на управление ОС и повышение процента времени на функционирование;
- наличие в ЭВМ аппаратно-микропрограммных средств реализации функций операционной системы (средства дуального адресного пространства), обеспечивающих высокую эффективность работы в режимах виртуальной памяти



Типовой алгоритм техобслуживания после включения ЭВМ



Типовой алгоритм техобслуживания в процессе работы ОС ЕС

и виртуальных машин (режимы, впервые реализованные в отечественных ЭВМ);

- усовершенствованное управление вводом-выводом за счет разработки процессора ввода-вывода (ПВВ), состоящего из двух независимых процессоров групп каналов, каждый из которых управляет группой из одного байт-мультиплексного и пяти блок-мультиплексных каналов;
- наличие в процессорах групп каналов арифметических устройств, позволяющих реализовать некоторые функции операционной системы аппаратными сред-

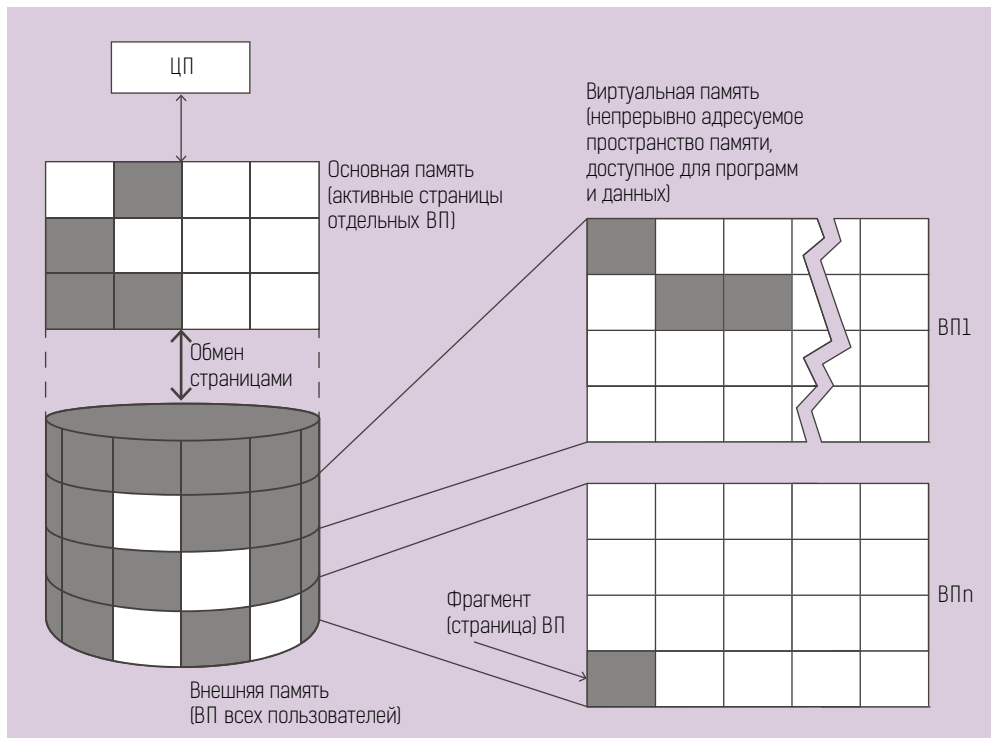


Схема организации виртуальной памяти

- ствами и на этой основе обеспечить повышение эффективности ввода-вывода;
- наличие буфера циклов, обеспечивающего хранение предвыбранной и записываемой информации для каждого канала;
 - наличие мощной системы ввода-вывода, обеспечивающей подключение накопителей на магнитных дисках от 100 до 600 Мбайт и организацию на их основе поля внешней памяти объемом 10^9 – 10^{10} бит;
 - возможность организации альтернативного доступа к одним и тем же накопителям посредством многоканальных переключателей от каналов, принадлежащих разным группам, что обеспечивает высокую надежность системы ввода-вывода;

- высокая степень сбалансированности быстродействия процессора с циклом работы оперативной памяти и пропускной способностью системы ввода-вывода (18 Мбайт/с);
- обеспечение построения многомашинных и многопроцессорных систем, систем коллективного пользования, а также сетей ЭВМ с использованием средств телеобработки из номенклатуры ЕС ЭВМ;
- наличие пульта управления ЕС 1566 с двумя сервисными процессорами;
- наличие двух сервисных процессоров и специального интерфейса в пульте ЕС 1566, кроме повышения надежности, обеспечивает проведение диагностических и профилактических работ отдельных устройств ЭВМ параллельно с управлением вычислительным процессом;
- подключение внешней памяти ЭВМ к сервисному процессору посредством стандартного интерфейса через двухканальный переключатель открывает возможность доступа к информации операционной системы в процессе вычислений;
- организация на базе пульта системы контроля (электропитание, вентиляция, температура и т. д.), позволяющей автоматизировать: управление подсистемами, контроль подсистем, диагностику неисправностей, регистрацию условий функционирования, оповещение операционной системы и оператора об угрожающем или аварийном изменении условий функционирования;
- организация на базе пульта в интересах пользователей справочно-информационной системы конструкторской документации ЕС-1066 с выводом на экран дисплея фрагментов технических описаний, таблицы сигналов, цепей прохождения сигналов с указанием адресов контактов и т. д.
- создание на базе пульта в интересах производства технологических стендов поэтапного контроля качества изготовления узлов и блоков ЭВМ (ТЭЗ, панель, монтаж рамы и стойки и т. д.).

Программные средства ЕС-1066 включают в себя системные, тестовые и сервисные. Системное ПО состоит из операционной системы ОС 7 ЕС, включая операционную систему СВМ (система виртуальных машин) и систем программирования для языков ПЛ/1, Кобол, Фортран, Паскаль и Ассемблер.

Операционная система ОС 7 ЕС состоит из базовой операционной системы (БОС) и операционной системы виртуальных машин (СВМ). ОС 7 ЕС обеспечивает функционирование как однопроцессорных, так и многопроцессорных конфигураций ЕС-1066, при этом возможно использование множества пространств виртуальной памяти.

Обеспечивается эффективный переход пользователей от разработанных ранее операционных систем ОС ЕС и ДОС ЕС. В этом отношении большую работу провели разработчики программного обеспечения В.Н. Помогаев, Д. Коновалов, Чекалов. Операционная система ОС 7 ЕС не имеет аналогов в мире и обладает патентной чистотой.

Год окончания разработки ЕС-1066: 1984.

Год начала серийного производства: 1985.

Год прекращения выпуска: 1993.

Всего было выпущено 422 машины в 18-ти различных модификациях.

Основные разработчики ЕС-1066: Н.А. Слюсарев, Н.Н. Бельский, А.И. Терёшкина, А.С. Клюев, Е.А. Рассказов, Ю.Н. Фомичёв, Н. Романенко.

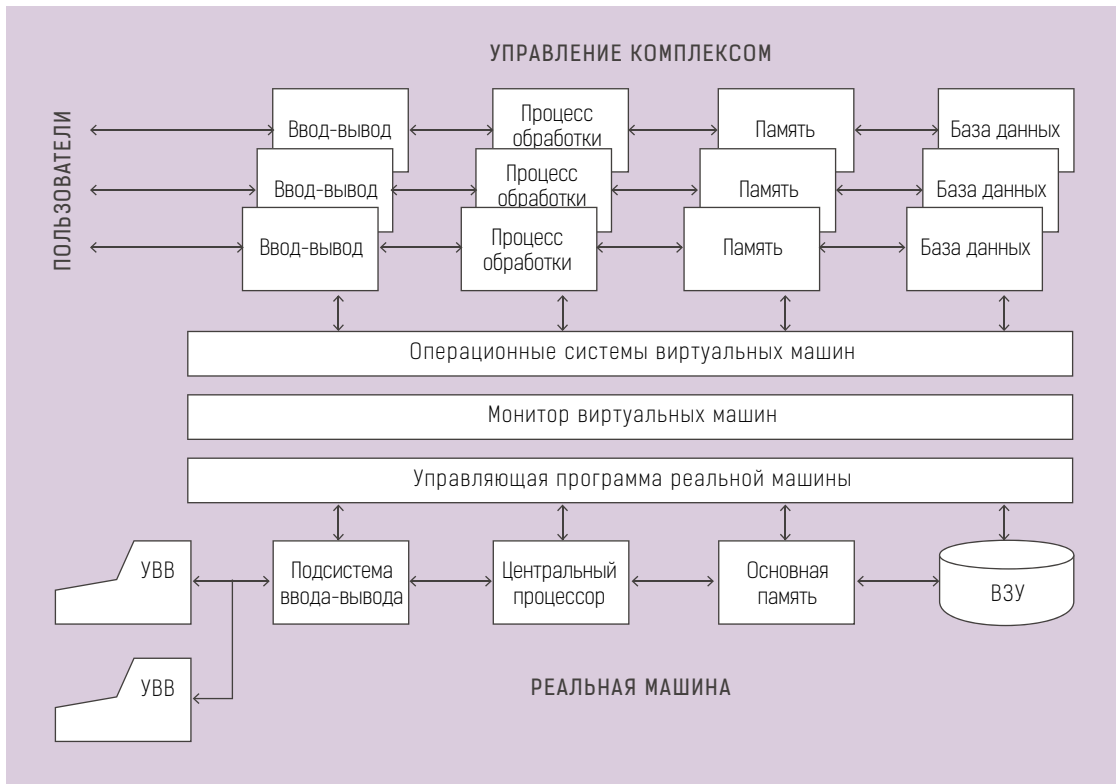
Разработка ЕС-1066, а также ее двухпроцессорного варианта ЕС-1066.90, безусловно, являлась значительным достоянием отечественной вычислительной техники. Вместе с тем до настоящего времени в отдельных публикациях и выступлениях на научно-технических конференциях высказывается ошибочное мнение о копировании НИЦЭВТ при разработке ЕС ЭВМ моделей корпорации ИВМ. Разработка ЭВМ ЕС-1066, а также ее двухпроцессорного варианта ЕС-1066.90, безусловно, являлось значительным достоянием отечественной вычислительной техники. К сожалению, даже в предыдущем издании «Вместе с тем до настоящего времени в отдельных публикациях и выступлениях на научно-технических конференциях высказывается ошибочное мнение о копировании НИЦЭВТ при разработке ЕС ЭВМ моделей фирмы ИВМ. Например, в статье члена-корреспондента РАН Б.А. Бабаяна «Истории отечественной электронно-вычислительной техники» (М., 2014, с. 98) в статье члена-корреспондента РАН Б.А. Бабаяна говорится о копировании НИЦЭВТ машин ИВМ: «Мы выиграли соревнование с НИЦЭВТ, который в то время копировал машины ИВМ, не являвшиеся суперскалярном. Мы сравнивали с двумя машинами ЕС-1060 (старая машина, аналог ИВМ 3033) и ЕС-1066 (самая новая на тот момент машина НИЦЭВТ, аналог ИВМ 3081). Мы превзошли первую в 10 раз, а вторую в 2 раза на однопроцессорном «Эльбрус-2», а... на двухпроцессорном «Эльбрус-2» в 5 раз. Это была конкуренция не с НИЦЭВТ, а с ИВМ, так как они сделали точные (clock precise) копии машин ИВМ, а технологическая база у нас была одна».

Ключевым моментом в этом случае является замечание, что «технологическая база у нас была одна». А значит, элементная база одна, технологии упаковки идентичны и машины работают на одной частоте. Так оно и есть, здесь всё одинаково, за исключением системы охлаждения. А разница — в оптимизации архитектуры под предполагаемый круг задач. Еще никому не удалось найти такую архитектуру вычислителя,

которая позволяла бы решать все задачи с абсолютно одинаковой скоростью. Поэтому при разработке архитектуры для решения широкого круга задач приходится жертвовать оптимумом одних ради рациональности других и эффективности в целом. Отсюда следует: на одних задачах будет быстрее одна машина, а на других — другая. Вполне возможно, что на какой-то задаче «Эльбрус-2» превзошел ЭВМ ЕС-1066. И уж совсем нет ничего удивительного, что машина с производительностью 12,5 млн команд/с (разработка 1985 года) превзошла машину с производительностью в 1 млн команд/с (разработка 1977 года) и уже давно была заменена на ЕС-1061. Следуя логике Б.А. Бабаяна, НИЦЭВТ уже в 1983 году выиграл у IBM, поскольку ЕС-1061 была в два раза производительнее ЕС-1060, а значит, и IBM 3033. Вот только фанфар по поводу этого замечательного события не звучало. Значит, не так всё просто, как не просто поверить в то, что «...на двухпроцессорном “Эльбрус-2” мы превзошли ЭВМ ЕС-1066 в 5 раз», если в однопроцессорном только в два. Это уже не факт, а какая-то реклама: «Купите два процессора — половину третьего получите бесплатно».

Теперь копирование, суперскаляр и конкуренция «не с НИЦЭВТ, а с IBM». ЕС-1060 не могла быть аналогом, а тем более точной копией (clock precise) модели IBM 3033 (1978 год) хотя бы по той простой причине, что она была разработана на год раньше, чем модель IBM 3033. Мы могли на тот момент ее только сфотографировать, когда она появилась (да и то чисто теоретически), но никак не скопировать. Действительно (и тут Б.А. Бабаян прав), IBM 360/3033, обладая почти всеми технологиями суперскалярной, всё же имела скалярную архитектуру. Архитектура же ЭВМ ЕС-1060 по сравнению с IBM 370/3033 отличалась еще большей простотой.

