

Микроэлектроника и связь

Зарождение и становление отечественной микроэлектроники (расширенная версия)

Б. М. Малашевич

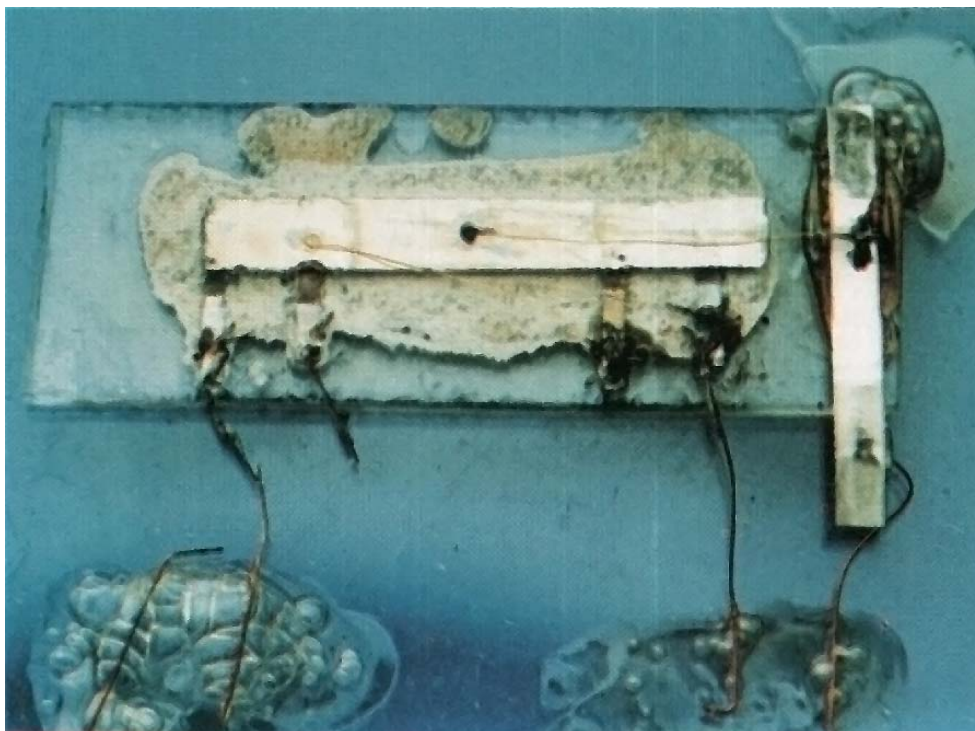
К концу 1950-х годов технология сборки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) из дискретных элементов исчерпала свои возможности. Мир пришел к острейшему кризису РЭА, требовались радикальные меры. К тому времени в США и СССР уже созрели предпосылки для решения проблемы — были промышленно освоены интегральные технологии производства как полупроводниковых приборов, так и толсто пленочных и тонкопленочных керамических плат. Мир был обречен на изобретение идеи многоэлементных изделий — интегральных схем (ИС). Вопрос был лишь в том, кого первым эта идея озарит. И она озарила немало умов.

Попытку реализовать свою идею интегральной схемы, оглашенную им еще в 1952 году, в 1956 году предпринял англичанин Джеффри Даммер (G. W. A. Dummer), но потерпел неудачу. В 1953 году Харвик Джонсон из компании RCA получил патент на однокристалльный генератор, а в 1958-м совместно с Торкелом Валлмарком анонсировал концепцию «полупроводникового интегрального устройства». В 1957 году японец Ясуро Тару получил патент на соединение различных транзисторов в одном кристалле. В середине 1950-х сотрудники фирмы Bell Labs Иен Росс (Ian Ross) и Артур Д'Асаро (Arthur D'Asaro) изготовили схему двоичного счетчика на основе тиристорных *n-p-n-p*-структур в едином монокристалле. Но все эти и другие им подобные разработки носили частный характер и не имели последствий. Развитие в промышленном производстве получили только три пионерских проекта.

Первые полупроводниковые ИС

Удачливыми оказались американцы Джек Килби из компании Texas Instruments и Роберт Нойс из Fairchild, а также коллектив Юрия

Валентиновича Осокина из КБ Рижского завода полупроводниковых приборов (СССР) [10.1].

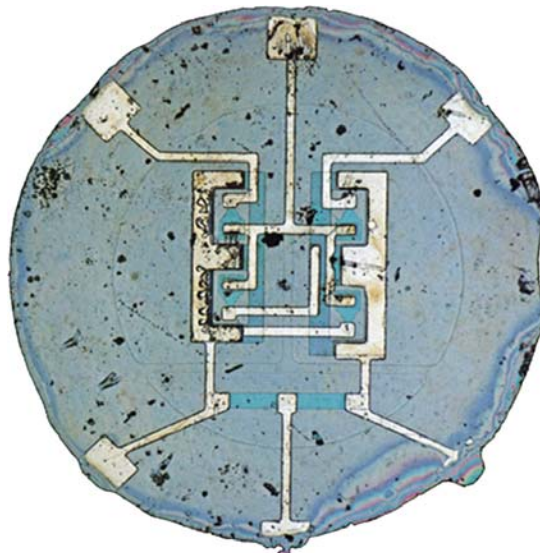


Макет первой микросхемы Дж. Килби

В середине 1958 года Дж. Килби сформулировал концепцию, получившую название *Monolithic Idea*: «...элементы схемы, такие как резисторы, конденсаторы и транзисторы, могут быть интегрированы в одну микросхему — при условии, что они будут выполнены из одного материала...». В сентябре 1958 года Килби сделал генератор из двух кусочков кремния размером 11,1×1,6 мм, склеенных пчелиным воском на стеклянной подложке — макет микросхемы. 12 сентября 1958 года собранные три прибора были продемонстрированы руководству компании.

Первой действительно интегральной схемой Килби, выполненной в одном кусочке монокристаллического германия, была экспериментальная ИС «Туре 502» (триггер). В ней были использованы и объемное сопротивление германия, и

емкость $p-n$ -перехода. Ее презентация состоялась в марте 1959 года¹. Но она имела серьезные недостатки — соединение элементов осуществлялось развариванием тонких золотых проволочек (ненавистная всем «волосатая технология»), не была решена и проблема изоляции элементов друг от друга. В серийном производстве такая технология неприемлема. Первые настоящие ИС серии SN-51 фирма TI освоила в производстве в 1962 году, воспользовавшись идеями Р. Нойса из фирмы Fairchild Semiconductor.



Экспериментальный триггер Р. Нойса

В 1959 году Роберт Нойс, президент компании Fairchild, прослышав про макет ИС Дж. Килби, решил попробовать создать интегральную схему. Он использовал планарную технологию Жана Эрни (Jean Hoerni), а также обратное включение $p-n$ -перехода для электрической изоляции компонентов, изобретенное Куртом Леховеком (Kurt Lehovec) из фирмы Sprague Electric Company, и дополнил их избирательным напылением металла поверх изолированных двуокисью кремния полупроводниковых структур для соединения элементов через отверстия, оставленные в изолирующем слое. Так Нойс надеялся освободиться от «волосатой» технологии, получить действительно «монокристалльный» вариант объединения компонентов в единую

¹ 6 марта 1959 года TI презентовала изобретение Дж. Килби. Серийная микросхема «Туре 502» была анонсирована годом позже — в апреле 1960 года, но широкого применения она не получила и тихо скончалась. — *Прим. сост.*

схему. Сделали два макета, а 27 сентября 1960 года изготовили третий, полностью планарный вариант триггера.

Для создания серии ИС компании Fairchild пришлось пригласить схемотехника Роберта Нормана, который и заложил основы серии ИС Micrologic, нашедшей первое применение в аппаратуре ракеты Минитмен. В марте 1961 года Fairchild анонсировала первую опытную ИС серии Micrologic с опубликованием ее фотографии в журнале Life, а в октябре анонсировали первые пять ИС серии. В начале 1962 года Fairchild развернула серийное производство ИС Micrologic и поставки их также в интересах Минобороны США и НАСА.

В 1959 году в СССР был образован Рижский завод полупроводниковых приборов². В марте 1960-го завод выпустил первую продукцию — транзисторы П-401, П-403, П-601 и П-602. С 1961 года конструкторское бюро при заводе начало выполнение собственных технологических и аппаратных разработок, тесно сотрудничая при этом с потребителями, в частности с ленинградским НИИРЭ³.

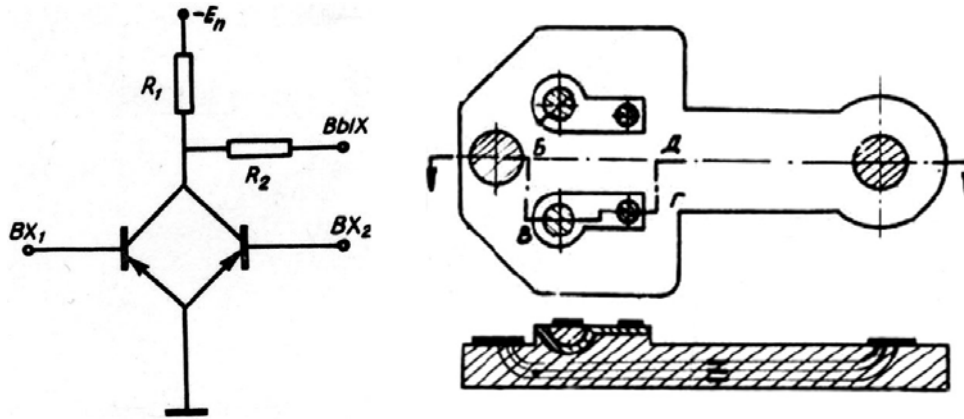
Весной 1962 года НИИРЭ обратился с просьбой к РЗПП найти способ повышения плотности компоновки аппаратуры [10.2]. В частности было предложено поискать пути реализации однокристалльной многоэлементной схемы типа 2НЕ-ИЛИ — универсальной для построения цифровых

² Рижский завод полупроводниковых приборов (РЗПП, ныне АО «Альфа») — советское предприятие по производству полупроводников. В 1971 году на базе РЗПП и института микроприборов (НИИМ, бывшего КБ завода) образовано ПО «Альфа». — *Прим. сост.*

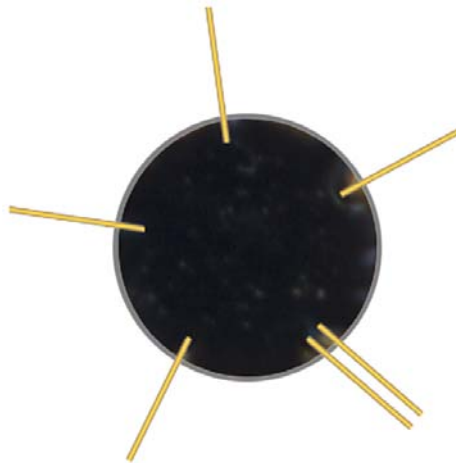
³ НИИ радиоэлектроники (НИИРЭ, впоследствии ЦНПО «Ленинец») ведет свою историю от трех номерных заводов Наркомата авиационной промышленности, созданных (перепрофилированных) в 1944–1945 годах для разработки и выпуска радиолокационной техники для военной авиации, причем при каждом заводе действовало свое КБ. В 1959 году на их базе образован НИИ радиоэлектроники (НИИРЭ) подчиненный Министерству радиопромышленности СССР и размещенный в ленинградском здании Дома Советов (Московский пр., 212). В 1965 году номерные заводы тоже перешли в ведение Министерства радиопромышленности СССР и получили названия «Новатор» (бывший завод № 283), «Ленинец» (№ 287) и «Радиоприбор» (№ 794). В 1971 году НИИРЭ преобразован во Всесоюзный НИИ радиоэлектронных систем (ВНИИРЭС) с открытым названием «Марс» и в том же году на его базе создано одноименное НПО, куда был включен новый Опытный завод в Гатчине (ГОЗ). В 1971–1973 годах заводы объединены в ЛПТО «Ленинец», а в 1974 вошли в ЦНПО «Ленинец», где в качестве головной структуры выступал ВНИИРЭС. В 1988 году в состав ЦНПО вошло ЛПТО «Спутник». В 1990 году ЦНПО «Ленинец» преобразован в научно-производственный и внешнеэкономический концерн (НПВЭК), в декабре 1992 года реорганизован в одноименное акционерное общество открытого типа. Ныне в составе ЦНПО (НПО) «Ленинец» 11 научных и проектных организаций, свыше 20 заводов, ряд строительных и промышленных комплексов, предприятий торговли, гарантийного обслуживания, предприятий авиационных и автоперевозок, пенсионный фонд, два учебных интерната и др. — *Прим. авт.*

устройств. Директор РЗПП поручил решить эту задачу 24-летнему инженеру Юрию Валентиновичу Осокину.

Перед Осокиным стояли принципиально новые задачи: разместить в одном кристалле два транзистора и реализовать в объеме кристалла германия (кремниевой технологии в РЗПП тогда не было) два резистора, исключив их паразитное взаимное влияние. Рижане успешно по-своему решили эти задачи. И уже к концу 1962 года РЗПП выпустил около 5000 ИС Р12-2, а в следующем, 1963 году их было сделано несколько десятков тысяч.



Эквивалентная схема и структура ИС Р12-2 (1ЛБ021) Юрия Осокина



ИС Р12-2 (1ЛБ021) в корпусе

Р. Нойс изолировал полупроводниковые структуры ИС обратными включенными *p-n*-переходами. Ю. Осокин ничего об этом не знал и поступил иначе. Он просто убрал из кристалла ненужные и мешающие части германия. В результате получил сложную в плане конфигурации кристалла твердотельной схемы в виде «лопатки», где германий «черенка» выполняет функцию резистора R1, острие «штыка» — резистора R2, а сам «штык» лопатки содержит два транзистора. По третьей фотолитографии с лицевой стороны осуществлялось глубокое, почти сквозное травление германиевой пластины по контурам кристаллов, почти до их разделения. Окончательное разделение пластин на кристаллы ИС производилось шлифовкой тыльной стороны пластины.

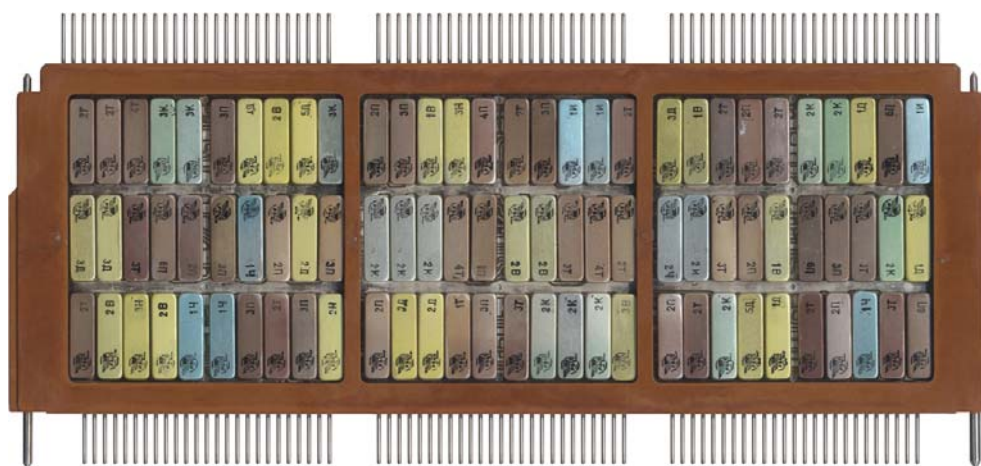
Конструктивно ТС Р12-2 (и последующая за ней Р12-5) были выполнены в виде «таблетки» из круглой металлической чашечки диаметром 3 мм и высотой 0,8 мм. В нее размещался кристалл ИС с приваренными выводами (из мягкой золотой проволоочки) и заливался полимерным компаундом. Вес Р12-2 не превышал 0,025 грамм. Это была, а, возможно, и остается, самая миниатюрная в мире корпусированная ИС.



ИС серии 116 (модули «Квант» на основе ИС Р12-2)

Конструкция Р12-2 была всем хороша, кроме одного — потребители не умели применять такие маленькие изделия с тончайшими выводами. Ни технологии, ни оборудования для этого у аппаратурных фирм, как правило, не было. За все время выпуска Р12-2 и Р12-5 их применение освоили НИИРЭ, Жигулевский радиозавод Минрадиопрома, ВЭФ, и немногие другие предприятия. Понимая проблему, разработчики ТС совместно с НИИРЭ сразу же продумали второй уровень конструкции, который одновременно увеличил плотность компоновки аппаратуры.

Используя ИС Р12-2, в НИИРЭ сделали модуль «Квант» — в металлическую штампованную чашечку размером 21,6×6,6 мм и глубиной 3,1 мм вставили микроплату из тонкого стеклотекстолита с четырьмя Р12-2 и впрессованными выводами длиной 4 мм. В результате получилась ГИС — гибридная интегральная схема (см. рис.). Это была первая в мире ГИС с двухуровневой интеграцией, в которой в качестве активных элементов были использованы не дискретные элементы, а полупроводниковые ИС. Всего было сделано 8 типов таких гибридных микросхем.



Арифметическое устройство бортового компьютера «Гном» на ИС Р12-2

ИС Р12-2 и модули «Квант» на ее основе, в 1969 году получившие обозначения ИС 1ЛБ021 и «серия 116», производились РЗПП до середины 1990-х годов в объемах до несколько миллионов в год. Они работают в аппаратуре и в XXI веке, например, в составе разработанного НИИРЭ бортового компьютера «Гном», стоящего в штурманской кабине «Ил-76» и некоторых других самолетов. «Гном» был первой в мире авиационной бортовой вычислительной машиной четвертого поколения, то есть на микросхемах. Американцы свои микросхемы Micrologic и SN-51 (а других в те годы в мире еще не было), применяли в первую очередь в ракетно-космических системах.

Приоритеты

Приоритет авторов ИС закреплен патентами США Дж. Килби (№ 3138743, заявка от 05.1959), Р. Нойса (№ 2981877, заявка от 07.1959) и Авторским свидетельством СССР Ю. Осокина и Д. Михаловича № 36845 от 06.1966 года.

В 2000 году Дж. Килби за изобретение ИС стал одним из лауреатов (вместе с Ж. И. Алфёровым) Нобелевской премии. Р. Нойс не дождался мирового признания, он скончался в 1990 году, а по положению Нобелевская премия не присваивается посмертно. А работы Ю. Осокина не только Нобелевским комитетом, но и в нашей стране были забыты и должным образом не оценены, приоритет страны в создании микроэлектроники не защищен. А он бесспорно был.



Юрий Валентинович Осокин

Юрий Валентинович Осокин (1937–2013) — сотрудник конструкторского бюро Рижского завода полупроводниковых приборов, возглавивший разработку первой советской микросхемы Р12-2. В 1961 году закончил МЭИ по специальности «диэлектрики и полупроводники». В 1975 году стал главным инженером Научно-исследовательского института микроприборов (НИИМ), созданного в 1966 году на базе КБ завода. В 1989-м избран на должность генерального директора ПО «Альфа», в 1991–2000 годах — президент АО «Альфа».

Собственно, роль Дж. Килби в создании ИС сводится к провокации своим макетом Р. Нойса к активным действиям. В серийное производство изобретение Килби не пошло. Работы Ю. Осокина никак не связаны с работами американцев, свидетельство тому абсолютная непохожесть его ИС и реализованных в ней решений на микросхемы Килби и Нойса. Это дает

полное право рассматривать Ю. Осокина одним из изобретателей интегральной схемы наравне с Дж. Килби и Р. Нойсом, а часть нобелевской премии Дж. Килби было бы справедливо поделить с Ю. Осокиным. Что же касается изобретения первой ГИС двухуровневой интеграции, то здесь приоритет А. Пелипенко из НИИРЭ абсолютно бесспорен [10.3].

Первопроходцы

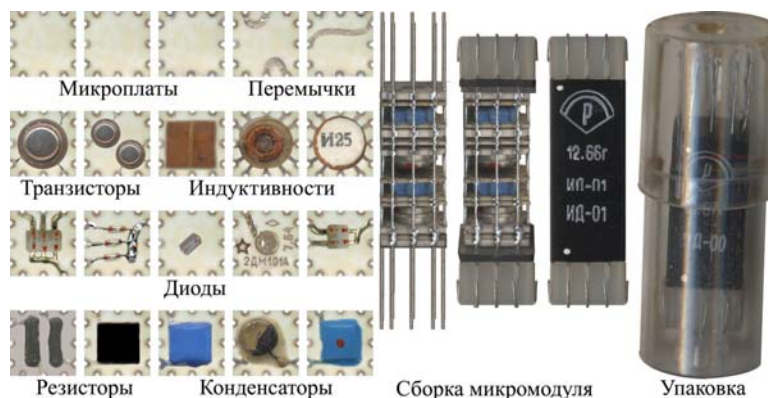
В СССР в марте 1961 года НИИ и КБ по созданию комплектующих изделий электроники выделяются в самостоятельную отрасль — Госкомитет по электронной технике (ГКЭТ), преобразованный в 1965 году в Министерство электронной промышленности (Минэлектронпром, МЭП) во главе с министром Александром Ивановичем Шокиным.

История советской микроэлектроники полностью соответствует известному высказыванию рейхсканцлера Германской империи Отто фон Бисмарка: «Русские долго запрягают, но быстро ездят». Действительно, запрягать мы начали одновременно с американцами, разработав свою собственную полупроводниковую ИС Р12-2 и модуль «Квант». Но американцы сразу начали разворачивать массовое производство, образуя для этого все новые и новые фирмы (ныне всемирно известные), создавая принципиально новые материалы, оборудование. Видя очевидную перспективу, денег они не жалели и не прогадали. А у нас, в плановой экономике и с особой ролью личности в ней, организовать принципиально новые предприятия и освоить принципиально новую продукцию было не так-то просто, нужна была высочайшая поддержка. В необходимости вкладывать огромные народные деньги в неочевидное по своей практической пользе дело нужно было убедить многих высоких чиновников, что задача почти безнадежная. Однако всякое дело имеет успех, если за него берутся истинные энтузиасты. В микроэлектронике они у нас нашлись.

В СССР образовалось две группы таких энтузиастов, первопроходцев-организаторов советской микроэлектроники — в Госкомитете по электронной технике и в Конструкторском бюро № 1 (КБ-1⁴). Еще с первой половины 1950-х годов в КБ-1 под руководством его главного инженера Федора Викторовича Лукина велись активные работы по микроминиатюризации РЭА на основе имевшейся тогда элементной базы. В какой-то степени проблему смягчило применение микромодулей (см. фото

⁴ КБ-1 (ныне ПАО «НПО Алмаз») — предприятие, где в 1950–80-х годах были выполнены основные работы по проектированию систем противоздушной и противоракетной обороны (ПВО и ПРО). Подробнее см. очерк *«Информационные технологии и противоракетная оборона»*. — *Прим. сост.*

микромодулей завода «Экситон»). Но к концу десятилетия стало ясно, что нужны более радикальные методы.



Этажерочный микромодуль завода «Экситон»

Вот тогда-то Ф. В. Лукин и поручил профессору А. А. Колосову [10.4], одному из наиболее активных и грамотных специалистов КБ-1, свободно владеющему тремя иностранными языками, досконально изучить подходы к микроминиатюризации по иностранным и отечественным источникам. Результаты этой работы были обобщены в 1960 году в небольшой монографии А. А. Колосова «Вопросы микроэлектроники», которая стала учебником для многих специалистов. А в 1960 году Ф. В. Лукиным в КБ-1 была создана самая первая в СССР лаборатория по микроэлектронике. В начале следующего, 1961 года отдел микроэлектроники под руководством Б. В. Малина создается в НИИ-35⁵ [10.5], а весной 1962 года подобный отдел под руководством Ю. В. Осокина создается в РЗПП.

Лаборатория в КБ-1 приступает к активной работе, привлекая к ней многочисленные НИИ и ВУЗы в качестве контрагентов. Так, Ф. В. Лукин, сам того не подозревая, начал готовить научный задел и кадры для зеленоградского Центра микроэлектроники (ЦМ), который через три года ему предстояло создавать.

В это же время председатель Госкомитета СССР по электронной технике (ГКЭТ) А. И. Шокин с группой специалистов из НИИ-35 и аппарата ГКЭТ уже пришел к выводу о том, что необходимо создавать и развивать принципиально новую подотрасль — микроэлектронику. Именно подотрасль, то есть систему НИИ, КБ, опытных и серийных заводов, распределенных по

⁵ НИИ-35 (ныне ОАО «Научно-производственное предприятие „Пульсар“») — предприятие по разработке промышленных типов полупроводниковых приборов. Образован в 1953 году.

всей стране и решающих все специальные проблемы по созданию и тиражированию изделий микроэлектроники. С 1959 года он направлял в США специалистов для стажировки [10.6]. И когда А. А. Колосов обратился к заместителю А. Шокина К. Мартюшову с результатами своих работ и предложением по микроэлектронике, он встретил полное понимание. *«Тот идею сразу оценил и предложил организовать в Ленинграде конференцию, куда собрать всех руководителей из МЭП и кое-кого из МРП. Так и получилось: я делал вводный доклад, американский грек Ф. Старос — доклад о системах памяти, а Мартюшов председательствовал. Затем нас с ним пригласили к А. И. Шокину. (Кстати, Шокин и Мартюшов — умнейшие люди, все на лету схватывали!). Обсудили проблему и поняли, что для микроэлектроники нужен единый центр»*, — вспоминает А. Колосов [10.7]. Это было в конце 1961 года.



Федор Викторович Лукин

Федор Викторович Лукин (1908-1971) — разработчик радиолокационных и счетно-решающих приборов, бортовой аппаратуры и других радиосистем военного назначения, организатор советской радиоэлектронной отрасли. Родился в семье потомственных белорусских дворян, закончил лишь четыре класса средней школы, однако в 1929 году сумел поступить в МВТУ на факультет, в 1930 году преобразованный в Московский энергетический институт. Во время войны работал в НИИ-10 Минсудпрома (ныне ГНПО «Альтаир»), где занимался, в частности, разработками первых отечественных радиолокационных систем «Редан 1» и «Редан 2» для управления стрельбой морской артиллерии. Главный инженер КБ-1 (1953–1960), директор НИИ-37

(НИИДАР, 1960–1963), затем первый руководитель Центра микроэлектроники в Зеленограде. Федор Викторович Лукин — один из тех, кто стоял у истоков самых передовых отраслей советской науки и техники: отечественной радиолокации, противоракетного щита страны, самых производительных в свое время компьютеров и советской микроэлектроники. О его деятельности см. также очерки «Информационные технологии и противоракетная оборона» и «Модулярная арифметика и модулярные компьютеры».

Центр микроэлектроники

Изобретать Научный центр в те годы не требовалось, центры были в СССР повсеместно. Научные центры создавались в разных регионах страны, начиная с 1930–40-х годов, под разные научные проблемы: Дубна, Протвино, Саров, Пущино, Жуковский и т. п. Объективно Шокин и его окружение были ближе всех к идее Центра микроэлектроники (ЦМ). Во-первых, они уже имели некоторый опыт участия в подобных проектах, создав нечто вроде полупроводникового миницентра во Фрязино. Во-вторых, по роду своей работы они были вовлечены во все важнейшие в стране разработки оборонных и промышленных радиоэлектронных систем, и именно их задачей было обеспечение их принципиально новой элементной базой. На поиски путей ее создания были направлены все их силы. Поэтому идея родилась и началась активная работа по ее реализации.



Филипп Георгиевич Старос

Филипп Георгиевич Старос (1917–1979, настоящее имя Альфред Сарант) — американский и советский инженер, руководитель разработок ЭВМ, в основном военного назначения. В молодые годы Альфред Сарант вместе со своим другом Джоэлом Барром был участником организованной Ю. Розенбергом группы добровольных разведчиков, действовавших под руководством советского резидента А. С. Феклисова⁶. Группа Розенберга передала советской стороне около 32 тысяч страниц технической документации, в том числе Барр и Сарант — 9125 страниц. После ареста группы Розенберга в США в 1950 году они (единственные из всех участников группы) бежали в Чехословакию, где участвовали, по-видимому, под руководством А. Свободы, в создании первой в Чехословакии аналоговой ЭВМ⁷ для управления огнем зенитной батареи. В 1955 году при содействии советской разведки Ф. Старос вместе с другом, также получившем новое имя Иозеф Берг, перебрался в СССР, где возглавил лабораторию, известную под названием КБ-2⁸. Вопреки распространенному мнению, Старос не привез с собой никаких американских секретов в области электроники (так как в США полупроводниками не занимался, их еще просто не придумали) и вся его карьера в этой области сделана в СССР. По воспоминаниям знавших его людей⁹ Старос был прекрасным организатором, умел подбирать и сплачивать людей, до сих пор вспоминающих его с глубоким уважением. Под его руководством, в частности, созданы одни из первых в стране микрокалькулятор, микропроцессор, однокристалльный и одноплатный микроконтроллер.

Включился в работу и директор ленинградского КБ-2 Ф. Г. Старос. Приехавший в 1950 г. из США бакалавр-электротехник Альфред Сарант, бросивший работу по специальности в США за год до изобретения транзистора, за десятилетний срок работы в Чехословакии и СССР превратился в высококвалифицированного специалиста и прекрасного организатора. Старос и его коллектив уже имели опыт разработки экспериментальных образцов трех ЭВМ, а также некоторые результаты в создании тонкопленочной гибридной технологии и малогабаритных устройств памяти типа «Куб» на многоотверстных ферритовых пластинах. Теперь Старос мечтал создать и возглавить гигантскую фирму, *«смоделированную с America's Bell Laboratories, но в сто раз большую,*

⁶ Феклисов А. Признание разведчика. — М.: ОЛМА-ПРЕСС, ЛГ Информэйшн Групп. М., 1999. — *Прим. сост.*

⁷ Про Антонина Свободу и чехословацкие ЭВМ см. очерк *«Модулярная арифметика и модулярные компьютеры»*. — *Прим. сост.*

⁸ Фирма Ф. Староса претерпела ряд реорганизаций: 1956–1959 гг. — СЛ-11 в ОКБ-998, 1959–1961 гг. — СКБ-2, 1961–1966 гг. — КБ-2, 1966–1973 гг. — ЛКБ, с 1973 г. (после слияния с СКТБ) — ЛКТБ «Светлана». Для простоты мы применяем название КБ-2, соответствующее основному периоду рассматриваемого времени. — *Прим. авт.*

⁹ См. Гальперин М. [Прыжок кита](#). — СПб.: Политехника-сервис, 2010. — 352 с.

превосходящую все существующее или создаваемое на Западе» [10.8] по созданию и производству бортовых компьютеров.