Модель IBM 370/3081 реализована на элементной базе четвертого поколения (БИС — 704 вентиля на чип) и использует беспрецедентные технологии упаковки, которые позволили удалить один уровень конструкции (ТЭЗы). ЕС-1066 построена на элементной базе средней интеграции, размещаемой на ТЭЗах. Только по одной этой причине точной (clock precise) копии уже быть не может. Хотя архитектуру ЕС-1066 мы тоже считаем суперскаляром (во всяком случае, она имеет многие технологии этой архитектуры), но она несопоставима с суперскалярной архитектурой основного процессора IBM 370/3081 и с суперскаляром «Эльбрус-2». Суперскаляр не стандартизирован и может быть реализован разными технологическими приемами, в зависимости от целей проектирования и решаемых задач. Нет никаких сомнений, что архитектура основного процессора модели IBM 370/3081 была суперскалярной. Но какое это имеет значение? Разве один факт того, что в одной ЭВМ использован суперскаляр, а во второй — нет, дает автоматически преимущество



Концептуальная модель виртуальных машин

первой над второй? Гораздо важнее понять, почему IBM не делала суперскаляры. Она что, не знала архитектуру суперскаляра? Знала и еще в 1966 году использовала ее в своих разработках. А при разработке ЕС-1066 мы разве не могли применить «хорошую» архитектуру суперскаляра? Мы что, ее не знали? Знали и могли. Так почему же не использовали? Для этого у нас аргументов было больше, чем у IBM. Например, при разработке архитектуры ЕС-1060 мы прекрасно знали архитектуру ЕС-1066. Но не использовали ее. Базовые технологии того времени позволили нам реализовать довольно простую архитектуру ЕС-1060 (процессор примерно 150 тыс. логических вентилях), центральная часть которой размещалась в шести стандартных стойках. Базовые технологии ЕС-1066 позволили реализовать более сложную архитектуру

(процессор примерно 300 тыс. логических вентиляей) в трех стандартных стойках. Отсюда и производительность. Если бы мы использовали архитектуру ЕС-1066 при разработке ЕС-1060, то получили бы машину в 12 стандартных стойках с гораздо более низкими показателями производительности и надежности. А если бы использовали архитектуру суперскаляра (для справки: центральный процессор архитектуры 3081 содержит 800 тыс. логических вентиляей), то получили бы нежизнеспособного монстра-уродца. Отсюда один из основополагающих законов разработки ЭВМ массового применения: архитектура должна соответствовать уровню базовых технологий. Иначе стоимость одной операции будет недоступна массовому потребителю. «Что позволено быку, не позволено Юпитеру». IBM попробовала суперскаляр и, очевидно, решила, что на той базовой технологии эта архитектура недостаточно эффективна с точки зрения стоимости операции. И вернулась к ней только тогда, когда появилась базовая технология четвертого поколения на основе БИС. И вся история развития вычислительной техники показала, что массовое применение эта архитектура нашла с того момента, когда она была реализована на микропроцессорном уровне. То есть для использования суперскаляра на элементной базе среднего уровня интеграции нужны очень веские аргументы. Возможно, на какой-то узкоспециализированной задаче «Эльбрус-2» добился максимально возможного результата и выполнил свое предназначение. Но это сугубо частный случай, хотя иногда и он оправдывает такую разработку. Но утверждать, что одно лучше другого только на том основании, что в одной модели есть суперскаляр, а в другой его нет, может привести к конфузу.

Модели IBM 3033 и IBM 3081 несоизмеримы с моделями ЕС-1060 и ЕС-1066 и по производительности. Такт работы первых и вторых соответственно равен: 56, 26, 120 и 80 нс. И по этой причине вторые не могли быть точной копией первых.

По нашему мнению, ЕС-1066 и однопроцессорный «Эльбрус-2» с точки зрения технического уровня являются машинами одного класса, но предназначены для разного применения, поэтому отдельные их параметры не могут служить критериями их оценки и сравнения.

Но дело не в этом. Главный вопрос, если перефразировать известное высказывание, в том, что «одни занимались оригинальной архитектурой, а другие — массовой вычислительной техникой». И ЕС-1066 полностью отвечает этому предназначению. Технологичность этой машины давала возможность создать автоматизированное (роботизированное) производство высокопроизводительных ЭВМ. Ее эксплуатационные качества позволяли организовать круглосуточное использование без простоев на ремонт и профилактику. И наконец, 18 различных конфигураций с диапазоном

производительности от одного процессора до супервысокопроизводительных систем различного назначения могли удовлетворить любого пользователя как по стоимостным показателям, так и по функционально-параметрическим характеристикам. Но в то время не многие пользователи в полной мере были готовы использовать возможности таких ЭВМ, как ЕС-1065, ЕС-1066, ЕС-1087.

Высокопроизводительные системы, комплексы и суперкомпьютеры ЕС

Проект ЕС ЭВМ был направлен, главным образом, на создание массовых и экономичных однопроцессорных ЭВМ. В то же время он обладал широким набором программных и аппаратных средств для организации на базе этих ЭВМ, при сохранении указанных качеств, мультипроцессорных и многомашинных комплексов.

Для реализации возможности многопроцессорной организации необходимо, прежде всего, обеспечить доступ одного процессора в оперативную память другого и, наоборот, доступ каждого процессора к общему полю оперативной памяти. Организация этого доступа различна, и конкретная его реализация во многом определяет эффективность работы многопроцессорной системы. В ЕС ЭВМ по топологии связей между основными ресурсами использовалось несколько типов организации многопроцессорных систем. Основными из них являются системы с общей шиной, многоходовые системы, системы с перекрестной коммутацией.

Общая шина использовалась, например, в ЕС-1015, и при этом разрешалась передача информации по этой шине с разделением по времени. Такая организация отличается простотой реализации, гибкостью, удобством подключения дополнительных устройств, унификацией, несложностью интерфейсов отдельных устройств и низкой стоимостью оборудования коммутации. Основные идеи общей шины были реализованы в ЭВМ с общими ресурсами — старшей модели второй очереди ЕС-1065.

Организация систем с перекрестной коммутацией базируется на коммутирующей матрице с пространственным разделением, позволяющей соединить одинаковые устройства (ЭВМ) друг с другом в любой комбинации. Конфликты, возникающие между процессорами при обращении к оперативной памяти, разрешаются специальной аппаратурой, расположенной в коммутирующей матрице. Коммутирующая матрица обладает относительно высокой функциональной сложностью и высокой стоимостью. Сложность оборудования возрастает пропорционально квадрату числа коммутируемых процессоров. При этом объем оборудования коммутатора для организации работы порядка десяти процессоров соизмерим с объемом оборудования одного процессора.

И всё же при числе процессоров более четырех другого пути организации их работы на общую память просто нет. Вопрос только в оптимизации такой организации с целью сокращения влияния коммутатора на производительность системы.

Многие зарубежные и отечественные ученые занимались вопросами производительности многопроцессорных комплексов. И все эти исследования показали логарифмическую зависимость производительности многопроцессорных систем от числа процессоров. Проблема оптимальной загрузки современных суперкомпьютеров и эффективного использования их процессоров не решена до сих пор.

Единственным проектом в мире, когда производительность растет прямо пропорционально количеству процессоров, является «Эльбрус-2». Для организации общего поля оперативной памяти он использует коммутирующую матрицу. Как пишет А.Н. Романов («История развития ЭВМ в СССР»): «Основная идея нового комплекса — использовать многопроцессорную архитектуру не только для повышения надежности, как это было до сих пор, но и в целях *увеличения производительности*. Была создана многопроцессорная структура, где при увеличении числа процессоров производительность практически не падает. В те времена *в зарубежных аналогах уже четвертый процессор не давал надбавки производительности*. Но в “Эльбрусе” были заложены такие архитектурные и конструкторские решения схемотехники, благодаря которым *производительность МВК практически линейна*». И если разработчики «Эльбрус-2» справились с этой задачей, то это действительно их большое достижение мирового уровня, заслуживающее уважения и внимания. Но не нашим специалистам, не специалистам IBM тайна схемотехнических решений, «благодаря которым производительность МВК практически линейна», не открылась, как, очевидно, оказалась недоступна и широкому зарубежному разработчику, поскольку эксперимент никем не был повторен. Например, когда серией 3080 IBM приступила к созданию многопроцессорных систем, производительность IBM 3081 с двумя процессорами по отношению к монопроцессору IBM 3083 увеличивается всего на 45% (один общий кэш) и до 80%, если присоединенному процессору поставить свой собственный кэш. Более того, монопроцессор IBM 3083 работает на 15% быстрее того же процессора, размещенного в модели IBM 3081 с отключенным присоединенным процессором. А разница между ними только в том, что процессор IBM 3081 имеет в своем составе аппаратуру коммутации для доступа к оперативной памяти, которой в монопроцессоре нет. Наш опыт дает примерно такие же результаты. Так что не мы, не за рубежом не смогли преодолеть проблему закона Амдала: на скольких бы этапах ни бежали зайцы, время прохождения всей эстафеты будет

определяться временем прохождения своего этапа улиткой. Линейного роста производительности в многопроцессорной системе можно достичь только тогда, когда каждый процессор работает с совершенно независимыми частями программы одной задачи (на всех этапах бегут зайцы). Этого для классических компьютерных комплексов в полной мере невозможно было сделать тогда, невозможно сегодня и невозможно будет завтра. Это станет возможным только тогда, когда мы научимся использовать квантовый параллелизм и (или) параллелизм нейросетевых структур. Поэтому в проекте ЕС ЭВМ, имея возможность создавать 16-процессорные комплексы (архитектура это предусматривала), мы создавали только двухпроцессорные комплексы. Четырехпроцессорные (ЕС-1181) еще только стояли на очереди.

Двухпроцессорные системы ЕС-1068.90, ЕС-1087.20, ЕС-1181

Электронная вычислительная машина ЕС-1068. При построении двухпроцессорных систем на базе старших моделей ЕС ЭВМ для коммутации шин данных использовались многоходовые адаптеры памяти. Физически адаптеры памяти могут быть размещены как в устройстве оперативной памяти, так и в процессоре. В обоих случаях они выполняют одну и ту же роль — расширяют число входов в оперативную память и разрешают конфликты между процессорами при обращении к ней. Многоходовые многопроцессорные системы обладают высокой скоростью передачи данных и высокой надежностью. Кроме того, оборудование коммутации имеет меньший объем, а следовательно, и более низкую стоимость. Этим был предопределен наш выбор.

Двухпроцессорная ЕС-1068 (главный конструктор Ю.С. Ломов) с производительностью в 1,8 раза выше производительности ЕС-1066 была разработана в 1985 году. В разработке принимали участие тот же состав аппарата главного конструктора и коллектив, который разрабатывал ЭВМ ЕС-1066. Машина серийно выпускалась Минским производственным объединением вычислительной техники до 1993 года.

Электронная вычислительная машина ЕС-1087. К началу 1980-х годов зарубежные фирмы стали производить ЭВМ на элементной базе четвертого поколения с интеграцией (N) 1000 логических элементов (ЛЭ) на чип. Конкурировать с ними, имея в качестве базовой технологии среднюю степень интеграции, стало просто невозможно.

Необходимость решения этой проблемы поставила перед отечественной наукой и промышленностью целый ряд сложных задач, связанных как с разработкой теоретических вопросов электронно-логического проектирования, так и с освоением новых физико-технологических процессов изготовления БИС, многослойных печатных плат и конструкций ЭВМ. В тот период повышение быстродействия элементной базы

решалось применением матричной структуры БИС с использованием каналов между элементами для трассировки межсоединений. Следует отметить, что на пути использования матричных БИС при проектировании ЭВМ возникает ряд конструктивно-технологических проблем: проблема роста числа контактов БИС, проблема плотности электро монтажа БИС и проблема роста номенклатуры и снижения повторяемости БИС. Для высокопроизводительных ЭВМ особенно серьезной проблемой технической реализации БИС является проблема сбалансированности быстродействия БИС и конструкции, а также «бездефектность» проектирования БИС, то есть высокая степень отработки сложных функциональных схем БИС до изготовления ЭВМ.

В отставании тоже есть свои преимущества: можно учиться на чужом опыте. К началу разработки ЕС-1087 на элементной базе с повышенной степенью интеграции в мире уже выпускалось несколько таких машин: ЭВМ серий 470 и 580 фирмы Amdahl, M200H фирмы Hitachi и серий 4300 и 3081 корпорации IBM. Изучение конструкций этих машин привело нас к неожиданным результатам. Во-первых, отсутствовала единая технология упаковки БИС. В указанных ЭВМ на БИС использовались разные типы конструкций: кассетная (ЭВМ серий 4300 и M200H), плоскостная (ЭВМ серии 470), этажерочная (ЭВМ серии 580) и конструкция на основе многокристальных монтажных модулей (ЭВМ серии 3080). Некоторые основные характеристики конструктивной и элементной базы зарубежных ЭВМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	ЭВМ			
	470/6	5860	4331	3081
Год выпуска	1975	1982	1980	1981
Машинный цикл, нс	32,5	24		26
Элементная база	БИС/ЭСЛ	БИС/ЭСЛ	БИС/ТТЛ	БИС/ТТЛШ
Максимальная интеграция БИС, ЛЭ	100	400	704	704
Число выводов в БИС	84	84	116	116
Шаг размещения БИС, мм	22,5	24		8
Максимальное число БИС на плате	42	121	9 в модуле	118 в модуле
Размер монтажной платы, мм	178×178	290×310	50×50	90×90

В табл. 2 приведены оценочные значения схемной ($T_{лэ}$), конструктивной ($T_{св}$) и системной (T_c) задержек, а также соотношения между $T_{св}$ и T_c , полученные на основе анализа элементной и конструктивной базы (см. табл. 1) и временных параметров ЭВМ, реализованных на 20 тыс. условных логических элементов (УЛЭ).