Александр Иванович Шокин

Александр Иванович Шокин (1909–1988) — руководитель советской электронной промышленности, создатель зеленоградского Центра микроэлектроники. Закончил МВТУ им. Н. Э. Баумана в 1934 году. Работал на Заводе точной электромеханики, где занимался приборами управления зенитным огнем (ПУАЗО), участвовал в работе по созданию ПУАЗО «Горизонт-1» для первого крейсера советской постройки «Киров». С 1938 года на руководящих должностях: главный инженер главных управлений Наркомата оборонной промышленности, с 1943-го — начальник промышленного отдела Совета по радиолокации при ГКО СССР, впоследствии — заместитель председателя Комитета по радиолокации при Совете Министров СССР (известного, как Комитет № 3). Заместитель министра промышленности средств связи СССР (1949–1953), заместитель (1955–1957) министра радиотехнической промышленности СССР В. Д. Калмыкова. С 1961 года председатель Государственного комитета по электронной технике — министр СССР, а с 1965 по 1985 год министр электронной промышленности СССР. При непосредственном участии А. И. Шокина велись разработки многих изделий военного и ракетно-космического назначения. Подробно о Шокине и его деятельности рассказано в книгах его сына А. А. Шокина [10.10 и 10.20].

Идея Староса о «суперБелл» была интересная, но противоречила тогдашним реалиям и задачам. Хрущевское разделение промышленности в 1957–1965 годах на отраслевую науку в виде НИИ с опытными производствами в составе Госкомитетов и серийных заводов в составе региональных совнархозов, резало старосовскую «суперБелл» на две части. (Кстати, именно из-за такого разделения первая рижская ИС Р12-2 не получила развития — рижский совнархоз микроэлектроникой не интересовался). Кроме того, Старос стремился к созданию замкнутой фирмы, во всем, кроме выходного продукта («миллионы бортовых компьютеров»), работающей на самообеспечение. Но стране были нужны не только компьютеры, но и масса других изделий электроники, нередко в то время даже более важных, чем компьютеры. Получалось, что нужно создавать еще массу подобных гигантов, каждого со своим полным натуральным хозяйством. Средств на это в стране, все еще разоренной после войны горячей и втянутой в войну холодную, не было. Старос не понимал, что стране нужен Центр по созданию интегральных схем как товарной продукции — унифицированной элементной базы для всей электроники.

Об этом свидетельствует и практическая деятельность Ф. Староса. Начав в 1958 году первым в стране заниматься тонкопленочной технологией, он так и не создал унифицированной товарной ИС на ее основе. Почему? Ведь он имел реальную возможность еще в 1958–1959 годах создать первую в стране (а возможно и в мире — момент создания первых гибридных ИС не нашел отражения в истории¹⁰) гибридную интегральную схему, на 5–6 лет раньше НИИРЭ и зеленоградского НИИТТ. Но товарная ИС его не интересовала — он пытался на основе тонкопленочной технологии создать бортовую ЭВМ в целом. Это сегодня подтверждают его бывшие сотрудники.

Иначе к задаче подходил понимающий жизненные реалии страны А. И. Шокин. Отвечая за элементную базу для всех видов электронной аппаратуры, он воплощал идею создания инновационного центра микроэлектроники (ЦМ) — локально размещенного функционально полного комплекса НИИ с опытными заводами, решающего все специфичные проблемы создания и применения интегральных схем. Главной задачей ЦМ было создание и отработка в опытных производствах новых технологий, новых технологических линий с прецизионным и высокопроизводительным технологическим и контрольно-измерительным оборудованием, новых

¹⁰ Первые гибридные микросхемы на Западе, по всей видимости, появились позже полупроводниковых и позже, чем в СССР. Считается, что первая зарубежная ГИС создана фирмой IBM в 1964 году специально для семейства компьютеров IBM/360. В военной технике вместо микросхем в течение многих лет применялись микромодули (микросборки). — *Прим. сост.*

особочистых материалов и т. п. На их основе в ЦМ должны создаваться интегральные схемы, радиоэлектронная аппаратура и ЭВМ. И все это, после технологической отработки на опытных заводах, должно передаваться для массового тиражирования на серийные заводы страны. Главным продуктом для ЦМ были унифицированные товарные интегральные схемы. Такой подход вписывался и в совнархозовскую, и в министерскую структуры. Что особо важно, он обеспечивал возможность унификации интегральных схем и всего того, что необходимо для их создания. Тем самым затраты на создание и развитие микроэлектроники уменьшались в разы. С таким подходом страна, поднатужившись, справиться могла, и справилась.



Первые здания в Спутнике «школа швейников» и «школа металлистов». Два из трех зданий, с которых начинался Центр микроэлектроники

Как видим, подходы Шокина и Староса совершенно разные. Но пока они еще не обособились, не вошли в противоречия, и их сторонники дружно работали в единой команде.

Нашлось и место для Центра микроэлектроники. С 1958 года у станции Крюково севернее Москвы строили для легкой промышленности новый город Спутник (Зеленоградом и одновременно 30-м районом Москвы он стал в январе 1963 года). Строительством занимались разные ведомства и сложились явные диспропорции: массово возводилось жилье, и практически ничего не было сделано по промышленному строительству — построено три школьных здания.

Подготовка

Такие масштабные работы, как создание научного центра, выполнялись только на основании постановления ЦК КПСС и Совмина СССР, а для этого требовалось согласие первого секретаря ЦК КПСС¹¹ и председателя Совмина Никиты Сергеевича Хрущева. И Шокин начал подготовку. Такое постановление можно было «пробить» только в результате многоходовой комбинации, объединив усилия всех ее сторонников — противников и неверующих было немало. Проект постановления был результатом напряженной работы команды единомышленников из аппарата ГКЭТ, ВПК, ЦК КПСС, специалистов НИИ-35, КБ-2 и других предприятий ГКЭТ. Главной базой для подготовки постановления и всех сопутствующих документов, плакатов и экспонатов стал НИИ-35. В работе участвовали также специалисты КБ-2 во главе с Ф. Г. Старосом. Курировали подготовку В. Н. Малин (заведующий общего отдела ЦК КПСС, отец Б. В. Малина из НИИ-35), И. Д. Сербин (заведующий оборонного отдела ЦК КПСС, в промышленности его звали «Иван Грозный») и Г. А. Титов (первый зам. председателя Военно-промышленной комиссии — ВПК).

В начале 1962 года А. И. Шокин добился согласия Н. С. Хрущева на проведение небольшой выставки с докладом в перерыве заседания Президиума ЦК КПСС. Следовательно, Хрущев идею уже воспринял и с ходу не отверг. Мероприятие состоялось, и он согласился на дальнейшее рассмотрение предложения. Более того, не просто согласился, но, похоже, уже выделил для себя проблему микроэлектроники как важную: вскоре, в марте 1962 года на ежегодном просмотре архитектурных проектов в Красном зале Моссовета, когда Хрущеву доложили о серьезных диспропорциях в строительстве Спутника, он сказал: *«Надо переговорить насчет*

¹¹ Ныне Н.С. Хрущева, как правило, именуют генеральным секретарем ЦК КПСС, что неверно. Название «Генеральный секретарь» было введено позже, при Л.И. Брежнев. — *Прим. авт.*

микроэлектроники» [10.9]. И, по-видимому, действительно переговорил с Шокиным — вскоре в Спутник на рекогносцировку приехал Ф. Г. Старос.

Под руководством А. И. Шокина и его заместителя К. И. Мартюшова, при участии ученых и специалистов отрасли была подготовлена концепция Центра микроэлектроники и проект постановления ЦК КПСС и СМ СССР о его создании. Параллельно планомерно разворачивались работы по созданию гибридных (в КБ-2) и планарных (в НИИ-35) технологий.



В КБ-2. В раздумьях о том, как встретить Хрущева. Сидят, слева направо: Ф. Г. Старос, А. И. Шокин, Г. А. Титов. Стоят Г. Р. Фирдман, М. П. Гальперин, А. Л. Писаревский, В. Е. Панкин. Апрель 1962 года

Для окончательного решения нужно было, чтобы «сошлись вместе» Н. С. Хрущев и микроэлектроника с демонстрацией ее преимуществ на понятном ему особо важном примере. И Шокин такую ситуацию создал. 4 мая 1962 года в Ленинграде планировалось совещание с участием Хрущева по проблемам судостроения, а одной из важнейших проблем была бортовая РЭА, в том числе ее массогабаритные характеристики. В это время в КБ-2 Ф. Г. Староса завершались разработки экспериментальных образцов управляющей ЭВМ УМ-1НХ на основе транзисторов и бортовой ЭВМ

УМ-2 — первый опыт применения гибридной технологии, то есть было что показать главе государства. *«А. И. Шокин применил весь свой организационный опыт и аппаратное искусство, задействовал старые связи с „судаками“ и в ВПК, и совмещение нужных событий во времени и пространстве наконец состоялось. Визит Н.Хрущева в КБ-2 был включен в программу поездки в Ленинград»,* — пишет А. А. Шокин в книге [10.10].

Специально для визита был разработан миниатюрный радиоприемник (радиолюбительство тогда было массовым увлечением) и изготовлено несколько его образцов. Длинноволновый микроприемник был сделан из миниатюрных деталей и размещался за ухом. Он ловил всего две местные станции, но для Хрущева его противопоставили уже много лет выпускаемому громадному всеволновому ламповому радиоприемнику «Родина». Основной блок ЭВМ УМ-1НХ, спрятав два других блока, поставили на отдельный стол и предъявили Н. С. Хрущеву как настольную ЭВМ — явление тогда невиданное. «Настольная» УМ-1НХ и радиоприемник резко контрастировали по габаритам с общеизвестными тогда ламповыми приборами, а это было понятно далеким от техники большим начальникам. Как видим, оба экспоната представлялись Н. Хрущеву весьма некорректно, но «потемкинские деревни» на Руси всегда имели успех. А миф о «настольной» ЭВМ живет до сих пор.

Постановление

Визит был хорошо организован. Почти месяц продолжалась энергичная подготовка. И. Г. Титова (дочь Г. А. Титова) вспоминает, что в санатории в Барвихе Г. А. Титов и А. И. Шокин неоднократно обсуждали ход подготовки визита. Накануне А. И. Шокин провел в КБ-2 генеральную репетицию со Старосом, который, как принимающий, должен был давать пояснения. И визит хорошо удался: ЭВМ и радиоприемник произвели на главу страны нужное впечатление. Там же Н. Хрущеву был доложен и в целом одобрен проект постановления о создании Центра микроэлектроники в Спутнике. После интенсивных согласований, 8 августа 1962 года Постановление ЦК КПСС и Совмина СССР было подписано. Отныне проблема создания и развития отечественной микроэлектроники обрела характер национальной задачи.

Были определены самые общие положения концепции построения ЦМ, в том числе:

- определен комплексный характер ЦМ с организацией всех основных необходимых НИИ и опытных заводов для разработки и производства ИС;
- ЦМ придан статус головной организации по микроэлектронике в стране;

- определено локальное размещение ЦМ в Спутнике, где ЦМ становился градообразующей системой.



Визит Н. С. Хрущева в КБ-2

Б. В. Малин отмечает [10.5]: *«Определялись главные задачи ЦМ, как головной организации в стране по микроэлектронике:*

- *обеспечение разработок и опытного производства ИС на мировом техническом уровне (догнать Америку) в интересах обороны страны и народного хозяйства;*
- *обеспечение перспективного научного задела;*
- *разработка принципов конструирования радиоэлектронной аппаратуры и ЭВМ на основе микроэлектроники, организация их производства, передача этого опыта соответствующим организациям страны;*
- *унификация ИС, условий их применения в аппаратуре на предприятиях страны;*
- *подготовка кадров, в том числе специалистов высшей квалификации».*

Постановление определяло первоначальный состав предприятий ЦМ — пять новых НИИ с тремя опытными заводами: НИИ теоретических основ микроэлектроники, НИИ микросхемотехники, НИИ технологии

микроэлектроники, НИИ машиностроения, НИИ специальных материалов (при создании предприятий эти названия были изменены).

Необходимо подчеркнуть, что создание ЦМ было не обособленной акцией, а частью масштабной программы построения новой подотрасли — микроэлектроники. В различных регионах страны: в Москве, Ленинграде, Киеве, Минске, Воронеже, Риге, Вильнюсе, Новосибирске, Баку и других городах начиналось перепрофилирование имеющихся или создание новых НИИ с опытными заводами для разработки и серийных заводов с КБ для массового производства ИС, специальных материалов и специализированного технологического и контрольно-измерительного оборудования. ЦМ был всего лишь частью огромного айсберга, его вершиной.

Создание Центра микроэлектроники

Сразу после выхода постановления команда А. И. Шокина приступила к созданию ЦМ (позже — Научный центр, НЦ). В условиях закрытой в Москве прописки постановление давало ЦМ право принимать на работу специалистов из любой точки СССР. Строительный задел в Спутнике позволял сразу выделять жилье принимаемым сотрудникам, что, в условиях острого жилищного кризиса, делало работу в ЦМ привлекательной и позволяло отбирать наиболее профессиональные кадры.

Началось образование НИИ с опытными заводами: 1962 год — НИИ Микроприборов (НИИМП) с заводом «Компонент» и НИИ Точного машиностроения (НИИТМ) с «Элионом»; 1963 год — НИИ Точной технологии (НИИТТ) с «Ангстремом» и НИИ Материаловедения (НИИМВ) с «Элмой»; 1964 год — НИИ Молекулярной электроники (НИИМЭ) с «Микроном» и НИИ Физических проблем (НИИФП); 1965 год — Московский институт электронной техники (МИЭТ) с опытным заводом «Протон» (1972); 1968 год — Центральное бюро по применению интегральных микросхем (ЦБПИМС); 1969 год — Специализированный вычислительный центр (СВЦ) с заводом «Логика» (1975). К началу 1971 года в НЦ работало 12,8 тыс. человек. В 1976 году на его базе было создано НПО «Научный центр» — 39 предприятий в разных городах страны, их персонал в общей сложности насчитывал около 80 тыс. человек.

Единой организации в ЦМ сначала не было, его предприятия подчинялись 4-му Главку ГКЭТ. Работы первых НИИМП и НИИТМ (директора — И. Н. Букреев и Е. Х. Иванов) начинались на временных площадях в трех школьных зданиях. На этом этапе образования ЦМ активное участие принимает Ф. Г. Старос. Вспоминает И. Н. Букреев: *«Старос активно*

помогал мне. Специалисты НИИМП стажировались у него в Ленинграде. Кроме того, в 1963 году он передал нам четыре спроектированные его КБ вакуумные установки для напыления тонких пленок (первые в стране). Мы сразу же стали осваивать технологию, и благодаря этому к 1964 году появились первые микроэлектронные изделия. А если бы ждали, пока построят наш институт машиностроения, потеряли бы года 2–3» [10.18]. Старос делился с ЦМ своими идеями и заделом. Так, в НИИМП была заново реализована идея микроприемника уже на основе микроэлектронной технологии; завод «Ангстрем» выпускал разработанный ленинградцами блок памяти «Куб-2» на многоотверстных ферритовых пластинах. Были и другие примеры.



С. М. Бутузов — соратник Ф. В. Лукина в создании Центра микроэлектроники

29 января 1963 году один из первопроходцев отечественной микроэлектроники, д-р техн. наук, профессор, крупный ученый и

разработчик сложных систем, трижды лауреат государственных премий, талантливый организатор Федор Викторович Лукин¹² был назначен заместителем Председателя ГКЭТ, а 8 февраля — директором ЦМ. Его заместителем по науке был назначен Ф. Г. Старос, остававшийся директором ленинградского КБ-2. До этого момента из директоров предприятий ГКЭТ Старос был наиболее активным участником команды Шокина по созданию ЦМ и надеялся стать его директором. Когда же был назначен «варяг» — Ф. Лукин (перед назначением он был директором НИИ-37 ГКРЭ), по словам Стивена Юсина [10.8], *«Старос был ошеломлен, узнав, что он должен согласиться на положение номер два, заместителя директора»*.

По ходу событий и по назначению Ф. В. Лукина Старос понял, что ЦМ создается не таким, как он хотел, что «суперБелл», о которой он мечтал, не состоится. Ничто, кроме подобной суперорганизации под его руководством, Староса не интересовало, и он фактически самоустранился от выполнения обязанностей зам. директора ЦМ по научной работе. В результате в начале 1965 года за систематическую неявку на рабочее место Ф. Г. Старос был освобожден от должности зам. директора ЦМ. А на Ф. В. Лукина легла двойная нагрузка и за себя, и за своего первого заместителя. В этой ситуации значительную часть саботируемых Старосом функций взял на себя другой заместитель Ф. Лукина — Сергей Михайлович Бутузов.

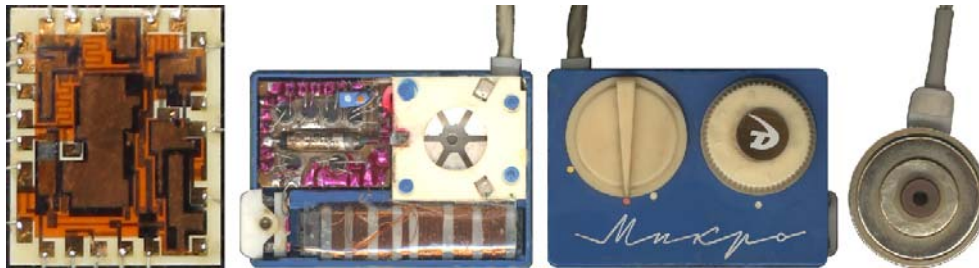
На начальном этапе Ф. В. Лукин сосредотачивается на подборе научных и руководящих кадров, формировании коллективов и промышленном строительстве. Ему приходится принимать непосредственное участие в работе архитектурно-планировочных и строительных организаций, вносить изменения в проекты, иногда расчетами доказывать обоснованность своих решений. Он напрямую участвует в формировании тематики создаваемых предприятий, вникает в проводимые разработки, оказывает оперативную помощь в их реализации.

Первые результаты

ЦМ сразу приступил к созданию принципиально новой продукции. Уже в мае 1963 года, на основе полученных от КБ-2 образцов, в НИИТМ была доработана установка вакуумного напыления. Во второй половине 1963 года в НИИМП уже были получены первые результаты по тонкопленочной технологии. Необходимо было проверить их на реальном изделии и произвести публичную демонстрацию возможностей микроэлектроники.

¹² Некоторые подробности о деятельности Ф. В. Лукина в области радиоэлектроники в период до назначения руководителем зеленоградского ЦМ см. в очерке *«Информационные технологии и противоракетная оборона»*. — Прим. сост.

Решили использовать уже опробованную Старосом идею — сделать микроприемник. Вспоминает И. Н. Букреев: *«Первая модель — „Микро“ — был приемник прямого усиления, а второй, чуть больше по размерам, уже супергетеродинный. У него была очень острая настройка и, так как в СССР радиостанций было тогда на средних и длинных волнах совсем мало, это казалось недостатком. Но когда я в 1964 году привез этот приемник в США на съезд радиоинженеров, он произвел там мировую сенсацию! Статьи в газетах, фотографии: как СССР смог нас обогнать? <...> в Нью-Йорке, где было около 30 местных радиостанций, острая настройка нашего приемника пришлось в самый раз. „Микро“ продавали потом за валюту также во Франции, Англии, и везде там за ним в 60-е годы очереди стояли. В общем, „Микро“ стал первой сенсацией для руководства. Хрущев брал их с собой за границу как сувениры, дарил Г. Насеру, королеве Елизавете...»* [10.18].



Первое в СССР изделие микроэлектроники — радиоприемник «Микро». Был собран на основе тонкопленочной гибридной технологии, тонкопленочная плата на фото слева (с двукратным увеличением). Размер приемника 43×30×7,5 мм (без выступающих органов управления). Прослушивалась радиопередача через телефон для слухового аппарата, вставляемого в ухо

Радиоприемник «Микро», выполненный по тонкопленочной технологии, стал первым в стране общеизвестным серийным изделием микроэлектроники. И это было первое в мире изделие потребительской микроэлектроники. Разработан он был во второй половине 1963 года в НИИМП, а в 1964 году его производство освоил «Ангстрем». Он выпустил их около 80 тыс. шт., после чего передал заводу Минрадиопрома в Минске. До середины семидесятых годов этот микроприемник можно было купить в магазинах СССР и Франции.

Вскоре появились первые зеленоградские микросхемы. В 1964 году НИИТТ приступил к созданию серии толстопленочных ГИС «Тропа» (главный конструктор А. К. Катман). Первый директор НИИТТ В. С. Сергеев вспоминает: *«Никаких технических материалов и литературы по этому направлению не было, мы имели только фотографию микросхем, выпускаемых фирмой IBM. <...> Особенно в большом секрете за рубежом держалась технология изготовления резистивных, проводниковых и*

изоляционных паст. Всю работу мы начали с нуля: разработку конструкции, материалов, технологии и оборудования... Уже с первых дней существования предприятия, помимо работ непосредственно по технологии ГИС, велись значительные работы по созданию и применению стекла, керамики, полимеров, клеев, изоляционных материалов, гальванических процессов, сварки, пайки, получению прецизионного инструмента (штампов, пресс-форм) химической фрезеровки, многослойных полимерных и керамических плат и многим другим процессам, необходимым в перспективах развития техники...» [10.5]. Не зря в мире широко распространилось понятие «know how» («знаю, как»), а не «know what» («знаю, что»). Главная проблема в современной технике именно в «как», а ее в нашей микроэлектронике пришлось решать самим. В частности, в НИИТТ впервые в мире для подгонки параметров резисторов был применен лазер, зарубежные фирмы применяли менее точную и более грязную пескоструйную технологию.



Первые зеленоградские микросхемы: толстопленочные ГИС «Тропа», тонкопленочные ГИС «Посол» и полупроводниковые ИС «Иртыш»

В 1965 году «Микрон» начал выпуск первой в Зеленограде полупроводниковой ИС «Иртыш», которая была разработана в НИИМЭ на основе планарной технологии, созданной в НИИ-35 и поставленной на «Микроне».

В 1966 году «Элма» уже выпускает 15 видов разработанных в НИИМВ специальных материалов, а «Элион» — 20 типов созданного в НИИТМ технологического и контрольно-измерительного оборудования. В 1969 году «Ангстрем» и «Микрон» производят уже более 200 типов ИС, а к 1975 году в НЦ были разработаны 1020 типов ИС. Все это передавалось на серийные заводы Минэлектронпрома. И это было только начало...

В 1970 году правительственная комиссия провела комплексную проверку работы НЦ, включающего на тот момент 9 научно-исследовательских организаций, 5 опытных заводов, вуз и др. По состоянию на 1 июня 1970 года в институтах и КБ Центра работало 12 924 человека, в том числе 9 докторов наук и 214 кандидатов. На опытных заводах работало 16 154 человека. Для размещения предприятий Центра было построено 240 тыс. кв. м промышленных площадей. Результаты деятельности НЦ комиссией были

оценены положительно, отмечена его огромная роль в развитии отечественной микроэлектроники. Были отмечены и недостатки. За достигнутые успехи в деле создания отечественной микроэлектроники НЦ был награжден орденом Ленина, а его директор Ф. В. Лукин — Орденом Октябрьской революции.

За 8 лет работы в Центре микроэлектроники Ф. Лукин был в отпуске только два раза. Напряженная работа сказалась на его здоровье. В октябре 1970 года он решает взять отпуск и поехать в санаторий. При прохождении медицинской комиссии врачи обнаруживают тяжелую запущенную болезнь, оказавшуюся неизлечимой. 18 июля 1971 года Федор Викторович Лукин скончался. Директором НЦ был назначен Анатолий Васильевич Пивоваров, главный инженер КБ-1. В 1960 году, после перехода Ф. В. Лукина на должность директора НИИ-37, А. В. Пивоваров сменил его на должности главного инженера в КБ-1, а теперь снова стал преемником своего бывшего руководителя.

Расцвет

Следует учитывать особые условия создания и развития советской микроэлектроники. *«Электронная промышленность стран Европы, США, Японии, какой бы жесткой ни была конкуренция между фирмами, развивалась в условиях широко развитого обмена достижениями через международную торговлю лицензиями и патентами, документацией на технологические процессы, новейшим технологическим, контрольно-измерительным и оптико-механическим оборудованием, материалами и т. д.*

Электронная промышленность нашей страны была полностью лишена такой возможности. США создали специальный международный комитет (КОКОМ), контролирующий все научно-технические и торгово-экономические взаимоотношения с СССР. КОКОМ разработал положение и огромный — в 250 страниц — свод правил, по которым СССР нельзя было продавать не только передовые технологии и изделия, принадлежавшие к области любой высокой технологии, и в первую очередь к микроэлектронике и вычислительной технике, но технологическое и измерительное оборудование, материалы, прецизионное станочное оборудование и т. д.» [10.10].

Иными словами, в нашей электронной промышленности все приходилось делать самим. Конечно, спецслужбам частично удавалось пробивать стену КОКОМ¹³ и окольными путями добывать кое-какие изделия, документацию,

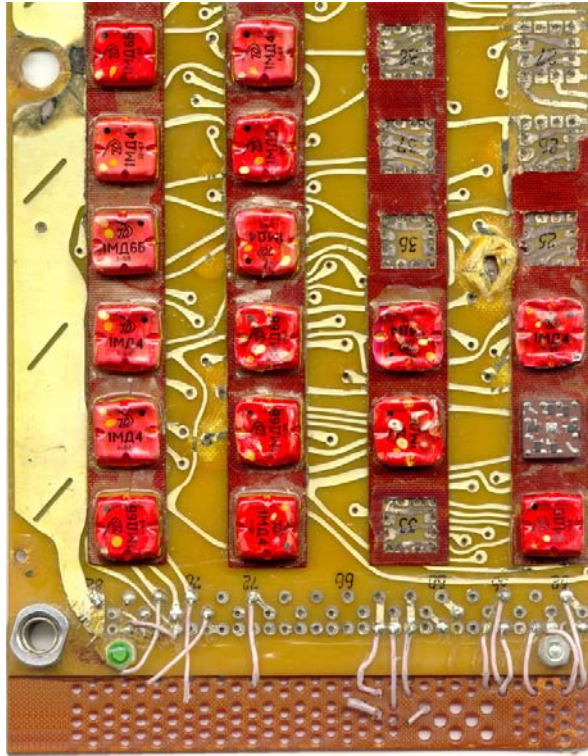
¹³ Координационный комитет по экспортному контролю (КОКОМ, англ. Coordinating Committee for Multilateral Export Controls, CoCom) — международная организация, созданная в

материалы и оборудование. Но добывалось далеко не всё и в мизерных количествах — только посмотреть и «пощупать». Разрабатывать же все это и тиражировать в нужных объемах отечественная микроэлектроника вынуждена была сама. Иногда полученные образцы копировались, но точную копию сделать было невозможно из-за различий в материалах, технологиях, оборудовании и т. п. Иногда делали функциональные аналоги, иногда — целиком собственные разработки. Но всегда разрабатывали и тиражировали сами.

Импортировать в объемах, требуемых для обеспечения серийного производства микросхем, удавалось только второстепенные материалы и оборудование, не определяющие технический уровень микросхем. Но это приходилось делать, так как изоляция была и внутри страны. Профильные ведомства (Минрадиопром, Минприбор, Минмаш, Минстанкопром, Минхимпром и прочие), требуя от Минэлектронпрома продукцию микроэлектроники, сами всячески уклонялись от своего вклада — от поставок соответствующих требованиям микроэлектроники приборов, оборудования и материалов. Минэлектронпрому все самое сложное приходилось делать самому. Необходимо отметить и финансовую составляющую. Финансирование Минэлектронпрома, как и всех оборонных отраслей, по советским нормам было хорошим. Но капиталовложения в отечественную микроэлектронику не шли ни в какое сравнение с вложениями в США или Японии. В таких условиях создание единого инновационного центра микроэлектроники позволяло максимально сконцентрировать имеющиеся ресурсы, было единственно возможным способом для успешного развития микроэлектроники в СССР. И это дало результаты.

Благодаря такой концентрации ресурсов результаты Минэлектронпрома, и в первую очередь его НИЦ, многие годы неплохо смотрелись на уровне мировой микроэлектроники. Уже первое изделие — радиоприемник «Микро» — не имело аналогов в мире. Первые гибридные ИС серий «Тропа», «Трапедия», «Терек», «Посол», «Тактика» соответствовали мировому уровню [10.12]. Кстати, первыми в мире ИС, облетевшими Луну в 1969 году и вернувшимися на Землю, были ангстремовские «Тропы» (см. фото). В 1972 году в НИИТТ было освоено новое направление — многослойные ИС «Талисман». Технология создания этих ИС тогда не имела мировых аналогов. Она резко снижала габариты, повышала быстродействие и надежность ИС.

1949 году для контроля над экспортом высокотехнологичных изделий в СССР и другие страны Восточного блока. Прекратила свое существование в 1994 году. — *Прим. сост.*



ИС «Тропа» первыми в мире вышли в 1969 году в открытый космос, облетели Луну и вернулись на Землю. Фрагмент платы бортовой ЭВМ «Аргон-11С» (часть ИС демонтировано для исследования результатов длительного влияния на них открытого космоса).

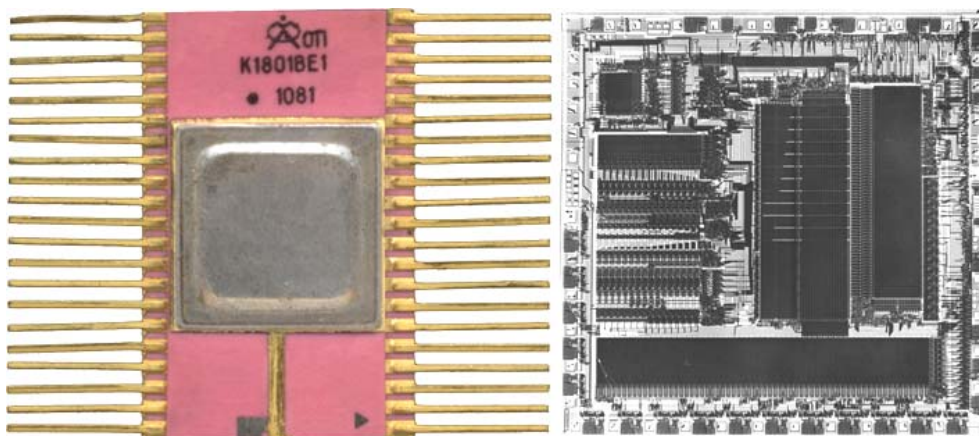
Фото Б. М. Малашевича

В полупроводниковых ИС мы сначала заметно отставали. В 1970-е годы наиболее преуспевающей в МОП-приборах полупроводниковой компанией была Intel. По сравнению с ней НИИТТ и «Ангстрем» на ведущих направлениях сначала имели некоторое отставание, но вскоре догнали лидера. Например, динамическое ОЗУ емкостью 4 кбит Intel выпустила в 1974 году — «Ангстрем» в 1975-м, 16 кбит — соответственно в 1977-м и начале 1978 года, а 64 кбит обе фирмы выпустили на рынок практически одновременно, в 1979 году [10.13].

Аналогичная ситуация была и в НИИМЭ с заводом «Микрон». В начале 1970-х годов директор НИИМЭ К. А. Валиев, находясь в США в компании Motorola, показал ИС серии 500 (аналог MC10000 Motorola). Исследовав образцы, специалисты фирмы констатировали: *«Ваши схемы действительно*

имеют более высокое быстродействие по сравнению с МС10000, у Вас хорошая технология» [10.14].