Таблица 2

Параметр	ЭВМ			
	470/6	5860	4331	3081
Схемная задержка $T_{лэ}$, нс	0,65	0,4	2,5	1,15
Конструктивная задержка $T_{св}$, нс	1,9	0,85	0,3	0,1
Системная задержка T_c , нс	2,55	1,25	2,8	1,25
Соотношение $T_{св}/T_{лэ}$	3	2	0,2	0,085

Характерной особенностью выбора этих типов конструкций является желание достичь максимальной монтажной плотности компоновки на всех уровнях конструкции. Но, как видно из табл. 2, значение конструктивной задержки на один логический каскад имеет разброс от 0,1 нс в ЭВМ 3081 до 1,9 нс в ЭВМ 470V/6. При этом соотношение $T_{св}/T_{лэ}$ находится в диапазоне от 0,085 (в ЭВМ 3081) до 3 (в ЭВМ 470V/6). Такой широкий диапазон значений позволяет сделать второй неожиданный вывод о несбалансированности параметров рассмотренных ЭВМ. Эти выводы заставили нас искать собственные решения конструирования ЭВМ на БИС.

Параметры элементной базы ($N = 750$ УЛЭ; $T_{лэ} = 1$ нс; $N_k = 108$; $P_{кр}$ не больше 4 Вт), а также производительность ЕС-1087 (10 млн команд/с) нам были заданы. Заданным параметрам соответствовали матричные БИС/ЭСЛ на основе БМК И-300. Допускалось частичное использование СИС серии К1500 в плоских корпусах с 24 выводами. Требовалось разработать оптимальную конструкцию, обеспечивающую реализацию заданного уровня производительности. Нами исследовались два типа конструкций: кассетный, когда БИС размещаются в ТЭЗах, устанавливаемых в панели, и плоскостной, когда БИС размещаются непосредственно на многослойной печатной плате панели. Если провести опрос разработчиков, то, скорее всего, квалифицированное большинство, если не все опрошенные, проголосует за плоскостную конструкцию. Работает эффект очевидности. Мы и сами так считали. Тем не менее мы начали эти исследования, как бы заранее зная результат и пытаюсь ответить на другой вопрос:

позволит ли кассетная конструкция получить заданные параметры производительности и сколько мы потеряем при этом, сохранив базу старой конструкции относительно принципиально новой? Почему нас интересовал этот вопрос? Да потому что он имел много преимуществ: не надо новой разработки конструкции, систем электропитания и охлаждения, при этом технологии производства и эксплуатации изменялись незначительно. А самое главное — выигрыш во времени освоения новой элементной базы, сокращение сроков разработки и освоения ЭВМ в производстве, а также сокращение относительной стоимости ЭВМ при значительном (в два раза) увеличении производительности. При анализе кассетного варианта конструкции мы рассматривали два предельных варианта, когда в ТЭЗе размещается:

- минимальное число БИС (например, один), соответствующее числу логических контактов одного соединителя ТЭЗа, типа СНП34 на 135 контактов;
- максимальное число БИС, суммарный функциональный объем которых соответствует максимальному суммарному числу логических контактов всех соединителей, размещенных в ТЭЗе. Например, двойной ТЭЗ с тремя соединителями СНП34-135 может содержать в среднем 6 логических БИС при 14 посадочных местах под БИС (включая резисторные блоки).

Результаты анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметр	Тип конструкции устройств ЭВМ			
	ЕС-1066	ЭВМ на БИС		
	Кассетный	Кассетный		Плоскостной
		60 ИС на плате ТЭЗа	1 БИС на одинарном ТЭЗе (вар. 1)	
Схемная задержка Тлэ, нс	2	1	1	1
Конструктивная задержка Тсв, нс	2,05	0,65	0,7	0,45
Системная задержка Тс, нс	4,05	1,65	1,7	1,45
Соотношение Тсв/Тлэ	1	0,65	0,7	0,45
Коэффициент сжатия временной диаграммы (относительное повышение быстродействия ЭВМ при переходе на БИС)		2,45	2,4	2,8

Полученные результаты стали неожиданными и для нас. Ожидаемая очевидность, конечно, подтвердилась. Заданная производительность достигалась без труда. Но главное оказалось не в очевидном, а в мелочах. Преимущество плоскостной конструкции оказалось не таким значительным, как предполагалось. Реализация этого преимущества требует разработки и освоения новых высокотехнологичных, наукоемких и трудоемких технологий, то есть теоретическое преимущество надо было еще суметь материализовать. Кассетная конструкция варианта 2 не дает никакого преимущества по отношению к варианту 1. Эти результаты позволили сделать следующие основные выводы:

- наибольший выигрыш плоскостной конструкции достигается установкой бескорпусных БИС;
- плоскостная конструкция при заданных параметрах элементной базы может использоваться тогда, когда целью разработки является достижение предельного уровня производительности (да и то только в том случае, когда относительное повышение производительности является значительным), то есть при разработке суперЭВМ;
- для ЭВМ общего назначения на этом этапе может использоваться кассетная конструкция при условии выполнения требований по производительности.

Таким образом, применение кассетной конструкции (вариант 1) для нас в тот период было предпочтительным. Расчеты показывали, что если задачу перехода на БИС мы будем решать параллельно с разработкой новой архитектуры ЭВМ, разработкой и производством широкой номенклатуры БИС, то на разработку полного цикла ЭВМ потребуется 6–7 лет. Что произойдет за это время в области конструирования ЭВМ? Анализ тенденций развития вычислительной техники показал, что в соответствии с законом Гордона Мура интеграция БИС увеличится как минимум на порядок. Для реализации такой машины, как ЭВМ ЕС-1087, потребуется не 350 типов БИС, а только 30. Кроме того, наметился явный переход от так называемой «наобумной» логики (когда с целью достижения производительности вся функциональная схема ЭВМ разрезается на схемы БИС без учета их функциональности) к структурированной логике. Об этом свидетельствовал тот факт, что уже в то время для мини-ЭВМ эти проблемы решались путем применения универсальных микропроцессоров и микропроцессорных комплектов БИС. Неминуемо этот процесс должен распространиться и на большие ЭВМ, и на суперЭВМ. А значит, все существующие на тот период конструкции были переходными, появление которых было связано с невысоким уровнем технологии БИС. Нам показалось нелогичным начинать разработку новой для нас конструкции, которая за рубежом находится уже «на излете».

Так впоследствии оно и произошло. Быстрое интеграционное и функциональное развитие универсальных микропроцессоров привело к тому, что самая развитая суперскалярная структура ЭВМ третьего поколения была реализована на микропроцессорном уровне еще в самом первом процессоре Intel Pentium в 1993 году. Затем появился Intel Core 2, ядро которого также является суперскалярным и содержит 4 декодера команд, теоретически позволяющих достичь пиковой производительности до 4 операций за 1 такт в каждом ядре. Сложившаяся архитектура микропроцессора Intel получила название x86. Современные процессоры включают в себя декодеры команд x86 для преобразования их в упрощенный внутренний формат с последующим их выполнением. В корне изменились и принципы конструирования.

Все эти аспекты привели нас к мысли «взять интеграл по частям». Временной период разработки ЭВМ на БИС (6–7 лет) с учетом перекрытия этапов был разбит на три отрезка. Первый отрезок был рассчитан на 3–4 года, в течение которых должна быть решена проблема бездефектной разработки БИС широкой номенклатуры. На этой основе предстояло создать ЭВМ ЕС-1087 с производительностью в два раза выше, чем у ЕС-1066. Как мы считали, это был фундамент быстрого прогресса старших моделей ЕС ЭВМ. Второй этап — проектирование ЕС-1181 с использованием БИС повышенной степени интеграции, включающей функциональные схемотехнические решения первого этапа. Третий этап — переход к технологии проектирования ЭВМ на основе универсальных микропроцессоров. Правильно выбранная стратегия проектирования — половина успеха работы коллектива. Выбранная стратегия позволяла нам решать задачи, стоящие перед коллективом отделения разработчика. А нагрузка на середину 1980-х годов была запредельная. В разгаре была работа по освоению в серийном производстве ЕС-1065 и ЕС-1066, а также их авторское сопровождение. На базе ЕС-1066 проектировались многомашинные комплексы и комплексы высокой производительности на основе матричных процессоров. Велась разработка сразу трех ЭВМ: двух высокопроизводительных на БИС — ЕС-1087 и ЕС-1181 и одной суперЭВМ векторно-конвейерного типа — ЕС-1191.

Для ЕС-1181 со сроком разработки начала 1990-х годов предполагалась разработка центрального процессора в объеме панели, а в раме должен был разместиться 4-процессорный вариант ЭВМ. Таким способом мы предполагали превзойти производительность модели IBM 3084 (два основных и два присоединенных процессора).

При этом предполагались новая архитектура, новая элементная база (БИС с 10×103 вентилях на кристалле), новая конструкция. Следующий этап (1993–1995 годы) — создание универсального микропроцессора с архитектурой ЕС ЭВМ. Как

показало дальнейшее развитие событий, выполнение этой программы открывало путь к созданию отечественных суперЭВМ на отечественной элементной базе.

Если стратегия первого этапа выражалась девизом «ТЭЗ в БИС», то стратегия второго — «процессор в панель», а третьего — «процессор в БИС (в микропроцессор)».

А ключом для решения всех этих проблем являлась быстрая разработка ЕС-1087. Ключевое слово здесь — «быстрая». Именно это давало возможность ее производства в течение примерно 5 лет. Иначе разработка этой машины становилась бессмысленной. Исходя из этого и была выбрана стратегия ее разработки, основанная на высокой степени унификации технологий ЕС-1066. Архитектура ЕС-1066 изменялась только в части организации многомашинных и многопроцессорных комплексов. ЕС-1087 сразу разрабатывалась как двухпроцессорная ЭВМ (ЕС-1087.20). Сохранялись все технологии производства и пользовательские технологии. К традиционным технологическим процессам ЕС ЭВМ добавились процессы механизированной подготовки выводов и пайки БИС, имеющих по 108 выводов с шагом 0,625 мм. Изменились только технологии разработки. В этом плане была разработана система автоматического проектирования и технологии монтажа БИС. Бездефектность проектирования решалась переводом функциональных схем ТЭЗ в функциональное наполнение БИС. Таким образом, это была модернизация, или перевод на новую элементную базу архитектуры ЕС-1066. Если хотите, «разведка боем» возможности разработки и производства БИС. Тем более что трассировать и изготавливать их НИЦЭВТ пришлось самому, поскольку предприятия МЭП категорически отказывались производить такую номенклатуру БИС. Но создание ЭВМ четвертого поколения открывало путь к новым современным компьютерным технологиям, производительность ЕС-1066 увеличивалась почти в четыре раза с одновременным повышением надежности. Одним словом, игра стоила свеч.

Тем не менее трудности проектирования и производства БИС превысили наши ожидания. Разработка ЕС-1087.20 (главный конструктор разработки — Ю. С. Ломов, главный конструктор



Электронная вычислительная машина ЕС-1087.20

центрального процессора — И.С. Храмцов, зам. главного конструктора по конструкции — В.И. Павлов) потребовала гораздо больше времени, чем мы рассчитывали, завершившись проведением государственных испытаний (1988 г.) и рекомендацией передачи ее в серийное производство.

Стационарная двухпроцессорная электронная вычислительная машина общего назначения ЕС-1087.20 — первая машина четвертого поколения. Для этого разработчиками НИЦЭВТ и НИИ «Аргон» была создана единственная в стране система сквозного проектирования БИС и СБИС практически всех известных в то время технологий ECL, TTL, CMOS. Главным конструктором этого проекта являлся Валерий Васильевич Ярных. Разработанная система позволила разработать 317 типов БИС процессора ЕС-1087, а также более десятка СБИС «ТАКТ 6000». Система также использовалась в ЕРНИИМ (г. Ереван), в ЦИИТ (г. София, БНР), ИТМ и ВТ. Предназначалась машина для построения мощных вычислительных систем и сетей ЭВМ различного назначения с высокой пропускной способностью ввода-вывода и большим объемом внешней памяти.

Центральный процессор и процессор ввода-вывода выполняют принципы работы ЕС ЭВМ-3. Новым устройством, входящим в ЭВМ, была расширенная оперативная память ЕС-3948 емкостью 128 Мбайт. При подключении двух таких устройств оперативная память ЭВМ расширялась до 256 Мбайт.

ЕС-1087.20 могла функционировать в следующих режимах:

- двухпроцессорный (основной режим работы с повышенной производительностью и надежностью);
- однопроцессорный (две полностью изолированные однопроцессорные ЭВМ);
- двухмашинный (две подсистемы с неразделенными ресурсами).

Программное обеспечение ЕС-1087 аналогично программному обеспечению ЕС-1068.90.

Два центральных процессора с оперативной памятью 16 Мбайт развивали производительность 15 млн оп/с по смеси Gibson-3 и 4,5 млн оп/с на смеси GPO-WU для плано-экономических задач. 12 или 24 канала ввода-вывода обеспечивали высокую пропускную способность системы ввода-вывода (до 36 Мбайт/с.) Центральная часть ЭВМ размещалась в четырех стандартных стойках. Занимаемая площадь — 120 кв. м. Потребляемая мощность — 30 кВт.

Центральный процессор ЭВМ ЕС-1087, работая по принципам работы ЕС ЭВМ-3, выполнен на матричных БИС ИС-300Б, содержащих около 1 200 логических вентилях на чипе.

Электронная вычислительная машина ЕС-1181

Вся наша хорошо продуманная стратегия разбилась о перестройку. От НИЦЭВТ был отделен НИИ физики и технологии, который изготавливал БИСы для ЕС-1087. Сроки ее разработки начали сдвигаться. Проблемой стала не только разработка и производство СБИС, но и достигнутый уровень БИС не обеспечивался производством. В связи с этим было изменено ТЗ на разработку ЕС-1081. Новый двухпроцессорный вариант ЕС-1181 базировался на достижениях ЕС-1087. Главным конструктором новой ЕС-1181 был назначен И.С. Храмцов, главным конструктором центрального процессора — Н.А. Слюсарев. Заместителем главного конструктора по конструкции стал В.И. Павлов. Активное участие в создании ЕС-1181 принимали: Н.Н. Бельский, А.С. Ключев, Ю.Н. Фомичёв, Н. Романенко.



И.С. Храмцов

Высокая производительность ЕС-1181 (20 млн команд/с) и большая емкость оперативной памяти (64 Мбайт) предполагали ее использование в автономных территориальных и кустовых вычислительных центрах, в автоматизированных системах управления и сетях управления на базе многомашинных, многопроцессорных и проблемно-ориентированных комплексов различной конфигурации. Машина позволяет строить распределенные системы обработки данных, системы и сети телеобработки. ЕС-1181 имеет «интеллектуальный» пульт управления, реализованный на базе ПЭВМ типа IBM PC/AT. В конфигурацию ЕС-1181 включено качественно новое оборудование: НМД емкостью 2,4 Гбайт (ЕС 5597.01, ЕС 5317,01); НМЛ — ЕС 5537, ЕС 5727; терминальная система — ЕС 7970.52; печатающее устройство — ЕС 7040. Введение новых оптимизированных средств дуального адресного пространства позволило повысить системную производительность в 1,5 раза на задачах с интенсивным страничным обменом.

Но главная и результативная работа была проведена по совершенствованию кассетной конструкции с размещением одного БИС на плате. Идея оказалась настолько продуктивной, что путем изменения конструкции ТЭЗа, панели и рамы удалось разместить центральный процессор, процессор ввода-вывода и оперативной памяти и оперативную память в одной стойке. Новые технологии компоновки, предложенные конструкторами (В.И. Павлов), полностью изменили дизайн конструкции и позволили не только сохранить воздушное охлаждение, но и отказаться от централизованных систем охлаждения. Таким образом, работы по переходу

на элементную базу четвертого поколения старших моделей ЕС ЭВМ первого этапа программы получили свое логическое завершение.

НИЦЭВТ по договору с НИИВТ г. Пенза впервые создал дисковую подсистему внешней памяти для ЕС-1181. Работу финансировал НИЦЭВТ. В одном базовом шкафу ЕС ЭВМ размещалось до 32 накопителей общей емкостью. Главный конструктор системы — лауреат Государственной премии А.И. Дудкин. Устройство внешней памяти прошло испытания и поставлялось в ВЦ ГШ РФ для комплектования информационно-управляющих систем.

Опытный образец ЕС-1181 был изготовлен на МПО ВТ, налажен и испытан, показав высокую надежность функционирования и подтвердив правильность проектной концепции. Была создана машина на БИС мирового уровня. Проведение государственных испытаний и серийное производство намечалось на 1993 год. Многочисленные пользователи, которые посещали завод для того, чтобы познакомиться с результатами работы, давали, без всякого преувеличения, восторженные оценки характеристикам, эксплуатационным качествам и дизайну ЕС-1181. Несмотря на это, участь машины определил наступивший 1993 год, изменивший не только жизнь людей, но и судьбу высокотехнологичной техники.

Многомашинные системы ЕС

Многомашинные системы ЕС представляют собой вычислительные комплексы (ВК) на базе серийно выпускаемых ЕС ЭВМ, которые объединяются для совместной работы с помощью средств комплексирования. Многомашинные системы, в отличие от многопроцессорных, не имеют общего поля оперативной памяти, и каждая ЭВМ, входящая в комплекс, управляется собственной операционной системой. НИЦЭВТ разрабатывает не сами многомашинные комплексы, а аппаратные и программные средства комплексирования для них. Основным разработчиком крупных автоматизированных систем государственного назначения на базе многомашинных комплексов ЕС ЭВМ являлся НИИ «Восход». Успехи в создании автоматизированных систем, в том числе и на базе высокопроизводительных многомашинных комплексов ЕС ЭВМ, прежде всего, связаны с достижениями отечественных специалистов в области архитектуры, программирования и систем управления базами данных (СУБД). Эти достижения признаны во всем мире.

Пакеты прикладных программ (ППП) являются составной частью системы программного обеспечения ЕС ЭВМ и представляют собой функционально законченный комплекс программных средств, ориентированный на решение

определенного логически целостного класса задач. ППП, разработанные в рамках ЕС ЭВМ, отличаются независимостью от типа использующихся технических средств и периферийного оборудования, легкостью настройки, разнообразием классов решаемых задач (областей применения) и различными алгоритмами решений в каждом классе.

По сферам применения и классам решаемых задач выработалась следующая классификация ППП:

- общего назначения;
- для решения инженерных и научно-технических задач;
- для решения задач экономического характера и задач АСУ.

ППП, предназначенный для функционирования вычислительного комплекса, не ограничивает количества ЭВМ, входящих в его состав. При этом каждая из этих ЭВМ работает под управлением операционной системы ОС ЕС, а ППП — на одной из них. Использование ОС ЕС совместно с ППП в многомашинной вычислительной системе (ВС) повышает производительность и надежность такой ВС по сравнению с отдельно используемыми ЭВМ и позволяет сократить число операторов ЭВМ, обслуживающих многомашинную вычислительную систему. Эти преимущества достигаются благодаря разделению функций по выполнению заданий между ЭВМ и использованию дополнительных возможностей, предоставляемых ППП.

На момент окончания разработки второй очереди ЕС ЭВМ, на основе которых и началось создание многомашинных комплексов, фонд прикладных программ ЕС ЭВМ составлял более 100 пакетов общим объемом несколько миллионов команд. Конечно, это был еще не тот объем, который позволял бы говорить как о каком-то значительном результате, но работы в этом направлении продолжались, и не только в НИЦЭВТ. За счет этого фонд стремительно пополнялся новыми ППП. Особенно успешно в этой области работал НИИ «Восход», который не только разрабатывал пакеты прикладных программ ЕС ЭВМ, но и внедрял их в разрабатываемые им автоматизированные системы. В результате к 1983 году НИИ «Восход» внедрил в серийное производство крупный комплект ППП, отмеченный Премией Совета Министров СССР. Этот программный продукт для решения задач на ЕС ЭВМ включал пакеты задач общего назначения, пакеты инженерно-технических и экономико-математических задач балансового и оптимизационного типа.

Важным качеством современных ЭВМ и вычислительных систем с точки зрения их использования для построения АСУ и информационно-поисковых систем (ИПС) является наличие в их составе стандартного ПО средств для организации и ведения

больших массивов данных и средств, обеспечивающих коллективный доступ к таким массивам в режиме одновременного обслуживания запросов пользователя, поступающих от удаленных и локальных терминалов. В этом плане серийно выпускаемые ЕС ЭВМ были единственными вычислительными машинами, содержащими в поставляемом комплекте стандартного ПО все указанные средства коллективного доступа.

Системы управления базами данных (СУБД) ЕС ЭВМ в то время были представлены СУБД «Ока» и системой телеобработки баз данных «Кама». СУБД «Ока-ЕС» — иерархическая СУБД с логической и физической базами данных. Предназначалась для построения мощных информационных, справочных и управляющих систем с большим объемом обрабатываемой информации и сложными логическими связями между элементами информации в пакетном режиме и в режиме оперативного обслуживания задач пользования. В системе могут функционировать все типы удаленных и локальных терминалов ЕС ЭВМ. Система «Ока» содержит развитые средства ведения баз данных, которые обеспечивают:

- протоколирование всех изменений, происходящих в базе данных, и регистрацию всех сообщений;
- восстановление данных, поддерживающих информационный фонд системы в правильном состоянии, в случае отказов и сбоев аппаратуры;
- защиту ресурсов от несанкционированного доступа;
- реорганизацию и загрузку баз данных;
- подготовку статистических отчетов.

Система телеобработки баз данных «Кама-ЕС» предназначалась для использования в качестве базового ПО при построении:

- средств организации распределенной обработки данных в одnoreгиональных и многорегиональных сетях ЕС ЭВМ;
- средства обмена управляющей информацией и данными между задачами пользователей;
- средств восстановления работоспособности системы при отказах ПО и технических средств (ТС);
- широкого класса обычных применений систем телеобработки, включая переключение сообщений, получение справок, ввод данных в режиме диалога, сбор данных;
- справочно-информационных систем коллективного пользования, работающих в оперативном режиме и характеризующихся малым временем реакции.

Системы баз данных быстро развивались и совершенствовались как за рубежом, так и у нас в стране. Наиболее удачным проектом была СУБД, разработанная высококлассными программистами НИИ «Восход» под руководством доктора технических наук Б. Берёзкина, к сожалению, рано ушедшего из жизни. СУБД ДИСОД НИИ «Восход» по параметрам соответствовала лучшим зарубежным образцам с рекордно малым временем на запрос. Это определило широкое применение автоматизированных систем на базе многомашинных комплексов ЕС ЭВМ, которые обеспечивали следующие режимы работы, приведенные в табл. 4.

Впервые специалисты НИИ «Восход» и НИЦЭВТ встретились по совместной работе уже через два-три года после образования НИИ «Восход» (23 ноября 1972 года).

Таблица 4

Режимы	Функциональное состояние		
	ЭВМ 1	ЭВМ 2	Характеристика ВК
1	Рабочая	Дублирующая	Обе ЭВМ выполняют одну и ту же работу, но результаты резервной блокированы (используются для контрольного сравнения). Подключение резервной ЭВМ состоит в блокировке рабочей ЭВМ и в разблокировке дублирующей ЭВМ
	Дублирующая	Рабочая	
2	Рабочая	Параллельная	Используется для преодоления перегрузок рабочей ЭВМ. С наступлением перегрузки резервная ЭВМ берет на себя часть нагрузки рабочей ЭВМ, работая с ней параллельно. Преодолев перезагрузки, переходит в любой другой режим, например дублирования
	Параллельная	Рабочая	
3	Рабочая	Вспомогательная	Обе ЭВМ решают задачи управления. Рабочая ЭВМ решает основные задачи АСУ, а резервная обрабатывает задачи управления вспомогательного характера (производит предварительную обработку)
	Вспомогательная	Рабочая	
4	Рабочая	Резервная	Рабочая ЭВМ решает все задачи АСУ, а резервная – в режиме ожидания либо в режиме тестового контроля
	Резервная	Рабочая	
5	Рабочая	Независимая	Рабочая решает все задачи АСУ, а вторая решает задачи, не связанные с управлением
	Независимая	Рабочая	
6	Независимая	Независимая	Две независимые ЭВМ работают по совершенно различным программам и ведут обработку индивидуальных задач



Д.Л. Файнберг

В Вычислительный центр ЦК КПСС на Старой площади были поставлены три двухмашинных комплекса ЕС-1060, при этом впервые они были укомплектованы самыми последними по характеристикам импортными накопителями на дисках фирмы BASF. Для сдачи комплексов в эксплуатацию была назначена комиссия: от НИИ «Восход» — В.И. Дракин и А.В. Грибов; от НИЦЭВТ — В.В. Пржиялковский и В.С. Антонов; от Минского завода ЭВМ — Ю.В. Карпилович и М.П. Кривонос; от Министерства обороны (МО) — Д.Л. Файнберг и представители заказчика НИИ «Восход».

Было показано и доказано, что система ЕС ЭВМ совместима не только с моделями от младших до старших ЭВМ, но и с любым оборудованием, отвечающим принципам работы IBM. Вот что пишет в своей книге «Так было» бывший главный инженер МПО ВТ Ю.В. Карпилович: «Особенно не просто “шла” ЕС-1060. На одном

из объектов ответственным за сдачу машины в эксплуатацию был главный инженер Главка Э.Р. Фильцев. Мне, руководителю инженерного корпуса МПО ВТ, был запрещен выезд с объекта до окончания работ. Ежедневно по утрам специальная комиссия рассматривала состояние дел. Порой обстановка накалялась до такой степени, что казалось, в Минск, домой, нам уже не вернуться! Работали непрерывно, сутки — пополам. Хватало и разработчикам. В.В. Пржиялковский (также член комиссии) и старший представитель заказчика НИЦЭВТ Д.Л. Файнберг ежедневно рассматривали ситуацию, принимая важные решения по целому спектру проблем. И работа продвигалась! Учились друг у друга — разработчики, производители, пользователи».

Три двухмашинных комплекса ВК 2Р-60 были основой специализированной информационно-справочной системы ЦК КПСС разработки НИИ «Восход» на базе ЕС ЭВМ (главный конструктор, д. т.н., профессор, трижды лауреат Государственной премии В.И. Дракин). Это была первая, но не последняя совместная работа с НИИ «Восход».

Совместная плодотворная работа НИИ «Восход» и НИЦЭВТ продолжалась почти 20 лет. За это время в НИИ «Восход» было создано около 20 специализированных автоматизированных информационно-вычислительных систем для высших органов государственной власти и управления страны, а также управляющих систем для МО. В них использовались как отдельные машины ЕС ЭВМ, так и многомашинные вычислительные комплексы Единой системы — от 2-машинных на базе ЕС-1060 до 8-машинных на базе ЕС-1066. Эти системы были созданы под руководством и при участии

таких выдающихся системщиков, как В.И. Дракин, А.В. Грибов, В.И. Богатырёв, В.С. Корсаков, Н. Солянкин, А. Куколев.

Еще одним мощным центром создания автоматизированных систем в интересах военного назначения на базе ЕС ЭВМ, с которым у НИЦЭВТ сложились хорошие партнерские отношения, был 27-й Центральный научно-исследовательский институт МО. На основе системных разработок этого института формировались мощные вычислительные центры органов управления государством и МО, вычислительные центры округов и флотов и других органов управления. В качестве примера можно привести разработанную этим институтом на базе ЕС ЭВМ АИС и ее развитие за счет создания базовых автоматизированных средств обработки данных БАСОД СПО-397. Ее инструментальные средства служили базой для разработки новых разнообразных автоматизированных информационных систем и автоматизированных информационно-управляющих систем. Неоценимым вкладом этого института является развитие СУБД как основы построения различного рода систем и вклад в фонд пакетов прикладных программ ЕС ЭВМ.