«В начале пятилетки (1976 г. — авт.) американцы писали, что в микроэлектронике мы отстаем от них на 8 лет. И, надо думать, радовались этому. Однако к концу 70-х годов радости у них, видимо, поубавилось. Изучив в 1979 году несколько образцов наших схем, американцы оценили это отставание в 2–2,5 года. Переданные образцы были взяты из серийного выпуска. В январском номере американского журнала „Электроникс“, а он очень авторитетен в этой области, уже отмечается, цитирую: „Технологическая база и квалификация технологов позволяют Советскому Союзу изготавливать интегральные схемы почти такого же качества, что и в США“. И далее резюме: „Вероятно, полученные схемы не отражают наивысший технический уровень Советского Союза в этой области. Интегральные схемы, применяемые в СССР для собственных нужд, могут быть технически более совершенны“». [10.10]. В последнем они совершенно правы: были проанализированы ИС микропроцессора серии К587 (разработка 1975 года) и ОЗУ 16 кбит (начало 1978 года).



К1801BE1 в корпусе и ее топология

Кульминацией этого соревнования стал 1979 год, когда в НИИТТ была разработана однокристалльная 16-разрядная ЭВМ К1801BE1 (в нынешней терминологии — микроконтроллер). По заключению межведомственной госкомиссии, принимавшей разработку, на тот момент была известна только одна 16-разрядная ОЭВМ, причем с 8-разрядным процессором (массовыми тогда за рубежом были 4-разрядные микроконтроллеры). По совокупности параметров К1801BE1 превосходила своих современников (см. таблицу).

Сравнительные характеристики ОЭВМ

Характеристика	TMS 9940 Texas Instruments	K1801BE1 (НЦ-80Т) НИИТТ	K586BE1 (С5-31) ЛКТБ «Светлана»
Разрядность данных, бит	1, 8, 16	1, 8, 16, 32	1, 8, 16
Разрядность АЛУ, бит	8	16	16
Число команд	58	404	132
ОЗУ, бит	128×8	128×16	128×16
ПЗУ, бит	2К×8	1К×16	1 К×16
Время сложения, мкс	3,2	3,1	2,0
Уровней прерываний	4	5	3
Ввод-вывод	32 программируемые линии	16 бит магистраль, 32 бит последовательный программируемый канал ввода/вывода	16 бит магистраль, 5 каналов ввода/вывода, 8-бит последовательный канал
Принадлежность к семейству микро-ЭВМ	—	Электроника НЦ	Электроника С5



Экспериментальный персональный компьютер «Электроника НЦ-8010»

На основе K1801BE1 тогда же, в 1979 году, был сделан первый в стране экспериментальный персональный компьютер «Электроника НЦ-8010». Позже он трансформировался в самый массовый в СССР домашний компьютер «Электроника БК-0010». Об этих и других разработках ЭВМ оригинальных отечественных архитектур в Зеленограде подробнее рассказывается в следующем разделе очерка.



Трехканальная БЦВМ «Салют-3М» для ракетно-космических систем

В целом в период до 1980-х годов отставание разработок в НЦ по сравнению с зарубежным уровнем колебалось в пределах от нуля до трех лет. Иногда вырывались вперед. Но примерно такая же динамика была и у ведущих зарубежных фирм — они то немного отставали от конкурентов, то опережали их. Таким образом, можно утверждать, что разработки зеленоградского НЦ в те годы в целом соответствовали мировому уровню. Его выходы на международные выставки вызывали, как правило, удивление зарубежных специалистов и ужесточение ограничений КОКОМ. В целом же *«...в 1978–1980 годах отечественная микроэлектроника, и особенно усилиями предприятий Зеленограда, была очень близка по своим возможностям и*

полученным результатам к уровню, имевшемуся в США» [10.6]. Многие аппаратурные разработки предприятий НЦ также в основном не уступали мировому уровню. Производительность модулярной суперЭВМ 5Э53, разработанной в СВЦ Д. Юдицкого¹⁴, превосходила всё известное тогда в мире (у Д. Юдицкого была своя формула хрущевского лозунга «Догнать и перегнать Америку» — «Обгонять, не догоняя»). Не уступали своим современникам и разработанные там же мини- и микроЭВМ с архитектурой «Электроника НЦ». То же было и в НИИМП Г. Я. Гуськова с ракетно-космическими системами: «...разработанная ими аппаратура (рис. 21) превосходила соответствующие американские аналоги» [10.6].

Необходимо отметить, что конкурентными были оригинальные проекты ИС и ЭВМ, не имеющие прямых зарубежных аналогов. Первые ИС такими и были. Но нужно было и выполнять заказы потребителей.

В 2–3 рода раскрутив маховик создания микроэлектроники, Минэлектронпром сразу же оказался в кризисной ситуации. На него обрушился огромный вал заявок на создание и поставку широчайшей номенклатуры ИС. Разработчики аппаратуры — потребители интегральных схем, в значительной степени занимались воспроизводством зарубежных образцов, выпускаемых самыми различными фирмами. И они требовали воспроизводства полупроводниковых приборов и ИС, примененных в оригиналах аппаратуры. Часто эти требования оформлялись в виде постановлений ЦК КПСС и СМ СССР, не выполнять которые было опасно. Аналогично поступали и те, кто разрабатывал оригинальную аппаратуру. Они заказывали не интегральную схему с такой-то функцией и такими-то параметрами, а называли зарубежный аналог и требовали в точности его воспроизвести. Пример: в 1971 году от потребителей поступили заказы на разработку более 3000 новых ИС, при возможностях Минэлектронпрома выполнить не более 150. В перспективе такая практика приводила к необходимости воспроизводства всей мировой номенклатуры. А значит, и к воспроизводству всех технологий, всего парка разнообразного (за рубежом многократно дублированного по назначению) оборудования, всех материалов и т. п. Это не по силам ни одной стране, тем более скромному по своим возможностям Минэлектронпрому. Помогла централизация планирования, позволившая оптимизировать номенклатуру микросхем на основе унифицированных параметрических рядов.

Однако по объемам производства интегральных схем Минэлектронпром в целом значительно отставал и от зарубежного уровня, и от потребностей страны — средств для развития производственных мощностей серийных

¹⁴ Об ЭВМ 5Э53 см. очерк «Модулярная арифметика и модулярные компьютеры». — Прим. сост.

заводов (а они в микроэлектронике очень дороги) не хватало. В результате резко возросла нагрузка на зеленоградские опытные заводы. *«Создавшееся положение, когда опытные заводы НЦ в основном оказались загруженными серийным производством интегральных схем, начало пагубным образом сказываться на дальнейших перспективах развития микроэлектроники»* [10.15]. Возможности отработки на опытных заводах новых материалов, процессов, технологических маршрутов, оборудования и изделий оказались резко ограничены. С этого началось пока еще медленное отставание отечественной микроэлектроники от мировой, пока незаметное.

Мы уже говорили, что мировому уровню соответствовали только оригинальные (без прямых зарубежных аналогов) разработки в микроэлектронике. Кстати это были не только микросхемы и аппаратура на их основе — в значительной степени и микроэлектронные технологии, технологическое оборудование и материалы. Именно поэтому он почти всегда был готов к воспроизводству заказываемых ему новейших зарубежных микросхем, к созданию оригинальных ИС, не уступающих, а иногда и превосходящих зарубежных современников. Этот опыт представляет особый интерес и исторически, и может еще пригодиться в перспективе. Примеры оригинальных разработок зеленоградского ЦМ мы рассмотрим далее.

Зеленоградские микропроцессоры, микроЭВМ и вычислительные системы

Оригинальными разработками микропроцессоров в МЭП занимались два имевшие большой опыт создания ЭВМ коллектива, сформированные Д. И. Юдицким (в Зеленограде) и Ф. Г. Старосом (в Ленинграде). Пиком успехов этих коллективов было создание в 1979 г. уже знакомых читателю однокристалльных 16-разрядных ЭВМ (ОЭВМ) К1801ВЕ1 и К586ВЕ1, по совокупности параметров превосходящих зарубежных современников.

Предшествующий опыт создания ЭВМ очень важен для разработчиков микропроцессоров, так как позволяет избежать при проектировании многих внешне неочевидных «подводных камней». Наглядный и весьма болезненный пример таких «камней» проявился в разработке первых микропроцессоров фирмой Intel. Ее специалисты, на тот момент дилетанты в вычислительной технике, конечно изучили структуру классической ЭВМ, но не знали о массе нюансов, в частности о необходимости защиты памяти. В результате они ввергли мир в кошмар вирусов. При этом созданная ими архитектура микропроцессоров оказалась столь «удачной», что в течение десятилетий ее развития (обеспечивая программную совместимость новых моделей с предыдущими) от этой проблемы они так и не смогли избавиться.

Зеленоградский опыт лучше известен автору, как участнику этих работ, интереснее он для нас и тем, что представляет практический опыт создания как полностью оригинальных микропроцессоров, так и архитектурных аналогов зарубежных ЭВМ, но построенных на основании своих структурных и схемотехнических решений.

Архитектура «Электроника НЦ»

В начале 1970-х годов микроэлектроника достигла уровня БИС (больших интегральных схем), позволяющего реализовать в виде одного кристалла сложные функциональные устройства типа процессора. Директор зеленоградского Специализированного вычислительного центра (СВЦ) решил, что это может быть прекрасной технологической основой для принципиально новой реализации большого опыта предприятия в области создания ЭВМ и систем на их основе.

В начале 1973 года он организовал исследования принципов построения ЭВМ на основе БИС высокой функциональной сложности (термины «микропроцессор» и «микро-ЭВМ» тогда только нарождались).

Д. И. Юдицкий поставил задачу создания комплектов микропроцессорных БИС для разработки на их основе разнообразных микро-ЭВМ и микросистем.

Проработку подходов к решению этой задачи он поручил молодежной лаборатории Валерия Дшхуняна¹⁵. Выбрав молодых, Давлет Исламович организовал им постоянную шефскую помощь. Он и сам регулярно с ними встречался, вникал во все тонкости проблем, подсказывал пути их решения. Кроме того, проблемы создания микропроцессоров регулярно обсуждались на заседаниях НТС, в которых участвовали все ведущие специалисты предприятия. Так необычайно быстро, и в то же время планомерно, молодые инженеры становились лучшими в стране специалистами в области создания микропроцессоров и микро-ЭВМ.

Д. И. Юдицкий прекрасно понимал серьезность и новизну проблемы и что для ее решения потребуется 2–3 года. Примерно столько же требовалось для завершения разработки и отладки в НИИТТ полупроводниковой КМОП-технологии, обеспечивающей возможность изготовления БИС, содержащих до 6000 транзисторов.

¹⁵ Валерий Леонидович Дшхунян (р. 1944) — крупнейший советский специалист по созданию сложных изделий электронной техники. С 1973 г. занимался разработкой микропроцессоров, главный конструктор отрасли. С 1987 г. генеральный директор ОАО "Ангстрем", в 1998–2004 гг. — генеральный директор ОАО "Российская электроника". — *Прим. сост.*

Поэтому для практической отработки основных архитектурных и структурных решений, он одновременно начал разработку мини-ЭВМ «Электроника НЦ-1» на основе существующих на тот момент интегральных схем. Это можно было сделать и было сделано в течение 1 года.

В обоих направлениях изначально отвергалось воспроизводство зарубежных образцов. Был проанализирован лучший зарубежный и отечественный опыт, восприняты все перспективные идеи, дополнены собственными и гармонично синтезированы в единой архитектуре, получившей наименование «Электроника НЦ».

Мини-ЭВМ «Электроника НЦ-1»: детский конструктор Юдицкого

В основу архитектуры «Электроника НЦ» был положен модульный принцип («детский конструктор» по Юдицкому), позволяющий из стандартных модулей путем простого комплексования, «без паяльника и осциллографа», создавать системы разнообразных конфигураций.



Мини-ЭВМ «Электроника НЦ-1» в компоновке автономного стола

В результате родились основные решения проекта:

- микропрограммное управление;
- программируемая архитектура на основе управляющей памяти (УП);
- базовое ядро команд и его расширение;

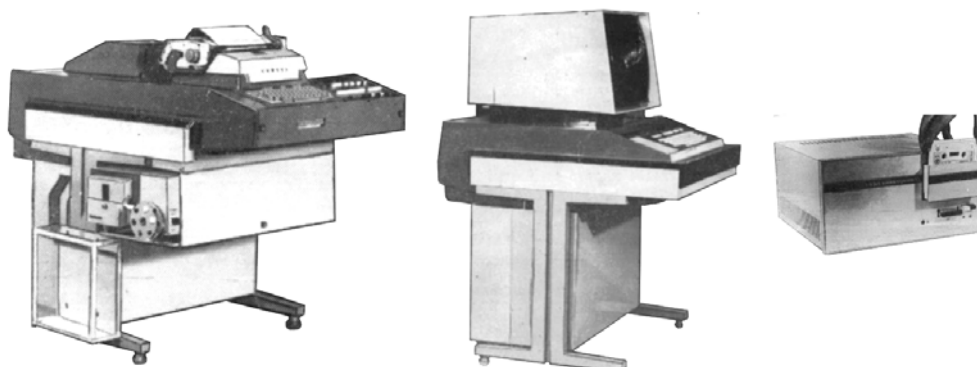
- магистральная структура;
- модульное программное обеспечение;
- тестовая система самодиагностики;
- кросс-система на ЭВМ для автоматизации проектирования и отладки программного обеспечения.

Модульная конструкция мини-ЭВМ НЦ-1 позволяла иметь разные варианты конструктивной компоновки: в виде автономного специального стола или в виде типовой 19-дюймовой стойки. Система модулей НЦ-1 включала:

- операционный блок ОБ-1;
- блок накопителя микрокоманд НМК-1 на интегральных индукционных картах;
- блок ОЗУ-1 на интегральных цилиндрических магнитных пленках.

В распоряжении разработчиков тогда имелись только ИС с низкой степенью интеграции (серий 130, 517, 169, 125, 262), поэтому модули имели немалые размеры.

В НЦ-1 была заложена возможность реализации интерфейсов популярных тогда АСВТ и ЕС ЭВМ. Но, в связи с острым дефицитом периферийных устройств, пришлось разрабатывать и осваивать в производстве свои: устройство ввода-вывода (УВВ), дисплей, внешнее ЗУ, устройство связи с объектом (УСО) и др.



Периферийные устройства «Электроника НЦ-1»: устройство ввода-вывода (УВВ), дисплей, внешнее ЗУ

В декабре 1973 года НЦ-1 была с высокой оценкой принята межведомственной комиссией (сопредседатели генеральный директор НЦ генерал-майор А. В. Пивоваров и директор Института Кибернетики АН УССР, академик В. М. Глушков).

Приказом МЭП серийное производство НЦ-1 было поручено Псковскому заводу радиодеталей (ПЗРД) Псковского объединения «Рубин». Этим же приказом там было образовано СКБ Вычислительной техники (СКБ ВТ), которое должно было сопровождать производство НЦ-1. Завод серийно выпускал ее в течение ряда лет, а затем его СКБ ВТ на основе микропроцессоров разработало ее вторую версию — «Электроника НЦ-2», которая также нашла своих потребителей.

«Детский конструктор» НЦ-1 активно использовался в последующих разработках СВЦ.