СуперЭВМ Единой системы

В конце 1970-х годов НИЦЭВТ начал заниматься проектированием средств высокопроизводительных вычислений для класса задач, решаемых на суперЭВМ. Тогда были разработаны первые высокопроизводительные системы на базе матричных процессоров, что соответствовало тенденциям развития ЭВМ общего назначения. В развитых капиталистических странах уже эксплуатировалось около 1000 суперкомпьютеров. Из 512 установок векторно-конвейерной архитектуры 201 установка — высокопроизводительные машины общего назначения с векторными устройствами. А это уже зона ответственности НИЦЭВТ.

В проекте ЕС ЭВМ проектировались матричные процессоры разной производительности двух типов: функционально зависимые и функционально независимые. Первые — это устройства, которые являются операционными блоками процессора и могут использоваться только с тем процессором, для которого они разработаны. Конструктивно матричные модули выполняются таким образом, чтобы иметь возможность быть подключенными к уже установленной машине. В качестве примера можно привести матричный процессор, разработанный для ЭВМ ЕС-1055 (ГДР). Такую же возможность подключения матричных процессоров, и не только матричных, но и других функциональных обрабатывающих устройств, допускала архитектура ЕС ЭВМ-1065. Вторые — матричные устройства, которые подключаются

к процессору по интерфейсу канала ввода-вывода и поэтому могут работать с любой моделью ЕС ЭВМ.

Матричный процессор является специализированным исполнительным устройством, предназначенным для быстрого выполнения таких операций с плавающей запятой, которые используются при матричных вычислениях и преобразованиях Фурье. Благодаря параллельному выполнению различных процессов достигается высокая скорость вычислений, которая в зависимости от размера полей, плотности потока команд и алгоритма может быть много выше, чем при выполнении этих операций в арифметическом устройстве с плавающей запятой основной ЭВМ. Например, в ЕС-1055 и производительность процессора увеличивается на задачах в 30–50 раз.

Функционально независимые матричные процессоры позволяют в зависимости от сложности решаемых задач подключать к ЭВМ большое количество устройств и строить вычислительные системы кластерной архитектуры. Такого решения, например, потребовала задача управления полетом и обработка информации со спутника, запущенного к комете Галлея, приближающейся к Земле. Эта задача была успешно выполнена на базе системы, созданной специалистами ИПМ АН им. М.В. Келдыша, Болгарской Народной Республики и НИЦЭВТ.

В 1985 году на базе двухпроцессорной ЭВМ ЕС-1068.90 в НИЦЭВТ был разработан высокопроизводительный вычислительный комплекс ЕС 1066.17. Объем ОЗУ — 64 Мбайт с возможностью расширения до 256 Мбайт. Объем внешней памяти — 32–64 Гбайт. Комплекс допускал подключение до 16 матричных процессоров ЕС 2706. Кроме того, подключались рабочие станции и средства локальных и региональных сетей с числом абонентских пунктов до 10 тыс. Производительность комплекса в базовой комплектации (4 матричных процессора) составляла 200 млн оп/с.

Несмотря на то что главное внимание НИЦЭВТ уделял массовым коммерческим машинам, он одновременно не упускал из виду развитие архитектуры супервычислительных систем большой сложности и существенно большей производительности. На повестке дня стояли архитектуры с массовым параллелизмом. Работы шли совместно с Киевом (Институт кибернетики имени академика В.М. Глушкова), с Таганрогом (НИИ МВС ЮФУ имени академика А.В. Каляева) и др.

В 1974 году на конгрессе IFIP В.М. Глушков выступил с докладом о рекурсивной ЭВМ, основанной на новых принципах организации вычислительных систем (соавторы В.А. Мясников, И.Б. Игнатьев, В.А. Торгашёв). В развитие этих идей в НИЦЭВТ под руководством д. т. н. В.А. Торгашёва (Ленинградский институт информации автоматизации) и при активном участии В.У. Плюснина проводились работы по машинам

с динамической архитектурой (МДА), ориентированным на распределенные вычисления. При разработке МДА предложен новый подход к организации вычислений в ЭВМ: динамическая трансформация программы (модель распределенных вычислений на базе теории растущих автоматов — динамические автоматные сети).

Создан оригинальный, не имеющий зарубежных и отечественных аналогов мультипроцессор с динамической архитектурой ЕС 2704 с производительностью 100 млн оп/с. Главной отличительной чертой МДА является то, что в основу этих машин положена вычислительная модель, в которой само вычисление рассматривается как автотрансформация сети, и в этом случае распределенное управление становится частным случаем вычислений. Разработан новый подход к организации распределенной и полностью децентрализованной ОС для ЭВМ с МДА. ОС МДА распределена по всей ЭВМ, то есть отсутствует централизованная функция управления.

Работа проводилась на основании Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 483–155 от 09.06.1980, а также совместного решения АН СССР и МРП № Р-193–01–84 от 13.07.84 «О проведении работ по созданию проблемно-ориентированного процессора с динамической архитектурой для ЕС ЭВМ».

В основу работ в Киеве положены найденные решения по архитектуре, базирующиеся на парадигмах и идеях академика В.М. Глушкова. Суть архитектуры, названной макроконвейером, заключается в том, что каждому отдельному процессору на очередном шаге вычислений дается задание, позволяющее ему длительное время работать автономно без взаимодействия с другими процессорами.

Макроконвейерные ЭВМ ЕС-2701 и ЕС-1766 (главный конструктор С.Б. Погребинский), не имеющие аналогов в мировой практике (по оценке Государственной комиссии, принимавшей работы), — самые мощные вычислительные системы начала 1990-х годов. Производительность ЕС-1766 при использовании полного комплекта процессоров (256 устройств) оценивалась в 2 млрд операций в секунду (!). Производство ЭВМ ЕС-2701 и ЕС-1766 было передано на завод ВЭМ (г. Пенза) в 1984 и 1987 годах соответственно. К сожалению, столь мощные (соперничающие с лучшими американскими) и столь нужные науке и технике машины были выпущены на заводе лишь малой серией.

В Таганроге на основе идей академика А.В. Каляева развивались решения по программируемому и динамическому архитектурам.

Суперкомпьютеры развивались как уникальные специализированные вычислители, позволявшие ученым и инженерам браться за трудоемкие задачи, решение которых ранее было невозможным. В НИЦЭВТ планировалось создать

суперкомпьютер Единой системы, сохраняющий все функции машин общего назначения и одновременно реализующий новые функции для решения научно-технических задач. Такой подход отличался и от концепции IBM, которая воплощала ту же идею путем добавления 171-й команды в систему команд IBM 3090.

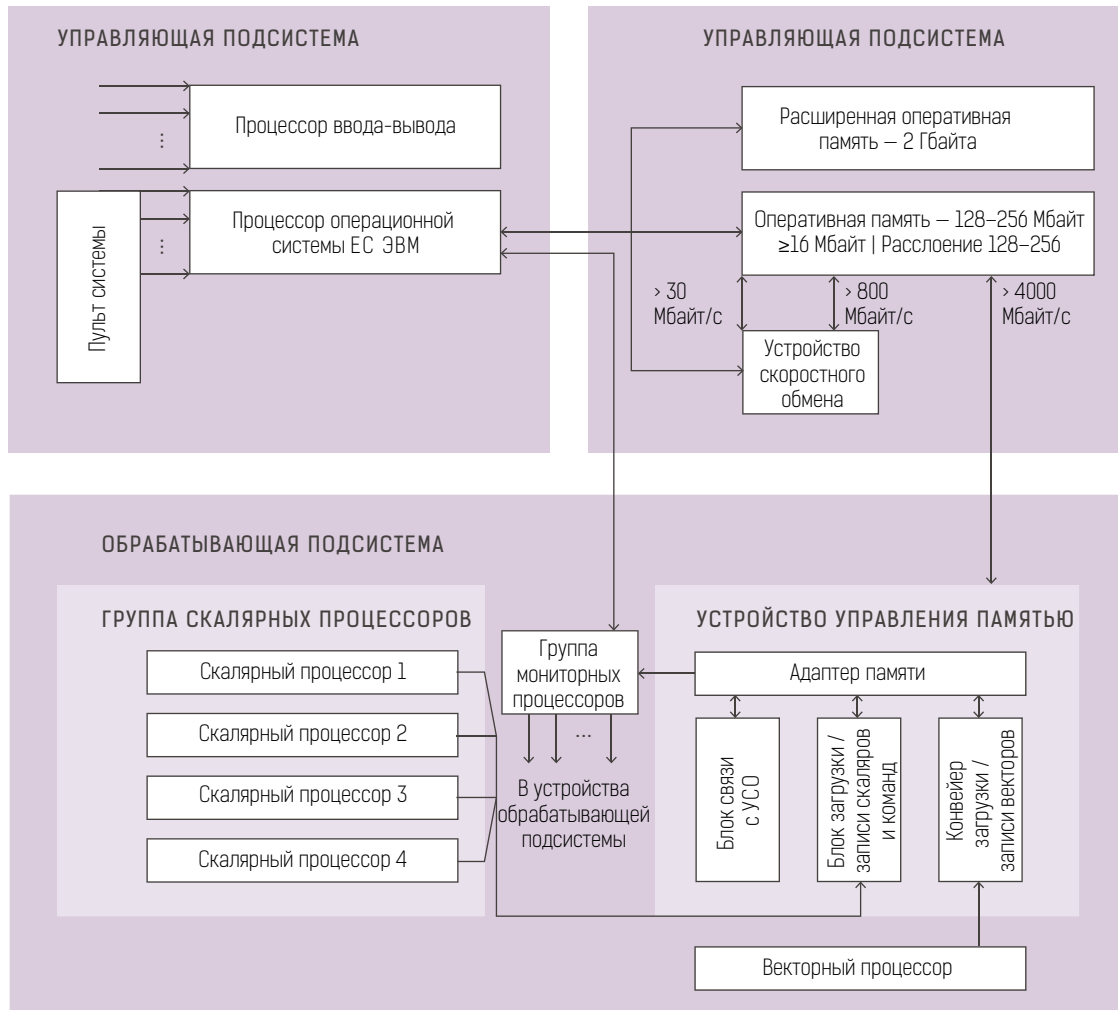
При разработке суперкомпьютера ЕС были сформулированы следующие основные принципы его концепции:

- преодоление порога производительности в 1 Гфлопс;
- разработка архитектуры, обеспечивающей достижение номинальной производительности, близкой к пиковой, в достаточно широком диапазоне и именно для тех классов задач, которые требуют большого объема вычислений;
- обеспечение применения таких методов программирования, которые приняты для современных высокопроизводительных ЭВМ общего назначения. При этом должно быть обеспечено использование операционных систем и необходимого сервиса, разработанного и используемого в рамках Единой системы;
- оптимальное распределение функций между управляющей и обрабатывающей подсистемами для максимального сосредоточения функций управления на управляющей подсистеме с целью освобождения обрабатывающей подсистемы от рутинных действий, не требующих сверхвысокой скорости вычислений.

Решение о создании векторно-конвейерного суперкомпьютера ЕС-1191 с оригинальной архитектурой было принято Военно-промышленной комиссией (ВПК) при СМ СССР. Техническое задание ЭВМ ЕС-1191 подписал председатель комиссии Ю.Д. Маслюков. Главным конструктором этой машины был назначен Ю.С. Ломов. Основные разработчики: А.И. Слуцкий, А.И. Никитин, В.Г. Моисеев, Л.В. Поспелов, В.В. Карпова, Н.Д. Воронцова, Е.Н. Потоцкий, В.Г. Семовских, И.В. Кульгашова, В.И. Павлов, А.М. Сержантов.

Архитектура и принципы работы суперкомпьютера ЕС-1191 разрабатывались специалистами НИЦЭВТ с учетом последних достижений в области векторно-конвейерных вычислений суперкомпьютеров Cray (США), а также Hitachi и Toshiba и суперкомпьютеров серии NEC SX (все — Япония), которые воплотили в структуру новые по отношению к ЭВМ Cray идеи.

Предложенные архитектурные и структурные решения суперкомпьютера ЕС-1191 позволяли создать суперкомпьютер с производительностью 1000 Мфлопс. Это достигалось за счет создания эффективного векторного процессора, высокопроизводительных скалярных процессоров, подсистемы памяти, по емкости и пропускной способности в сотни раз превосходящей системы памяти ЭВМ общего назначения,



Структура суперкомпьютера ЕС-1191

мониторинговых процессоров, как эффективного средства программно-аппаратной реализации функций внутренней операционной системы.

Особое внимание при разработке архитектуры суперкомпьютера ЕС-1191 было уделено вопросам организации подсистем памяти, которая состоит из основной

оперативной памяти (ОП), расширенной оперативной памяти (РОП) и устройства скоростного обмена (УСО). Устройство управления памятью (УП) связано с ОП, имеющей емкость до 256 Мбайт, и восемью независимыми интерфейсами. Высокая степень расслоения ОП (128–256 байт) обеспечивает предельный темп выборки — восемь 64-разрядных слов каждые 15 нс, что позволяет через конвейер загрузки-записи обеспечить передачу векторов в векторный процессор с темпом четыре двойных слова за 7,5 нс. При выборке массивов векторов с произвольным шагом конвейер загрузки-записи обеспечивает передачу векторов в векторный процессор с максимальным темпом четыре двойных слова за 15 нс. Для сглаживания разницы в быстродействии ОП и внешней памяти используется РОП. При скорости передачи, близкой к 1,0 Гбайт/с, РОП по быстродействию примерно в 300–400 раз превосходит устройства внешней памяти на магнитных дисках. Кроме того, предусмотрено до 15 адресных пространств виртуальной оперативной памяти. Скорость передачи данных из РОП в УСО предполагается высокой — не менее 500–1000 Мбайт/с, а между областями оперативной памяти — в диапазоне 30–100 Мбайт/с.