Уже к 1976 году на его основе был построен Центр коммутации сообщений «Юрюзань» по заказу Министерства гражданской авиации. Первый экземпляр этого центра в течение двух десятилетий, до 1995 года успешно работал в аэропорту Пулково в Ленинграде. В это же время по заказу ЛНПО «Красная заря» (Минпромсвязи, Ленинград) был разработан многовариантный Комплекс вычислительных средств «Связь-1» (КВС). Это был унифицированный набор вычислительных средств для разрабатываемых Красной зарей систем связи, в частности для первой в стране системы цифровой телефонной связи «Кавказ-5». К сожалению, в 1976 году в Зеленограде произошла крупная реорганизация, в результате которой дальнейшие работы по этим темам были остановлены — Центр коммутации в Пулково так и остался в единственном экземпляре (проработал около 20 лет), а комплекс «Связь-1» «Красная заря» освоила в серийном производстве без авторского сопровождения.

Приобретенный задел получил развитие также в микропроцессорах и микро-ЭВМ.

Микропроцессоры

В ходе создания описанных выше и еще нескольких менее значимых систем была отработана магистрально-модульная микропрограммируемая архитектура «Электроника НЦ» для вычислительных средств мини-класса. После некоторой доработки по результатам изготовления и применения созданных изделий, она стала основой для построения зеленоградских микропроцессоров и микро-ЭВМ.

В основу разработки была положена идея создания асинхронных микропроцессорных секций, из которых, как из кубиков, можно строить различные микро-ЭВМ и микросистемы.

Главный принцип архитектуры был сформулирован и назван «принципом 3М» (или МММ) — «магистральность, микропрограммируемость, модульность»: тогда это было новое слово в микроэлектронике¹⁶.

В рамках проекта разрабатывались не только микропроцессорные БИС, но и вся совокупность средств для их создания. Проектирование велось на наивысшем для того времени уровне. Фактически были заложены основы Систем автоматизированного проектирования БИС (САПР БИС) на ЭВМ. Однако наиболее трудоемкая операция — топологическое проектирование, — выполнялась тогда еще вручную. В ходе выполнения разработки складывался творческий коллектив единомышленников, проработавший впоследствии многие годы.

Руководство НЦ также живо интересовалось проблемой создания отечественных микропроцессоров. В 1974 году была создана рабочая группа из ведущих специалистов предприятий Зеленограда, которая подключилась к работам, выполняемым в СВЦ.

Как только окончательно определились с основами архитектуры микропроцессоров, приказом НЦ от 06.09.1974 года № 656 была открыта комплексная опытно-конструкторская работа (ОКР) «Микропроцессор», объявленная особо важной. При этом архитектуру, структуру и схемотехнику БИС разрабатывали специалисты СВЦ, топологию они разрабатывали совместно с НИИТТ, технологию создавали в НИИТТ, а производство организовывал «Ангстрем».



Микропроцессорный комплект серии (К)587

В окончательном варианте состав комплекта выглядел следующим образом.

- БИС АУ, К587ИК2 — 4-разрядная секция арифметического устройства для построения операционных блоков ЭВМ с разрядностью

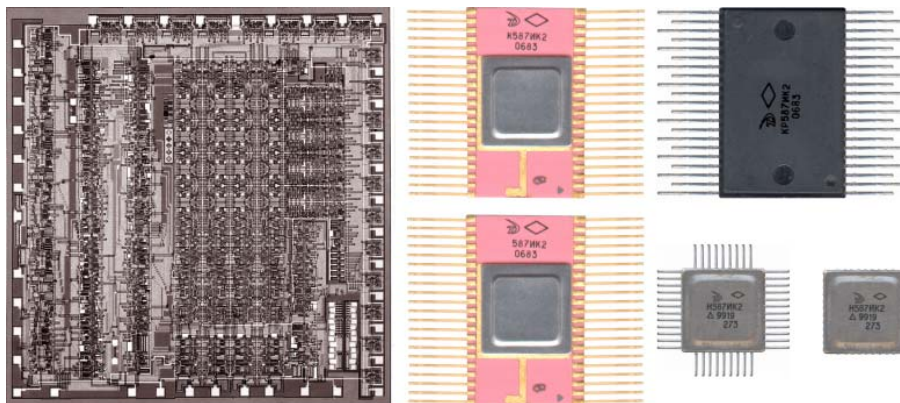
¹⁶ О применении принципа «3М» в те же годы в архитектурных разработках Казанского завода ЭВМ см. очерк «Казанское производственное объединение вычислительных систем». — Прим. сост.

обрабатываемых данных, кратной 4-м битам. Кристалл размером $4,9 \times 4,8$ мм содержал 2543 транзистора.

- БИС АР, К587ИК3 — 8-разрядная секция арифметического расширителя для построения арифметических сопроцессоров с разрядностью данных, кратной 8-ми битам, аппаратно выполняющих операции умножения, деления и др. Кристалл размером $4,9 \times 4,5$ мм содержал 3934 транзистора.
- БИС ОИ, К587ИК1 — 8-разрядная секция обмена информацией для построения блоков внутреннего и внешнего обмена в ЭВМ и иных устройствах. Кристалл размером $5,3 \times 5,9$ мм содержал 3500 транзисторов.
- БИС УП, К587РП1 — секция управляющей памяти для построения блоков микропрограммного управления ЭВМ и иных устройств. Кристалл размером $5,0 \times 4,6$ мм содержал 5500 транзисторов.
- БИС ОЗУ К564РУ2 емкостью 256 бит и К565РУ1 емкостью 4096 бит формально в комплект не включались, поскольку это были стандартные схемы памяти.

Ряд технических решений, реализованных в не имевших зарубежных аналогов БИС комплекта К587, были признаны изобретениями с вручением авторских свидетельств СССР и запатентованы в США, Великобритании и ГДР.

Комплект имел четыре модификации, отличающиеся корпусами и стойкостью к внешним воздействиям (см. фото) и обеспечивал возможность построения самых разнообразных устройств обработки данных, с разрядностью, кратной 4-м битам: микроконтроллеров, микроЭВМ, мини-ЭВМ, многопроцессорных и многомашинных систем и много другого.



Топология кристалла арифметического устройства 587ИК2 и варианты конструктивного исполнения БИС

Это был один из первых в стране микропроцессорных комплектов, созданный специалистами СВЦ и НИИТТ (В. Л. Дшхунян, П. Р. Машевич, В. В. Теленков, Ю. И. Борщенко, В. Р. Науменков, И. А. Бурмистров и др.). Он нашел широкое применение и до сих пор работает во многих системах, особенно в военной технике.

Всего микропроцессорная архитектура «Электроника НЦ» была положена в основу четырех микропроцессорных комплектов на основных для тех времен микроэлектронных технологиях:

- высокопороговый (9-вольтовый) КМОП: серия К587, СВЦ, НИИТТ и Ангстрем;
- низкороговый (5-вольтовый) КМОП: серия К588, СВЦ, НИИТТ и НПО «Интеграл»;
- ТТЛШ/ЭСЛ: серия К1802, СВЦ, НИИТТ, НИИ МЭ и «Микрон»;
- *n*-МОП: серия К1883 (в ГДР — U-83), СВЦ, НИИТТ и «Роботрон» (ГДР).

Все эти серии представляли собой секционированные микропроцессорные комплекты с однотипной архитектурой открытого типа, позволяющей строить на них разнообразные микроЭВМ и системы в довольно широком спектре архитектур и характеристик.

Семейство микроЭВМ «Электроника НЦ»

Все фирмы, создающие микропроцессоры, одновременно разрабатывают и микроЭВМ или микросистемы на их основе. Это вынужденная мера по двум причинам. Во-первых, это позволяет лучше, на реальном применении отработать сам микропроцессор, доказать его работоспособность. Во-вторых, так создается первичный рынок микропроцессоров, закрывающий естественный пробел между началом производства и потребления микропроцессоров — потребителю нужно время для разработки и освоения производства своего изделия.

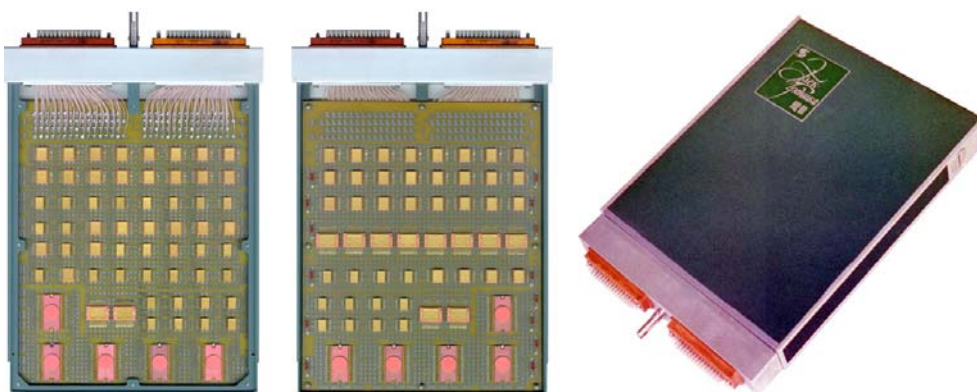
Так же поступали и в Зеленограде. В СВЦ (в 1976 году его коллектив был переведен в НИИТТ) в ходе дальнейшей отработки архитектуры «Электроника НЦ» была разработана оригинальная архитектура микроЭВМ, воплотившая лучшие идеи того времени. В частности в системной магистрали были использованы развитые технические решения шины Unibus машин американской фирмы Digital Equipment Corp. (DEC), как наиболее удачной и уже имеющей отечественный аналог ОШ (общая шина) в мини-ЭВМ ПО «Электроника» (Воронеж) и ИНЭУМ Минприбора, повторявших модели ЭВМ фирмы DEC.

Для автоматизации проектирования и отладки программного обеспечения была создана соответствующая кроссистема на ЭВМ БЭСМ-6 и ЕС ЭВМ,

позволяющая быстро и на высоком техническом уровне разрабатывать программное обеспечение микроЭВМ.

МикроЭВМ «Электроника НЦ-01» и «Электроника НЦ-02»

В СВЦ на основе комплекта серии K587 были разработаны и изготовлены два экспериментальных образца одноплатной 16-разрядной микроЭВМ «Электроника НЦ-01» с быстродействием 250 тыс. операций в секунду, ОЗУ емкостью 1 кбайт и двумя параллельными программируемыми портами ввода-вывода данных. НЦ-01 была первой попыткой разработки и изготовления принципиально нового тогда продукта — микроЭВМ. Их и сделали-то всего два образца, что бы самим понять, что это такое, а, главное, в реальных условиях проверить работоспособность БИС микропроцессора серии 587.

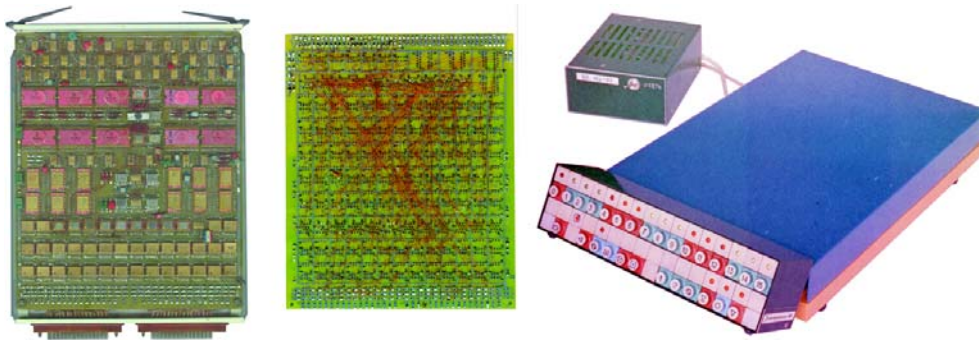


Одноплатная микро-ЭВМ Электроника НЦ-01

На НЦ-01 была доказана работоспособность микропроцессорного комплекта серии 587 и получен первый опыт разработки изделий на его основе. Следующим шагом была задача разработки и выпуска экспериментальной партии управляющей микроЭВМ «Электроника НЦ-02» для реального применения.

Это была трехмагистральная, асинхронная, с отдельными магистралями ОЗУ и внешних устройств, двухплатная 16-разрядная ЭВМ в компактном корпусе с подвижным пультом управления. В качестве платы процессора была использована НЦ-01, переработанная по результатам испытаний. На второй плате размещалась полупроводниковая память.

В 1976 году опытным заводом «Логика» при СВЦ было изготовлено 5 экземпляров НЦ-02, а в 1977 году «Ангстремом» еще 35. Все они были применены НИИТМ в разрабатываемом технологическом оборудовании.



МикроЭВМ «Электроника НЦ-02» — плата, «струнный» монтаж и ЭВМ в сборе



Ручное устройство ввода информации с перфокарты

Появление микроЭВМ еще более обострило проблему периферийных устройств, с которой СВЦ столкнулся уже в обеспечении НЦ-1. Фактически периферийных устройств, соответствующих микроЭВМ по габаритам, массе и стоимости не было даже в задумках. Программы и данные для НЦ-01 и НЦ-02 готовились на кроссредствах на больших ЭВМ и выдавались ими в виде перфоленты или перфокарты. Но ввести эту информацию в микроЭВМ было нечем — не ставить же рядом с микроЭВМ шкаф перфокарточного или большой блок перфоленточного устройства?

Пришлось придумывать упрощенные варианты, и они были разработаны и изготовлены. Так, из устройства перфокарточного ввода выбросили все, кроме фотосчитывателей перфорационных отверстий с простейшим

интерфейсом для подключения к ЭВМ и канала для ручного протягивания перфоленты или перфокарты (см. фото). Для вывода информации на печать с целью документирования результатов в СВЦ еще в 1973 году была начата разработка струйного принтера.

В результате обработки микроЭВМ НЦ-01 и НЦ-02 была разработана архитектура семейства базовых программно- и аппаратно-совместимых микроЭВМ «Электроника НЦ». Она включила все лучшее, что на тот момент в мире было известно, гармонично сочетая заимствованные и собственные идеи. Архитектура изначально была ориентирована на создание ряда программно-совместимых «снизу вверх» моделей с возрастающей вычислительной мощностью. Системы команд младших моделей были подмножествами систем команд старших, была заложена возможность дальнейшего развития системы команд. Впоследствии описание системы команд НЦ было оформлено в виде стандарта предприятия СТП ЦИИ7.1.2-78 «Система микропроцессорных средств вычислительной техники. Программное обеспечение. Система команд семейства микро-ЭВМ „Электроника НЦ“».

Базовые модели строились по модульному принципу на основе единой магистрали, являющейся расширением магистрали ОШ («общая шина») — советского аналога шины Unibus мини-ЭВМ PDP-11. В отличие от принципиально однопроцессорной ОШ/Unibus, магистраль НЦ обеспечивала возможность построения многопроцессорных систем (до 4-х процессоров) и контроля адресов и данных по четности, что не мешало совместимости с периферийными устройствами СМ ЭВМ.

Первое поколение микроЭВМ на основе архитектуры «Электроника-НЦ»

На основе архитектуры НЦ были разработаны три базовые модели микроЭВМ НЦ-03Т (главный конструктор — Д. И. Юдицкий, после его ухода — Ю. Е. Чичерин), НЦ-04Т (главный конструктор — Н. М. Воробьев) и НЦ-05Т (главный конструктор — М. Д. Корнев). В разработке архитектуры активное участие принимали: Д. И. Юдицкий, Н. М. Воробьев, М. Д. Корнев, А. А. Попов, Н. А. Смирнов, М. М. Хохлов, В. А. Савельичев, С. Г. Догаев, Ю. М. Сокол, П. Н. Казанцев, Ж. Мамаев, Н. С. Буслаева и др. ЭВМ строились по модульному принципу на основе магистрали НЦ. Базовый блок типоразмера 5U «Евромеханики» содержал блок питания и 18 мест для одноплатных модулей.