В процессорах ЕС ЭВМ общего назначения для обеспечения компромисса между производительностью и стоимостью функции управления и вычислений реализуются одним процессором. В обрабатываемой подсистеме ЭВМ ЕС-1191 эти функции разделены.

Управляющая подсистема суперкомпьютера ЕС-1191 выполняет следующие основные функции: ввод-вывод данных; подготовка исходных текстов программ для решения в обрабатываемой подсистеме; ввод-вывод в основную и расширенную память обрабатываемой подсистемы; обслуживание запросов мониторных процессоров; выполнение заданий или шагов заданий, не требующих сверхвысокой производительности и больших объемов памяти; обеспечение пользователей всем необходимым сервисом.

За счет выделения группы мониторных процессоров обеспечивается параллелизм управления вычислительными задачами и высокая надежность контура управления. Мониторные процессоры предназначены для оперативного управления функционированием и обслуживания устройств обрабатываемой подсистемы за счет внутренней операционной системы.

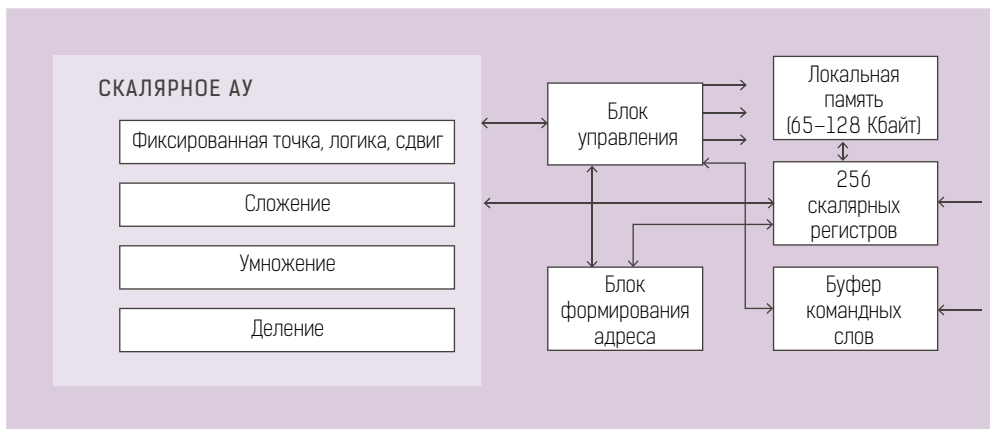
Оба мониторных процессора имеют общую память операндов, предельная емкость которой составляет 128 Кбайт, или 64 К 16-битовых слов. Каждый мониторный процессор имеет свою память команд объемом 32 Кбайт. Память команд используется как сверхоперативная память программ мониторного процессора, в которую

процессор обращается за очередной командой, в частности при переходах и прерываниях. Система команд мониторингового процессора состоит из 54 команд — 14 арифметических и 40 управляющих.

Все устройства обрабатывающей подсистемы суперкомпьютера ЕС-1191 являются общими ресурсами скалярных процессоров, которые выполняют операции над скалярами. Для повышения пропускной способности предусмотрены команды группового обмена между скалярными регистрами и локальной памятью, а также между группой векторных регистров и оперативной памятью. Для оперативного хранения команд используется глубокая (256 двойных слов) буферная память командных слов. Каждому скалярному процессору придается локальная память емкостью 8–16 К двойных слов (64–128 Кбайт), предназначенная для временного хранения скаляров и векторов текущих потоков команд. Эти локальные памяти являются программно управляемыми и заменяют сверхоперативные буферные памяти.

Система команд скалярных процессоров идейно близка к системе команд RISC-архитектуры и ограничена только теми командами, которые необходимы для эффективного выполнения научно-технических расчетов. Временная диаграмма скалярного процессора позволяет запускать на исполнение команды с предельным темпом 15 нс (один машинный такт).

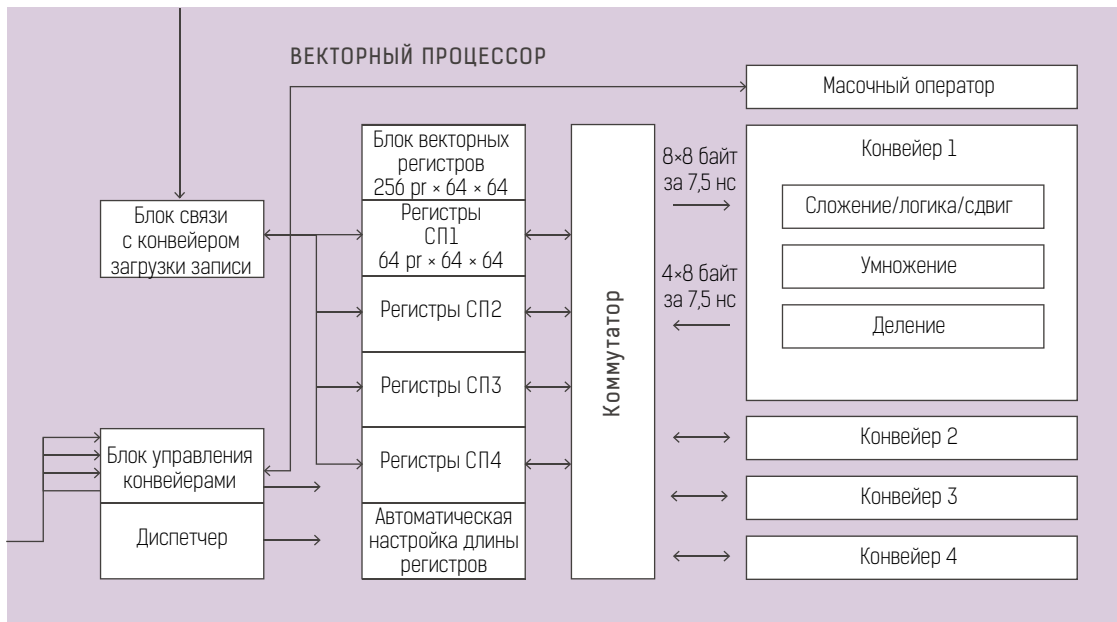
Векторный процессор суперкомпьютера ЕС-1191 является многопоточковым устройством обработки данных, исполнительным по отношению к скалярным процессорам



Структура скалярных процессоров

и их общим ресурсом. В состав векторного процессора входят устройство управления, блок векторных регистров и операционные устройства. Устройство управления векторного процессора представляет собой глубоко конвейерный механизм, обеспечивающий посредством своего центрального элемента — диспетчера максимальную загрузку операционных устройств. Векторные регистры представляют собой низший уровень в иерархической структуре памяти суперкомпьютера.

Векторный процессор имеет четыре одинаковых конвейера для выполнения арифметико-логических операций и конвейер для загрузки векторных регистров из ОЗУ и записи их содержимого в ОЗУ. В каждом конвейере имеется четыре независимых конвейерных оператора для выполнения операций сложения/сдвига/логики (два оператора), умножения, деления. Параллельная работа этих операторов в предельном случае позволяет за один машинный такт векторного процессора (7,5 нс) исполнять 16 операций.



Структура векторных процессоров

Для достижения номинальной производительности, близкой к пиковой, в суперкомпьютере ЕС-1191 введено понятие пучка процессов, которые определяют собой единый процесс, выполняющийся без обращения к операционной системе, но использующий несколько процессоров в их тесном взаимодействии. Для этого вводятся средства синхронизации на микроуровне, реализуемые набором управляющих команд, обеспечивающих тесное взаимодействие процессоров. Пучок процессов с точки зрения ОС представляет собой единый процесс, выполняющийся на нескольких процессорах.

Система ПО суперкомпьютера ЕС-1191 сохраняет весь необходимый сервис и методы программирования, принятые для ЭВМ Единой системы. При этом она дополняется за счет новых компиляторов усовершенствованными языками программирования, расширенным пакетом прикладных программ и инструментальной системой их создания, диалоговыми и экспертными системами.

В качестве элементной базы суперкомпьютера ЕС-1191 предполагалось использование БИС, аналогичных используемым в ЭВМ ЕС-1087 (1000–1500 вентилях на чип). Уровень этой элементной базы обрекал на большое количество типов БИС, бездефектное проектирование которых тоже создавало определенные сложности. Необходимо было, наряду с системами автоматизации проектирования БИС, создавать инструментальные системы моделирования. Мы рассчитывали на то, что к моменту окончания разработки электронная промышленность будет способна производить СБИС хотя бы не менее 10 тыс. вентилях на чип. За рубежом уже производились СБИС более 100 тыс. вентилях на чип. Поэтому мы запланировали поэтапную реализацию суперкомпьютера: на первом этапе — в усеченном варианте (один скалярный, один векторный процессор), на втором — в полном составе.

Но к тому моменту, когда машина была готова к реализации, уже в полную силу бушевали ветры перемен, оказавшиеся далеко не свежими. Они почти полностью смели финансирование работ и должное отношение к научно-техническому прогрессу. Все работы НИЦЭВТ практически были остановлены. Поменялось руководство. Ю.С. Ломов был переведен на работу в НИИ «Восход». В этих тяжелых условиях работы по суперкомпьютеру ЕС-1191 возглавил А.И. Слуцкий, назначенный главным конструктором. Ему удалось вновь привлечь внимание к важности этого проекта, подключить и заинтересовать соисполнителей (ИПМ, НИИ «Квант»), провести проектирование и отработку на моделях 104-х типов БИС.



А.И. Слуцкий

В результате этих усилий, на фоне множества негативных факторов перестройки, только к 1995 году удалось создать еще более усеченный вариант этой машины, чем планировалось, в виде мини-суперкомпьютера ЕС-1195 на основе скалярного процессора от ЕС-1191. Этой машиной была подтверждена правильность заложенных принципов.

Эта была последняя в Советском Союзе суперЭВМ и, в частности, последний аккорд в истории создания старших моделей по проекту ЕС ЭВМ.

НИЦЭВТ как головная организация формировала все нормативно-руководящие документы, проекты ОСТов и ГОСТов, многие из которых в дальнейшем стали основными государственными стандартами по разработке вычислительной техники в стране: ГОСТ 16325–88, определяющий общие технические требования к стационарным цифровым ЭВМ общего назначения; ГОСТ 25122–82 на базовые конструкции изделий ЕС ЭВМ; ГОСТ 19.001–77 «Единая система программной документации» (ЕСПД) и др. Значительная заслуга по выполнению этого направления работ в НИЦЭВТ принадлежит Ю.С. Объедкову, А.В. Иванову, Б.В. Соколову, О.Д. Леонтьеву, К.С. Ораевскому, О.В. Болотовой, Е.А. Фроловой, О.А. Березовской — начальникам отделений и основным исполнителям изделий ЕС ЭВМ.

ЭВМ и караван истории

Скоро исполнится 50 лет началу проекта ЕС ЭВМ. Что же это было за явление и какую роль сыграл проект ЕС ЭВМ в истории отечественной вычислительной техники? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо направление и темпы развития отечественной вычислительной техники соотнести с направлением и темпами развития зарубежной ВТ.

Но прежде еще раз на концептуальном уровне вернемся к вопросу копирования. С упорством изобретателей «вечного двигателя» все еще продолжают попытки оставить в истории ВТ проект ЕС ЭВМ с этим «родовым пятном», которого у него никогда не было.

Ноу-хау всегда подразделяли на научные и технические. В то время как научное ноу-хау распространяется через открытую научную литературу, техническое ноу-хау нельзя освоить, читая общедоступные материалы. Никто и никогда не заявлял, что СССР отставал в области компьютерных архитектур. Вот далеко не полный список ученых, которые предлагали и реализовывали оригинальные компьютерные архитектурные концепции: в Москве — М.А. Карцев, Б.Н. Наумов, И.В. Прангишвили, В.С. Бурцев, В.А. Мельников и др.; в Киеве — В.М. Глушков, Ю.В. Капитонова, С.Б. Погребинский; в Минске — Г.П. Лопато, В.В. Пржиялковский, В.Я. Пыхтин,

Р.М. Асцатуров; в Пензе — Б.И. Рамеев; в Таганроге — А.В. Каляев; в Ереване — М.А. Семерджян, А.Т. Кучукян. Не отстаем и сегодня. В США считали, что успехи стран СЭВ в области вычислительной техники сильно сдерживаются недостатком знаний именно технологического ноу-хау, использованием устаревшего и некачественного оборудования, необходимого для производства средств ВТ мирового уровня.

Для создания продукта мирового уровня (ЭВМ давно перестала быть только тренажером для архитектурных упражнений) необходимо, чтобы все составляющие ее технологии также соответствовали мировому уровню. Технологии создания ЭВМ насчитывают несколько десятков позиций. Одна из главнейших составляющих в этом ряду — уровень базовой технологии, законодателями мод которых являлись и являются США. Опираясь на эти технологии и имея при этом неограниченный доступ к мировым научным ноу-хау, достаточные вычислительные мощности для проверки и оптимизации проектных решений, системы автоматизации проектирования, за рубежом разрабатывали ЭВМ, которые тут же становились эталоном, поднимающим планку ВТ на новую высоту.