МикроЭВМ «Электроника НЦ-03Т», «Электроника НЦ 03Д» и «Электроника НЦ 03С»

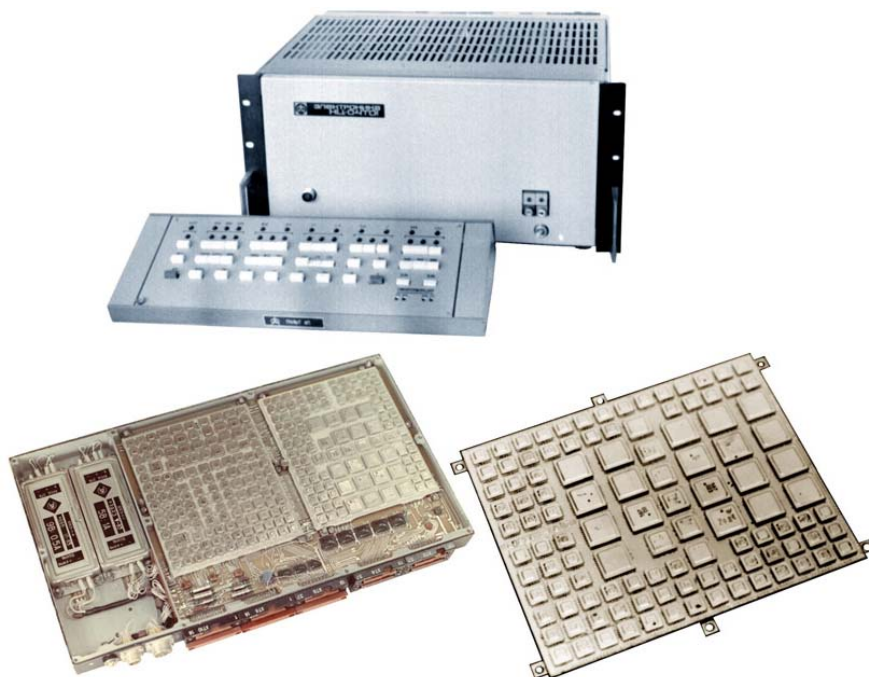
Параллельно с развитием технических средств микроЭВМ создавалось и базовое программное обеспечение, аттестованное на НЦ-03, включающее в том числе:

- две модульные перфоленточные операционные системы ПОС-01 и ПОС-02;
- кросс-систему программирования на универсальных ЭВМ типа БЭСМ-6 и ЕС ЭВМ;
- резидентную систему программирования, позволяющую произвести полный цикл разработки программ непосредственно на микроЭВМ до полностью отлаженной программы;
- библиотеку стандартных программ.

Системы программирования включали ассемблер «БАСС», редактор текста и диалоговую систему отладки. Разработанное программное обеспечение обеспечивало оптимизацию использования ЭВМ, максимальное по тому времени удобство пользователя, легкую адаптацию к различным областям применения. Программное обеспечение НЦ-03Т было дополнено дисковой операционной системой (уже появились первые 8-дюймовые флоппи-диски).

Разных моделей НЦ-03 «Ангстремом» было выпущено 2683 комплекта.

В рамках первого поколения архитектуры «Электроника НЦ», кроме «Электроники НЦ-3Т», в течение 1976–81 годов были выпущены микроЭВМ «Электроника НЦ-04Т», «Электроника НЦ-05Т» и их модификации.



МикроЭВМ «Электроника НЦ-04Т» и «Электроника НЦ-04У»

В 1977 году НИИТТ начал разработки бортовой авиакосмической аппаратуры, сперва по заказу ПО «Радиоприбор» (Минобщемаш). Комплекс состоял из бортового варианта НЦ-04 — НЦ-04У (И-04 в обозначении заказчика), блока памяти И-08 и системного программного обеспечения, предназначался он для системы спутниковой навигации, предшественника ГЛОНАСС. В каждом спутнике устанавливалось 3 комплекта. Планировался запуск 24 спутников.

Для реализации проекта впервые в стране были разработаны принципиально новые корпуса БИС (микрокорпуса, МПК серии Н587), многослойные керамические платы и технология поверхностного монтажа микрокорпусов и иных элементов на эти платы. Только через несколько месяцев по завершении разработки появилась информация о реализации подобных новых технических решений за границей.

Комплекс в установленные сроки был разработан, освоен в производстве на «Ангстреме» и поставлялся заказчику. Начался запуск спутников. К сожалению, данный проект системы спутниковой навигации оказался неудачным, производство спутников было прекращено.

«Электроника НЦ-05Т» планировалась как старшая модель первой очереди ряда НЦ и должна была обладать существенно более высокой производительностью, не достижимой тогда на основе КМОП БИС. Для нее совместно с НИИМЭ был разработан секционированный ТТЛШ микропроцессорный комплект серии К1802 (изготовитель завод «Микрон»). Комплект состоял из шести 8/16-разрядных БИС, не имевших зарубежных аналогов. НЦ-05Т отличалось от НЦ-03 и НЦ-04 аппаратной реализацией умножения и деления, плавающей запятой в 32-разрядном формате слов, работой в математическом пространстве адресов, защитой памяти и др. Быстродействие — 1,2 млн операций в секунду.

На основе микропроцессоров первого поколения был также разработан и освоен в производстве ряд специализированных систем, например:



СЧПУ НЦ-31 и её установка в станки

Электроника НЦ-31. В 1980 г. НИИТТ получил задание министра на воспроизводство системы числового программного управления (СЧПУ) фирмы Fanuc. Специалисты НИИТТ, обученные в СВЦ самостоятельному проектированию, предложили сделать функциональный аналог на основе архитектуры НЦ, МПК серии К588 и базовых матричных кристаллов (БМК) КР1801ВП1. Министр согласился (не требовалась разработка БИС, примененных в Fanuc), но потребовал полного внешнего соответствия аналогу. В результате была создана СЧПУ «Электроника НЦ-31» (см. рис).

По совокупности параметров НЦ-31 не уступала лучшим зарубежным образцам того времени.

Серийное производство НЦ-31 было начато в 1980 г. на Ангстреме, а затем передано на заводы «Квант» (Зеленоград) и «Диффузион» (Смоленск). Только Ангстрем и Квант выпустили 3736 комплектов НЦ-31. Станки с НЦ-31 работают до сих пор.

Электроника НЦ-32. Поскольку ЦКС «Юрюзань» в Пулково хорошо работал, в 1978 г. МГА и Министерство связи заказали НИИТТ разработку многофункционального концентратора телеграфных каналов (МКТК). К концу 1980 г. такой МКТК «Электроника НЦ-32» был разработан.



Стойка МКТК «Электроника НЦ-32» и его абонентский пункт

НЦ-32 был построен на основе микро-ЭВМ НЦ-04Т, а входящий в его состав абонентский пункт — на основе НЦ-03С. Было разработано базовое и специальное ПО. НЦ-32 обрабатывал до 32 телеграфных каналов со скоростью 50, 100 и 200 бод.

Первый комплект НЦ-32 был поставлен на Центральном телеграфе в Москве, где заменил 300 операторов и окупился за 9 месяцев. НЦ-32 были оснащены все (около 200) республиканские и областные телеграфы СССР, многие аэропорты. Дальнейшее серийное производство НЦ-32 было передано на Черкасский завод телеграфной аппаратуры.

Электроника «Тонус НЦ-01». В 1980 году в НИИТТ на основе МПК K587 и архитектуры НЦ разработан портативный медицинский комплекс «Электроника Тонус НЦ-01». Его назначение — автоматическая оценка работоспособности, нервно-психической активности и прогноза эффективности профессиональной деятельности оператора (летчика, водителя, космонавта, спортсмена, диспетчера и т. п.). Была изготовлена опытная партия «Тонус НЦ-01», 15 комплектов которой прошли опытную эксплуатацию в различных медицинских исследовательских центрах. Всего их в разных модификациях было выпущено около 125 «Тонусов». Но в 1982 году работы по медицинской тематике в НИИТТ были прекращены, а разработчики переведены на бортовую тематику.



Психодиагностический комплекс Тонус НЦ-01

Это основные примеры прикладных систем, созданных коллективом СВЦ-НИИТТ на основе микропроцессорных комплектов, разработанных под руководством Д.И. Юдицкого. Их можно отнести к первому поколению зеленоградских микропроцессоров и систем на их основе с архитектурой типа НЦ.

Переход к архитектуре фирмы DEC

В это время руководством МЭП было принято директивное решение, весьма неоднозначно воспринятое в отрасли (специалистами в вычислительной технике — в основном негативно). Было запрещено дальнейшее развитие оригинальных архитектур ЭВМ (а их было две: НЦ в Зеленограде и С5 в Ленинграде) и приказано дальнейшие разработки вести в архитектурах PDP-

11 и VAX-11 американской фирмы DEC. То, что архитектура ПЦ на 7 лет моложе архитектуры PDP-11 и более прогрессивна, учтено не было.

Levin A. P.

Перевод письма
фирмы "ДЭК"

Г-ну Щербине,
Президенту В/О "Электроноргтехника"
121200, г. Москва, Г-200,
Смоленская пл., 32/34

Уважаемый господин Щербина!

Нами изучены рекламные материалы на УВК СМ-3, СМ-4, "Электроника-60", "Электроника100-25", распространяемые в Финляндии.

В частности, из данных материалов, мы поняли, что Ваши компьютеры совместимы по интерфейсу и математическому обеспечению с различными моделями производства "Диджитал Эквипмент Корп.", семейства ПДП-11.

Этим письмом считаем необходимым информировать Вас, что компьютеры семейства ПДП-11 защищены патентами, которые действуют во многих странах мира, включая несколько европейских стран.

Все патенты находятся под нашей защитой и лицензией на пользование патентами не передаются другим организациям. Мы не видим возможности, используя которую Вы могли бы избежать нарушение патента при продаже Ваших компьютеров, совместимых по интерфейсу и математическому обеспечению с ПДП-11.

В дополнение к юридическим аспектам данного вопроса мы должны заявить, что "ДЭК" рассматривает копирование продукции других организаций несовместимыми с международной коммерческой этикой.

В виду вышесказанного, мы категорически возражаем против распространения Ваших компьютеров СМ-3, СМ-4, "Электроника-60", "Электроника100-25".

Мы уверены, что Вы сможете оценить объем технологии, использованной при производстве ПДП-11, и то, что на разработку этой технологии мы затратили значительные средства. Мы уверены, что Вы правильно поймете нашу позицию в данном вопросе и откажитесь от распространения этих компьютеров.

С уважением,
"Диджитал Эквипмент Корпорейшн"

Копия: "Элорг-Дата" Томас С. Сикман

Перевод письма от фирмы DEC во внешнеторговую организацию «Электроноргтехника»

В СССР закона об интеллектуальной собственности не было, считалось, что все, что люди изобретают и разрабатывают, они делают в рабочее время за

зарплату. Патентов тоже не было, были авторские свидетельства, закрепляющие авторство за человеком, что приравнивалось к публикации в научном журнале, без каких-либо прав на изобретение. Поэтому в СССР воспроизводство чужих разработок (и отечественных, и зарубежных) не считалось предосудительным. За рубежом были иные порядки, и, естественно, фирма DEC не могла не отреагировать на такое поведение Минприбора и МЭП. Однако, единственное, что она смогла предпринять — «погрозить пальчиком» в виде письма в советскую внешнеторговую организацию «Электроноргтехника». Перевод письма «Электроноргтехника» разослала в ведомства.

Автору неизвестно, ответила ли «Электроноргтехника» фирме DEC, но в стране это письмо никаких последствий, кроме разговоров в «курилках», не имело.

Согласно решению о запрете оригинальных архитектур к сентябрю 1984 года разработка микроЭВМ "Электроника НЦ-05Т" в архитектуре НЦ (изготовлено 5 образцов) была остановлена и перепроектирована в архитектуре PDP-11/34. Позже эта ЭВМ была переименована в НЦ-05Д (где «Д» - от DEC). В МЭП эта ЭВМ серийно не выпускалась, но, разработанная по заказу и с участием НИИ «Агат», широко применялась в специальном конструктиве в военно-морских системах.

Производство ранее разработанных ЭВМ с архитектурами НЦ и С5 продолжалось, но в МЭП они более не применялись.

Второе поколение микропроцессорных средств с архитектурой НЦ

Первое поколение созданных в СВЦ микропроцессоров имело секционную структуру. Второе поколение, используя новые достижения микроэлектронной технологии, развивалось в НИИТТ, поглотившем в 1976 году коллектив разработчиков СВЦ. Оно отличалось однокристальностью функциональных модулей со встроенной системной магистралью МПИ (о ней далее) — микропроцессоров, микроконтроллеров, модулей памяти и т. п.

В 1979 году в НИИТТ разработана вышеупомянутая *n*-МОП однокристальная ЭВМ (ОЭВМ, в нынешней терминологии — микроконтроллер) еще с архитектурой НЦ — К1801BE1. Это была 16-разрядная ОЭВМ с возможностью обработки 1-, 8-, 16- и 32-разрядных данных. Адресуемое пространство 64 К слов (128 кбайт), резидентные (в кристалле) ОЗУ — 128×16 бит, ПЗУ — 1024К×16 бит, таймеры, порты ввода-вывода и выход на магистраль. Система команд НЦ-03.

Из-за ограниченности числа выводов в БИС был применен вариант магистрали НЦ с совмещенными шинами адреса и данных. Для периферийных устройств она полностью соответствовала шине Q-BUS фирмы DEC, но отличалась мультипроцессорностью (до четырех микропроцессоров). Шина получила название «Магистральный параллельный интерфейс» (МПИ) и узаконена стандартами ОСТ 11.305.903-80 и ГОСТ 26765.51-86.

В 1979 году в рамках разработки ОЭВМ К1801BE1, были сделаны действующие образцы одноплатной ЭВМ «Электроника НЦ-8001» и персонального компьютера «Электроника НЦ-8010».

В начале 1981 года была закончена ОКР по разработке серийной НЦ-8001. ЭВМ могла обрабатывать 1-, 8-, 16- и 32-разрядные данные с быстродействием до 500 тыс. операций в секунду. «Электроника НЦ-8001» имела ОЗУ и ПЗУ по 32 кбайт, 16-разрядный таймер, 32 программируемых линии ввода-вывода, порты для дисплея и печатающего устройства. ЭВМ выполнена на типовой для микроЭВМ типа НЦ печатной плате размером 180×300 мм с разъемами с двух сторон, на один выведена шина МПИ, на другой — внешние порты.



Электроника НЦ-8010

Программно совместимая с НЦ-03Т «Электроника НЦ-8010» представляла собой бытовую персональную ЭВМ. Тогда это называлось «инженерная микроЭВМ индивидуального пользования», термин ПК еще не родился. НЦ-8010 была первым в стране персональным компьютером, причем построенным полностью на отечественных микросхемах с отечественной архитектурой, программно совместимый с отечественным семейством микроЭВМ «Электроника НЦ». Конструктивно он был выполнен в виде увеличенной по высоте стандартной клавиатуры. Это была двухмагистральная двухпроцессорная (два К1801BE1) ЭВМ с адресуемой памятью 256К байт и комплектуемой оперативной памятью 64К байт. Второй процессор управлял работой дисплея (25×64 символа или 512×256 точек) на основе бытового телевизора. Внешнее ЗУ было построено на компакт-кассете бытового магнитофона со скоростью обмена 250 бит/с. Кроме того, в ЭВМ

имелось сменное ПЗУ емкостью 32 кбайт. Позже такие компьютеры получили названия «home computer» — домашний (бытовой) компьютер.