Что было делать отечественным разработчикам, перед которыми стояла такая же задача, но для ее решения они не имели всех тех возможностей, которые были у разработчиков эталона? Закупка лицензий в тот момент исключалась. Копирование всех технологий в реальном масштабе времени — невозможно. Не в реальном — бесполезно. За рубежом базовые технологии менялись каждые три года. К тому же компетентные органы США тщательно контролировали процессы, связанные с попаданием новых технических технологий в страны СЭВ. Недопущение копирования технологий системы IBM 360 связано, прежде всего, с тем, что эти технологии могли быть использованы при разработке практически всех продуктов ВТ, в том числе и военного назначения. Копирование архитектуры — также бессмысленно, поскольку реализация передовой архитектуры эталона на базе отсталой базовой технологии может дать только один результат: «от великого до смешного...».

И уж в чём в чём, а в области архитектуры и структуры, а также программирования отечественные ученые всегда находились на мировом уровне. За рубежом всегда подчеркивалось, что отечественная Академия наук и отраслевые НИИ ведут успешные работы по архитектуре ЭВМ, по некоторым разделам ПО (например, разработка языков высокого уровня) и по системам управления большими базами данных. Не все же разработчики только через 20 лет осознали, что «суперскаяляр — хорошая архитектура». Так что и нужды в копировании архитектурных решений не было. К тому же архитектура относится к научным ноу-хау и не патентуется. В этих

условиях наш разработчик поступает так, как поступают разработчики всего мира. Пытается добиться аналогичного результата, используя свой и зарубежный опыт и опираясь на свои возможности. В США такой подход назвали *функциональным копированием*, отмечая, что «советские специалисты активно развивают направление создания собственных функциональных дубликатов избранных аналогов. В отличие от технологии обратного проектирования, когда стремятся создать точную копию аналога, *функциональное копирование является наиболее слабой формой дублирования*, когда конечный продукт будет функционировать точно так же, как его прототип, хотя и имеет другую структуру».

Думается, что все разработчики мира, стремясь достичь параметров эталона, в той или иной мере пользовались приемами функционального дублирования. Некоторые элементы компьютерных технологий стали стандартом (эталонном), и ими пользуются разработчики всего мира. Можно каждый раз делать всё свое, но на это потребуются больше времени и финансов. Пока будет создаваться это новое с нуля, разработчики тех стран, которые используют международную кооперацию и достижения друг друга, всегда будут иметь преимущество.

Да, мы стремились к совместимости технических и программных средств проекта ЕС ЭВМ и системы IBM 360/370, и в этом смысле — к функциональной идентичности. Это давало нашим пользователям одинаково успешно использовать как отечественные, так и зарубежные достижения. Совместно или отдельно использовать как отечественную, так и зарубежную технику без переработки своих программных продуктов. К примеру, на Старой площади в вычислительном комплексе ВК 2Р-60 для перестраховки вместо отечественных накопителей на магнитных дисках (НМД) были использованы новейшие НМД фирмы BASF. И каких-либо трудностей и сложностей это не вызвало. Таким образом, наш подход ничем не отличался от выбора специалистов многих стран мира, которые, согласившись с предложенным стандартом, стали создавать собственные IBM-совместимые продукты.

Такой подход, учитывая разницу в базовых технологиях, заставлял отечественного разработчика искать собственные нетривиальные пути в структурных решениях (пример — ЭВМ ЕС-1065), еще и еще раз оптимизировать уже оптимизированное, экономить каждый вентиль, когда на кону стояла производительность. И искали, и оптимизировали, и экономили, и «врукопашную» проектировали, «выворачивались наизнанку», всё же добиваясь приемлемого результата, чтобы «конечный продукт мог функционировать точно так же, как его прототип» и был с ним совместим. Вот это называется копированием? Можно понять, когда о копировании говорят

дилетанты, но нельзя понять, когда об этом говорят специалисты, которые находятся в тех же условиях. Очевидно, специалисты-дилетанты тоже бывают. Чисто теоретически копирование было возможно, практически — нет. Так, что «копирование» ЕС ЭВМ — это из области фантастики.

Но вернемся к главному вопросу. Какую роль сыграла ЕС ЭВМ в истории отечественной вычислительной техники? Историю развития вычислительной техники образно можно представить велосипедным ралли, где основные гонщики находятся в пелотоне (пелетоне). В нашем случае пелотон — это «караван истории», который движется непрерывно сквозь время вперед. В рядах пелотона находятся честолюбивые гонщики, которые иногда уходят «в отрыв». Но пелотон всегда рано или поздно настигает беглецов, достижения которых придают новое качество всему пелотону.

Основные участники гонки истории вычислительной техники стартовали примерно одновременно в середине XX века. Караван формировался в пути. К нему стали подтягиваться стартовавшие позже, скорость была маленькая, поскольку ехали на «ламповых» велосипедах. Так прошли первый круг, без отрывов и отвалов. Пересели на велосипед «полупроводниковый». Скорость увеличилась, возросли и возможности. Караван стал структурироваться, формируя разные подгруппы по скоростным и эстетическим качествам. Какая замечательная россыпь отечественных ЭВМ второго поколения у нас появилась тогда! И какая славная плеяда главных конструкторов, и какие коллективы специалистов! В караване стали появляться и лидеры, которые уходили в отрыв. Среди них были и отечественные. К примеру, гонщики в майках «БЭСМ-6» в 1968 году, «Весна» в 1964 году. Но их быстро настигли, поскольку караван с начала 1960-х уже пересаживался на «интегральные» велосипеды, что придало ему новое ускорение. А впереди его ждал самый длинный и самый плодотворный этап в истории вычислительной техники — компьютерная технологическая революция.

Переход на новые базовые технологии имеет основополагающее и решающее значение. И очень важно в этот момент не прозевать рывок уходящих в отрыв. И к чести наших корифеев вычислительной техники, они его не прозевали, когда в отрыв пошла корпорация IBM с эмблемой «Система 360». Архитекторы IBM, проанализировав всё предыдущее, обобщив и взяв всё лучшее, сосредоточили это в единой архитектуре для целого ряда различных по производительности машин и определили их ориентацию (выбрали направление движения). До этого караван хотя и был формально единым, но каждая группа выбирала свое направление. Создание ряда программно-совместимых снизу вверх машин для массового применения в коммерческой

деятельности оказалось настолько эффективным, что многие гонщики, подававшие большие надежды, сошли с дистанции, прекратив собственные подобные разработки и присоединившись к стандарту «Система 360». Например, RCA, по лицензии которой фирмой ICL разрабатывалась «Система-4», Barrows, Siemens и ряд других.

Отечественные ЭВМ второго поколения, где каждая сама по себе была «самородком», вместе не представляли собой единого «слитка». Поэтому решительный шаг от многообразия к унификации, от моделей с различными принципами работы к серии совместимых машин единых принципов работы разной производительности для отечественных ЭВМ был значительным, определившим будущее развития истории отечественной вычислительной техники в соответствии с вектором и темпами мирового развития ЭВМ. Поскольку этот вектор развития был поддержан во всех странах.

Общеизвестно выражение «Кто владеет информацией, тот владеет миром». Теперь-то, в наше время, хорошо известно, что концепция совместимости позволила аккумулировать для общего использования, по разным оценкам, до 80% всей мировой информации, содержащейся в базах данных (БД). Эта информация охватывает научно-техническую, производственно-экономическую, коммерческую и управленческую сферы. Совместимость, которая на протяжении многих лет была одним из основополагающих принципов разработки ЭВМ общего назначения, позволила создать и накопить беспрецедентный объем прикладного ПО. И проект ЕС ЭВМ внес свой вклад в это отечественное и мировое достояние.

Заявления типа того, что «выгоды от правильной структуризации алгоритмов и доведения этих знаний до аппаратуры были принесены в жертву совместимости и простоте, эволюционному пути развития», являются лишь фигурой речи и лишены смысла настолько, насколько лишен смысла призыв получать высшее образование без начального и среднего. Принцип программной совместимости и за рубежом, и у нас в стране позволял переносить огромные массивы ранее разработанной системной и прикладной программной продукции на вновь разрабатываемые технологии, экономя время (годы), силы (тысячи прикладников) и интеллект программистов для создания нового, а не для использования его на бесконечное переделывание старого под новые обстоятельства.

Принцип совместимости оказал огромное влияние не только на стационарные ЭВМ общего назначения, но и на бортовую вычислительную технику. Например, модели А-30, А-40, А-50 разрабатывались в 70-е годы прошлого столетия как модифицированный ряд бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ), программно совместимых с ЕС ЭВМ. Использование архитектуры, структурных

и схемотехнических принципов ЭВМ Единой системы повышали эффективность БЦВМ. Совместимость с моделями ЕС ЭВМ позволяла на стационарных машинах этого проекта отрабатывать общесистемное и прикладное программное обеспечение для вновь создаваемых систем управления. Эти работы велись параллельно в то время, когда основная БЦВМ для этой системы еще находилась в стадии проектирования.

В практике разработки систем были случаи, когда по согласованию с заказчиком первый этап государственных испытаний системы проводился не на образце БЦВМ, а с использованием стационарной машины ЕС ЭВМ. При этом на втором этапе испытаний системы все задачи, отработанные на стационарных машинах, без проблем проходили на БЦВМ, совместимых с ЕС ЭВМ. Не стоит говорить о том, сколько государственных средств было сэкономлено и сколько высокопроизводительного программистского труда было использовано для другой инновационной работы. Но этот случай является ярким примером того, как отечественный разработчик достигал тех же целей, что и зарубежный, но «другими структурными методами». В бортовой тематике в данном случае даже лучших, чем зарубежные. Специалисты НАТО были весьма удивлены уровнем научно-технических решений, получив доступ к этой технике в бывших странах СЭВ (у них подобного не было). Принцип совместимости, конечно в современной интерпретации, работает и сегодня при создании единого информационного вычислительного пространства.

Нет ничего удивительного в том, что при определении направления развития отечественной вычислительной техники выбор пал на систему IBM 360. Ее архитектура была привлекательна не только с точки зрения совместимости. Она была еще революционна в развитии принципов параллелизма, в эволюционном развитии от сугубо последовательного (линейного) порядка выполнения команд к массово-параллельному потоковому выполнению команд и программ. Такое развитие событий предвидел еще М. Флин, предложив в 1964 году свою ставшую классической классификацию архитектуры.

Доцент ИАТЭ НИЯУ МИФИ Е. В. Крылов в работе «Вычислительная модель IBM/360/370 и параллелизм» (<http://www.iate.obninsk.ru/>) проанализировал цепочку компьютеров: M20–M220–M222–IBM/360/370 с точки зрения развития параллелизма. Он отмечает: «Выбранная цепочка интересна тем, что здесь произошли революционные изменения в организации компьютера и его использования. Нередко применяется понятие “фон-Неймановские машины”. На самом деле уже здесь появились средства, категорически не укладывающиеся в принципы архитектуры фон Неймана, например прерывание... Система IBM/360 имела блестяще реализованную

систему прерываний. Появилось средство фиксации событий, которое до сих пор лежит в основе организации параллелизма». Ну как без этих азоров начального образования (прерывание), которые постигали с трудом и постепенно, можно сразу подняться на вершины параллелизма («правильной структуризации алгоритмов»)? К началу разработки ЕС ЭВМ еще не во всех отечественных машинах была даже простейшая система прерываний. Но это не единственный вклад IBM 360 в развитие параллелизма. Как правильно отмечается в этой работе, «параллелизм появляется, если появляются асинхронные процессы, управляемые событиями». С этой точки зрения и разрабатывалась архитектура IBM 360, направленная на автономную организацию обмена данными центральным процессором, процессором ввода-вывода и подсистемой памяти на верхнем уровне и на независимую организацию обработки данных управляющих (блок команд, блок управления памятью) и операционных устройств — на нижнем (внутри центрального процессора).

Параллелизм, поддерживаемый операционной системой IBM 360 и особенно IBM 370, принципиально отличающийся наличием виртуальной памяти, определяется новыми режимами управления задачами. Их более тесное соединение с аппаратными средствами и является главным достижением архитектуры IBM 360/370/3090 в научной и практической проблематике параллелизма.

За рубежом и особенно у нас в стране некоторые специалисты предрекали недолгое существование архитектуры IBM 360 (этим часто объяснялась критика правильности выбранного пути). Но вопреки критике архитектура ЭВМ общего назначения — архитектура массовых машин — продержалась почти полвека. Естественно, не в стационарном застывшем виде, а в эволюционно развивающемся в соответствии с пользовательской актуальностью. Это развитие было направлено на удовлетворение новых пользовательских запросов: снижение стоимости (переход с ЭСЛ-технологий на технологии КМОП); расширение функциональных возможностей (векторные вычисления); расширение сетевых возможностей (протокол TCP/IP); расширение возможности использования нетрадиционных приложений (UNIX, Windows); расширение возможностей использования (суперсерверы).

Это тот путь развития, который продлил жизнь архитектуре IBM 360/370/3090. Но это еще и действия, которые продлили жизнь десяткам и сотням ранее созданных вычислительных центров, автоматизированных систем и сетевых устройств. Благодаря чему был сохранен наработанный задел и не потребовалось продолжительных и трудоемких новых разработок. Если в то время и были какие-то сомнения в архитектуре IBM 360, то после стольких лет ее практического использования их

сняло само время. Нам остается только отдать должное таланту и предвидению разработчиков этой архитектуры. И всё это богатство было перенесено на отечественную почву не путем копирования, а благодаря длительному и творческому периоду работы по проекту ЕС ЭВМ.

Новые технологии обработки информации IBM 360/370/3090 выводили караван истории вычислительной техники на магистральный путь — глобальные параллельные вычисления. Первой пробой в этом направлении стала суперскалярная архитектура. Группа гонщиков (CDC в 1964 году и IBM в 1966-м) пошла с этими идеями в отрыв, но, проведя разведку боем, вскоре вернулась в караван. Уровень микроминиатюризации элементной базы еще не достиг необходимого уровня для реализации подобных архитектур. А само сражение за суперскаляр развернулось только в 1980-м, когда IBM вернулась к этой архитектуре на технологии TSM. В 1985-м с архитектурой суперскаляр рванул вперед «Эльбрус-2». Но большая группа гонщиков в майках Intel с эмблемой суперскаляр уже прочно обосновалась в лидирующей группе каравана. Так в жизни бывает: сначала кажется рано, потом — поздно, а затем вопрос отпадает сам собой.

Прогресс промышленности базовых технологий к середине 1970-х разогнал караван до скорости суперкомпьютеров. Сеймур Крэй покидает CDC, организует свою фирму и один в 1976 году уходит в серьезный отрыв с идеями векторно-конвейерной архитектуры суперЭВМ. Его поддержали японские фирмы, например NEC. Идея оказалась плодотворной, дала существенное приращение производительности и верно служит до сих пор при создании современных суперЭВМ.

В конце 1990-х появилась массово-параллельная архитектура в лице той же IBM. Разработку многопроцессорных систем на основе большого количества микропроцессоров она начала с системы S10. К американским фирмам присоединились японские, китайские и фирмы некоторых других стран, в том числе и российских. С середины 1980-х годов проблематикой суперкомпьютеров начал заниматься НИЦЭВТ. Гонку в 2015 году возглавил Китай. Научно-технические, экономические и военно-стратегические достижения любой страны на современном этапе развития невозможны без использования современных мощных электронно-вычислительных средств. Сегодня стран — обладателей самых мощных суперкомпьютеров только в списке Тор-500 насчитывается 58. Ежегодно новыми обладателями мощных компьютеров становятся около десяти стран мира.

Караван истории катится дальше. В отличие от ралли, у него нет финиша и нет победителей. Главное для него — вечное движение вперед. Кто способствует этому движению или хотя бы поддерживает его — тот и лидер, и победитель. Караван — это

сосредоточение и обобщение всех достижений мировой вычислительной техники. Находиться в караване — значит находиться на уровне мировых достижений. Конечно, гонщики стремятся уйти в отрыв, но у них есть и другая цель. Поскольку каждый из них олицетворяет научно-технический престиж своей страны, то их главная задача удержаться в пелотоне, не уйти в безнадежный «отвал». (Так называют группу гонщиков, которые идут позади пелотона.)

Проект ЕС ЭВМ с начала своего существования уверенно держался в пелотоне. Быстро прогрессируя, к середине 1980-х он сократил первоначальное стартовое отставание до «шаговой доступности» (отставание на одну генерацию ЭВМ). Разработка последних старших машин показала, какой огромный путь совершенствования и реализации за эти годы прошли отечественные технологии ВТ. Это путь от мелкосерийного до автоматизированного с применением робототехнических устройств крупносерийного производства высокотехнологичного продукта, который, по заверениям зарубежных специалистов, в СССР производиться не может. Причину этого они видели в том, что «страны СЭВ слабы в сфере производства компьютеров, поскольку они не располагают как соответствующим оборудованием, так и ноу-хау, необходимыми для серийного производства высококачественных изделий». И если в одном предложении отразить вклад этого проекта в историю отечественной вычислительной техники, то это можно выразить примерно так: ЕС ЭВМ восприняла мировой опыт техногенной культуры, творчески обогатила его отечественной практикой и внедрила в структуру разработки и производства, создав и реализовав новые отечественные компьютерные технологии вычислительной техники третьего поколения. И это отметил весь мир на двух международных выставках ЕС ЭВМ 1973 и 1979 годов.

И это оценили специалисты IBM, которые посетили в конце 1980-х МПО ВТ в Минске и познакомились с разработкой и технологиями производства, отметив, что и у нас на конвейере теперь стоят не красивые женщины, а роботы. И, наконец, КОКОМ «не стал запирает ворота конюшни, когда лошадь убежала» (американская поговорка) и разрешил поставку в СССР ЭВМ уровня ЕС-1066, доступ к технологиям которых тщательно контролировался.

И еще один аспект результата проекта ЕС ЭВМ. Производство и ценность компьютеров для страны стимулируется и определяется тем, как легко и эффективно они могут осваиваться пользователем. В этом плане одной из интегральных оценок этой работы стала поздравительная телеграмма от пользователя (ВНИИЭФ, г. Саров), в которой сообщалось, что ЭВМ ЕС-1066 (один из первых серийных образцов) введен в эксплуатацию спустя две недели после его поставки. Это был значительный успех



Руководители МРП СССР на международной выставке ЕС ЭВМ. В центре: заместитель министра радиопромышленности, академик В.С. Семенихин

и наглядное практическое достижение разработчиков НИЦЭВТ. И особенно приятное, поскольку ЭВМ ЕС-1066 — это не просто очередная машина «Ряда». Это концентрация научных, производственных и пользовательских достижений, итог работы по проекту ЕС-ЭВМ за 15 лет. Если нет запроса от потребителя, то нет и прогресса. Даже такая высокопроизводительная машина, как ЭВМ ЕС-1066 (за время производства выпущено 422 машины), легко осваивалась пользователем. Это говорит о том, что за эти годы проект ЕС ЭВМ подготовил квалифицированного пользователя, усилиями которого компьютерные технологии проникли практически во все «поры» хозяйственного и оборонного комплекса страны.

Только за первые десять лет по программе ЕС ЭВМ в социалистических странах было разработано 240 типов устройств ЕС ЭВМ. За годы сотрудничества разработан 31 тип процессоров, из них 17 — в СССР. Впервые в практике социалистических стран был освоен выпуск дисковых накопителей (11 типов), включая накопитель мирового уровня емкостью 635 Мбайт. Были разработаны накопители на магнитной ленте (8 типов), включая накопитель ЕС 5027 с плотностью записи 246 импульсов на 1 мм.

Пользователям поставлялись дисплейные комплексы ЕС 7920, накопители на гибких магнитных дисках, мультиплексоры передачи данных и процессоры телеобработки. В СССР периферия ЕС ЭВМ стала единой для всех универсальных ЭВМ. Эти результаты говорят о том, что задача создания промышленности ВТ была успешно выполнена.

По проекту ЕС ЭВМ было выпущено более 20 тыс. ЭВМ различной производительности. Произведены сотни тысяч устройств периферии, больше десяти операционных систем. Создан и адаптирован беспрецедентный объем прикладного ПО. Всё это обеспечивалось современной промышленностью средств ВТ — новой отечественной отраслью народного хозяйства, рождение которой ознаменовалось созданием Государственного комитета по вычислительной технике и информатике (ГКВТИ) СССР. Потенциал этой отрасли образно отражает фотография участников совещания, на котором присутствовали 56 представительств заказчика по проблематике ЕС ЭВМ, работавших во многих республиках нашей страны на крупнейших предприятиях и в научно-исследовательских институтах.

Заключение

К началу 1990-х годов НИЦЭВТ, как и другие участники проекта ЕС ЭВМ, хотя и с задержкой по отношению к основным гонщикам пелотона, но успешно перешел на элементную базу четвертого поколения. Приобретенный опыт, знания и умения, технологическая база, а также созданный промышленный потенциал позволяли в рамках проекта ЕС ЭВМ решать новые масштабные задачи практически по всему спектру вычислительной техники — от персональных ЭВМ до суперкомпьютеров — с учетом, но без оглядки на IBM.

Программа ЕС ЭВМ «Ряд-4» определяла опытно-конструкторские работы, «реализующие основные интеллектуальные черты вычислительных систем (ВС): естественную форму общения пользователя с ЭВМ, автоматизированное формирование программ непосредственно конечным пользователем, использование баз данных». Вместе с этим программа предусматривала работы по дальнейшему расширению функциональных возможностей ЭВМ и использованию нетрадиционных архитектур при разработке систем сверхвысокой производительности и спецпроцессоров.

Конкретно «Ряд-4» предполагал разработку:

- ЭВМ Единой системой: ЕС-1107, ЕС-1130, ЕС-1131, ЕС-1170, ЕС-1170, ЕС-1171, ЕС-1181;
- ЭВМ сверхвысокой производительности: ЕС-1191 и ЕС-1710;



Участники совещания представительств заказчика по проблематике ЕС ЭВМ. В центре: К.Т. Трофимов

- вычислительных систем и комплексов сверхвысокой производительности на базе ЕС ЭВМ и спецпроцессоров: матричного ЕС 2712 с программируемой архитектурой и динамической архитектурой ЕС 2723 и другими серийно выпускаемыми спецпроцессорами;
- персональных профессиональных ЭВМ;
- терминальных ЭВМ со встроенными средствами телеобработки данных;
- накопителей на жестких магнитных дисках диаметром 200 мм емкостью 300, 600, 1200 и 2400 Мбайт;
- накопителя на магнитном диске ЕС 5312 диаметром 133 мм емкостью 51 Мбайт;
- накопителя на магнитном диске диаметром 89 мм емкостью 19,1 Мбайт;
- двухшпиндельного накопителя ЕС 5059.01 емкостью 2520 Мбайт;
- архивных накопителей на оптических дисках;
- накопителей на гибких магнитных дисках (НГМД) и многое другое.

Подобной программы Россия, к сожалению, не имеет до сих пор. НИЦЭВТ в рамках этой программы непосредственно занимался разработкой ЭВМ ЕС-1181, ЕС-1191,

ЕС-1710 и вычислительных систем на их основе. Программа была утверждена и начала реализовываться в 1988 году. Она имела все шансы на успех, гарантированный не только опытом предыдущих достижений, но и ответственным вниманием государства к развитию вычислительной техники. Конкретно это выражалось в том, что специалисты (технологи) НИЦЭВТ под эгидой ГКВТИ были командированы за рубеж для изучения технологических достижений производства средств ВТ. Закупались не только отобранные ими технологии, автоматизированные линии, но и целые заводы. Кстати, разрешение КОКОМ на поставку в страны СЭВ этих технологий также связано с достижениями ЕС ЭВМ. Один из таких примеров — завод с полным циклом автоматизации производства накопителей на магнитных дисках, строительство которого началось в Пензе. Всё оборудование было поставлено в 1990 году, но, как говорят у нас в России, осталось «под снегом» вследствие известных событий. Примерно такая же участь постигла и другие закупленные технологии.

Таким образом, в начале 1990-х годов проект ЕС ЭВМ в целом и НИЦЭВТ в частности обладал потенциалом, способным вывести отечественную вычислительную технику на такой уровень, который позволил бы нашей стране претендовать на место в элитном клубе мировых лидеров в области вычислительной техники. В это время пелотон на базе БИС, СБИС и микропроцессоров продолжал уверенно развивать скорость, с большим ускорением приближаясь к пределу микроминиатюризации элементной базы классических ЭВМ и переходу в зону квантовых технологий. Но группа отечественных гонщиков на этой скорости разбилась о неожиданно возникшую стену. Пострадала не только техника, но и человеческие судьбы. Распались и сошли со сцены высококвалифицированные коллективы разработчиков, системных и прикладных программистов АСУ. Ни одна страна в мире не могла позволить себе такой «роскоши». Одни сошли навсегда, а другие, как например НИЦЭВТ, после большой паузы, в 2000-е годы вернулся в пелотон и продолжил движение. Но там уже безраздельно и с большим отрывом инициативой владели те, которые сохранили коллективы, в первую очередь направление и темпы движения. Это знакомые нам фирмы США — IBM и Cray, японские корпорации, а в последнее время и Китай.

Вспомним из теории, что если две системы, обрабатывающие информацию, могут взаимно использовать как аппаратные, так и программные средства друг друга, то они логически эквивалентны. И если одна из них (IBM) в своем развитии сегодня определяет мировой уровень вычислительной техники, то и вторая (ЕС), развиваясь, могла стать ей эквивалентной. А это значит, что выбранное в 1967 году направление было правильным.

* * *

Автор признателен всем, кто принимал участие в создании старших моделей ЕС ЭВМ, а также в создании высокопроизводительных комплексов и систем на их основе. За предоставление материалов, ценные предметные и редакционные замечания автор выражает особую благодарность Б.Б. Автономову, В.П. Горелову, Н.С. Кулакиной, А.П. Лобзину, Г.В. Мишняковой, В.И. Павлову, В.У. Плюснину, Д.Л. Файнбергу, Ю.Н. Фомичёву, И.С. Храмцову, В.И. Штейнбергу, О.В. Щёголевой.

Литература

1. **Пржиялковский В.В., Ломов Ю.С.** Технические и программные средства ЕС ЭВМ. — М.: Статистика, 1980.
 2. **Ломов Ю.С.** ЭВМ высокой производительности ЕС-1066 и ЕС-1065 // Электронная вычислительная техника: сб. ст. / под ред. В.В. Пржиялковского. — Вып. 1. — М.: Радио и связь, 1987.
 3. **Антонов В.С., Соловьев С.П., Шульгин А.А. [и др.]**. Электронная вычислительная машина ЕС-1050. — М.: Статистика, 1976.
 4. Вычислительная техника социалистических стран: сб. ст. под общей ред. М.Е. Раковского. — Вып. 1–6, 1969–1979 гг.
 5. **Капитонова Ю.В., Летичевский А.А.** Парадигмы и идеи академика В.М. Глушкова. — Киев: Наукова думка, 2003.
 6. **Штейнберг В.И.** От «Радонов» до «Аргонов»: к истории разработки средств вычислительной техники в НИЭМ–НИЦЭВТ–НИИ «Аргон» по заданиям НИИ-5–МНИИПА для АСУ ПВО страны // Материалы конференции, посвященной 100-летию А.Л. Лившица; ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», Москва, 31 октября 2014 г.
 7. **Штейнберг В.И.** К истории создания мобильных средств вычислительной техники для АСУ войсками фронта «Маневр» // Труды 3-й Международной конференции «Развитие вычислительной техники и ее программного обеспечения в России и странах бывшего СССР: история и перспективы» (SORUCOM-2014), Казань, 13–17 октября 2014 г.
-