ОЭВМ K1801BM1, как и ленинградская K586BM1, не нашла своего потребителя — отечественные создатели электронных систем оказались не готовыми к применению микроконтроллеров, тем более 16-разрядных — они и в мире только-только появлялись, и K1801BE1, как мы уже отмечали выше, была лучшей из известных тогда 16-разрядных ОЭВМ. Да и за рубежом тогда применялись лишь 4- и 8-разрядные микроконтроллеры. Возможно, это и испугало отечественных потребителей, привыкших в основном доверять проверенным на западе новшества. Поэтому было принято решение сделать на основе K1801BE1 однокристалльный микропроцессор.

На этом развитие микропроцессорной техники в Зеленограде на основе архитектуры НЦ — детища Д. И. Юдицкого, — завершилось. Суммарный объем их производства (см. таблицу) — около 10 тыс. комплектов, что по тем временам в стране было огромной цифрой. Большинство изделий были освоены в серийном производстве и широко применялись в стране, но не в МЭП.

Объем производства микроЭВМ с архитектурой НЦ

Тип ЭВМ	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	Итого
НЦ-01, -02, -02М	2	3	88	35	—	—	—	—	—	—	—	—	128
НЦ-03Т, -03Д, -03С	—	—	25	243	428	563	648	229	210	195	140	68	2749
НЦ-31	—	—	—	—	—	—	336	650	750	680	760	560	3736
НЦ-32	—	—	—	—	—	—	15	20	30	100	300	280	745
НЦ-04Т, -04У, -04М	—	—	—	—	—	—	104	192	624	448	794	—	2162
НЦ-05Т	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	5
НЦ-Тонус	—	—	—	—	—	—	15	50	60	—	—	—	125
НЦ-8001	—	—	—	—	—	5	50	70	90	20	—	—	235
НЦ-8010-1, -2, -3	—	—	—	—	—	5	5	20	—	—	—	—	30
НЦ-8020	—	—	—	—	—	—	—	20	50	—	—	—	70
Итого:	2	3	113	278	428	573	1178	1251	1814	1443	1994	908	9985

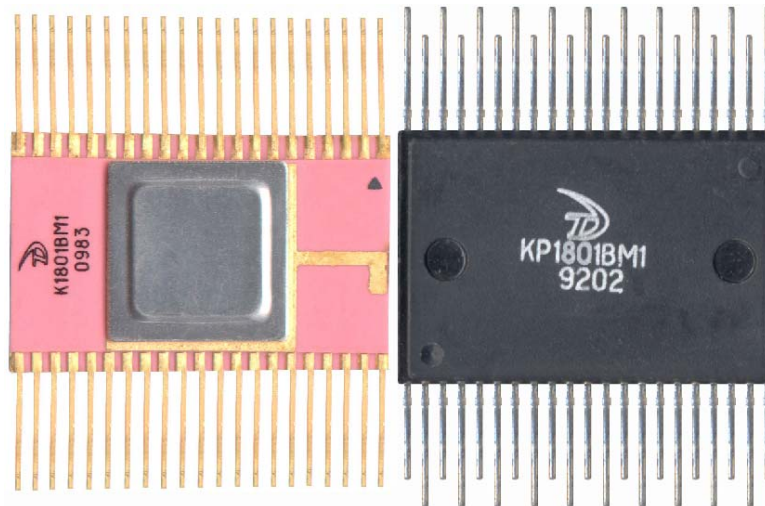
Второе поколение микропроцессорных средств с архитектурой DEC

16-разрядные PDP-11-совместимые микропроцессоры

В НИИТТ было разработано три типа 16-разрядных микропроцессоров и 1 тип сопроцессора: VM1, VM2, VM3 и VM4 в сериях 1801, 1806, 1836 и 1013. Вопреки распространённому мнению они не были ни прямыми, ни косвенными аналогами БИС микропроцессоров фирмы DEC. Все они были однокристальными (у DEC — многокристальными) и имели встроенную системную магистраль МПИ, отличающуюся мультипроцессорностью (до 4-х процессоров) от Q-bus и Q-bus-22 фирмы DEC. Микропроцессоры имели совершенно другие структурные, схемотехнические и топологические решения. В чем-то сначала получались несоответствия, по выявлению устраняемые. Конструктивно, для разных условий эксплуатации микропроцессоры и периферийные БИС для них выполнялись в различных корпусах с соответствующей вариацией в обозначениях БИС.

Микропроцессоры типа VM1

В 1981 г. на основе ОЭВМ К1801BE1 сделали однокристальный процессор — К1801VM1. С целью расширения области его применения в нем была заложена возможность реализации системы команд либо ИЦ, либо PDP-11.

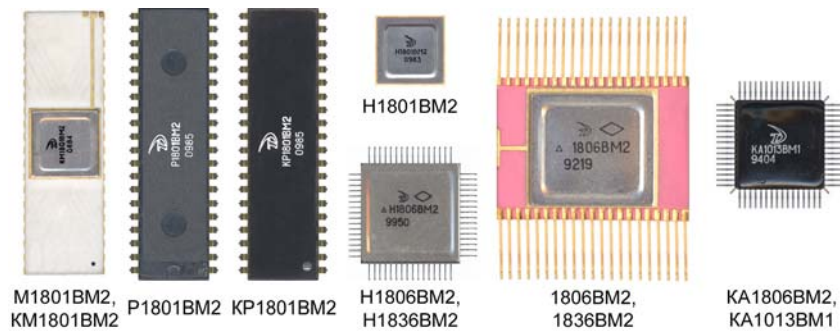


Микропроцессоры типа 1801VM1

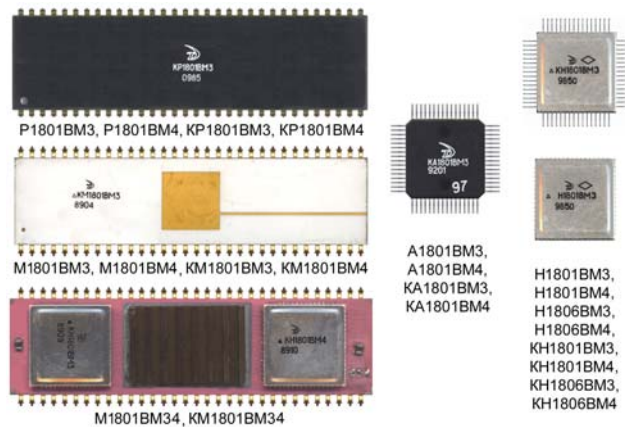
Первая партия микропроцессора VM1 была выпущена с СК НЦ (190 команд), вскоре запрещённой. Далее VM1 выпускался только с СК микро-ЭВМ LSI-11 и «Электроника 60» (64 команды).

Микропроцессоры типа VM2

В 1982 года в НИИТТ был разработан второй микропроцессор K1801VM2. От VM1 он отличался расширенной системой команд (72 команды), дополненной командами умножения, деления и арифметики с плавающей запятой. СК VM2 была полностью совместима с СК микро-ЭВМ LSI-11/2 и «Электроника 60M». Для повышения быстродействия в VM2 был реализован отсутствующий в аналогах конвейер, обрабатывающий одновременно три последовательные команды. Позже были разработаны КМОП варианты микропроцессора — 1806VM2, H1806VM2 1836VM2 и H1836VM2 для различных видов монтажа и условий эксплуатации, а так же специальный вариант для карманной ПЭВМ «Электроника МК-85» — KA1013VM1.



Микропроцессоры типа VM2



Микропроцессоры типа VM3 и VM4

В июне 1983 года в НИИТТ разработан третий МП — К1801ВМ3.

Главное его отличие от ВМ1 и ВМ2 — наличие диспетчера памяти с физическим адресом в 22 бит и адресным пространством до 4М байт. Было применено ряд новых структурных и схемотехнических решений для повышения производительности процессора. Например, введение быстрой магистрали ОЗУ, узла для предварительного разбора команд, распараллеливания процесса выполнения команд (конвейер), порт для арифметического сопроцессора с плавающей запятой (позже созданного — К1801ВМ4) и многое другое. ВМ3 обрабатывал 8-, 16- и 32-разрядные данные, с производительностью 1,5 млн. оп/с. МП имел 8 РОН и 4 линии запросов на прерывания.

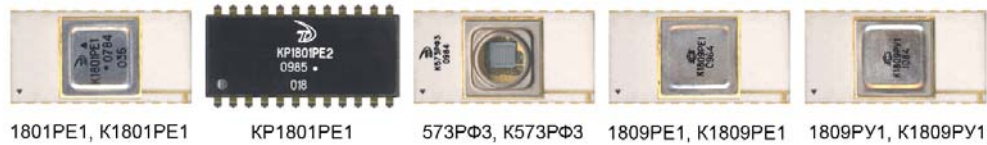
СК ВМ3 была полностью совместима с СК микро-ЭВМ LSI-11/73 и «Электроника 60-1». Она включала все команды МП ВМ1 и ВМ2. Кроме того реализованы команды расширенной 32-разрядной арифметики. С сопроцессором К1801ВМ4 выполняются команды 32-разрядной арифметики с плавающей запятой. Расширены возможности модификаций команд, общее число доступных пользователю команд превысило 400.

Была разработана также сборка 1801ВМ34 процессора ВМ3 и сопроцессора ВМ4 в виде такого же корпуса типа ДИП.

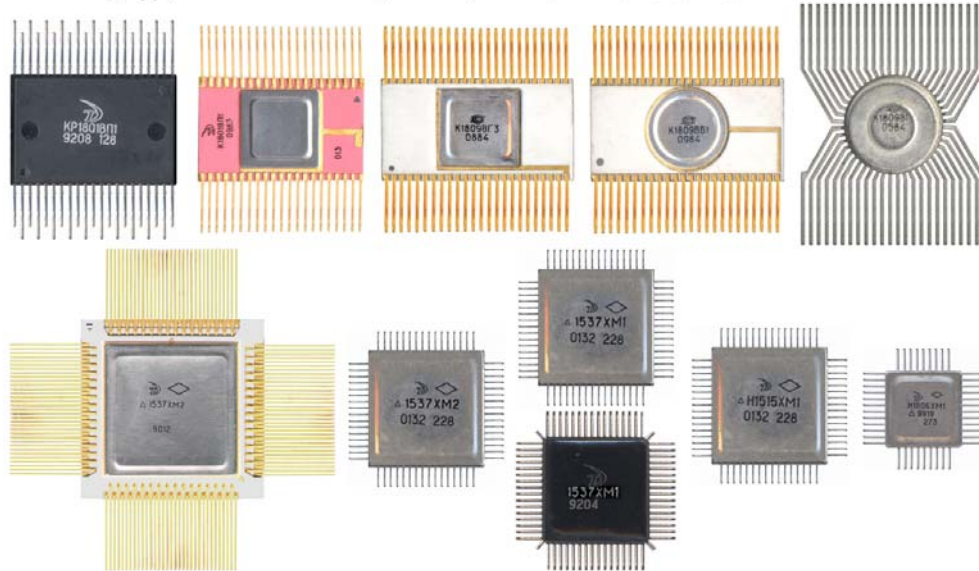
Комплект однокристалльных модулей

МП серий 1801/1806 стали ядром огромного комплекта однокристалльных функциональных модулей со встроенной системной магистралью МПИ. Массово производились БИС однокристалльных ОЗУ 1К×16 бит (К1809РУ1), ПЗУ 4К×16 (К1801РЕ1 и К1809РЕ1), УФРПЗУ 4К×16 (К573РФ3). В НИИТТ, НИИ НЦ, Светлане и многими другими предприятиями в виде полузаказных БИС на основе БМК 1801ВП1 (n-МОП), 1806ХМ1, 1515ХМ1, 1537ХМ1 и 1537ХМ2 (КМОП) было разработано огромное количество унифицированных и специальных периферийных функциональных модулей (рис. 27). Эти БИС в различных исполнениях производились «Ангстремом» (n-МОП и КМОП), «Светланой» (n-МОП, серия К1809) и даже в Венгрии. Номенклатура таких модулей превышала 500 типов. Функциональная полнота модулей и встроенный МПИ предельно упрощали построение различных систем, обеспечивали их высокие характеристики. В результате микропроцессорный комплект 1801/1806/1836 стал наиболее популярным и массовым в стране.

Запоминающие устройства с системной шиной МПИ



Однокристалльные микроконтроллеры с системной шиной МПИ



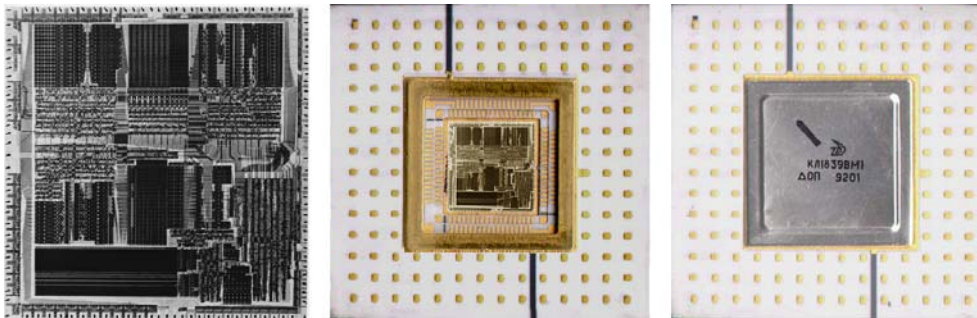
Однокристалльные модули 3У и микроконтроллеров для микропроцессоров типа ВМ1-ВМ3/4

32-разрядный VAX-11-совместимый микропроцессор

В 1985 году НИИТГ приступил к разработке 32-разрядного микропроцессорного комплекта, архитектурно совместимого с ЭВМ VAX-11/750 фирмы DEC.

В начале 1988 г. были освоены в производстве БИС: центрального процессора КЛ1839ВМ1, контроллера динамической памяти КЛ1839ВТ1 и адаптера магистралей КЛ1839ВВ1. В 1990-91 гг. начаты поставки БИС арифметического сопроцессора Л1839ВМ2, контроллера статической памяти Л1839ВТ2, ПЗУ микропрограмм Н1839РЕ1 и мажоритарный (2 из 3) элемент Н1839ВЖ1. Обмен между процессором, сопроцессором и памятью осуществляется по внутренней 32-разрядной магистрали, а связь с периферией - через МПИ, подключаемый к внутренней магистрали через адаптер КЛ1839ВВ1. Комплект 1839 был существенно мощнее ЭВМ микро-

VAX-I и micro-VAX-II — микропроцессорных вариантов ЭВМ VAX-11/750, выпущенных примерно в то же время фирмой DEC. Он позволяет строить ЭВМ, программно совместимые с ЭВМ VAX-11/750, micro-VAX-I и micro-VAX-II ф. DEC, с воронежской «Электроникой-82», а также СМ1700 и СМ1702. БИС обрабатывают 7 типов 8, 16, 32 и 64-разрядных данных с фиксированной и плавающей запятой, имеет 14 методов адресации, 32 уровня прерываний, 16 системных и 16 общего назначения регистров. Адресуемая физическая память 16 Мбайт, виртуальная — 4 Гбайт. Наличие 8-канального мажоритарного элемента обеспечивает возможность построения высоконадёжных троированных¹⁷ ЭВМ и систем. БИС серии 1839 в 2003 году переработаны на новые топологические нормы и также нашли ряд потребителей.



Микропроцессор Л1839ВМ1

Микропроцессоры в Минэлектронпроме

С появлением микропроцессоров в МЭП сформировалось 6 основных центров их развития:

- СВЦ, НИИТТ, НИИМЭ, Зеленоград и ПО «Интеграл», Минск — с оригинальной архитектурой, получившей обозначение «Электроника НЦ»;
- НИИМЭ, Зеленоград — с архитектурой 2-разрядного секционного микропроцессорного комплекта I3000, фирмы Intel, США, (БИС по зарубежным аналогам);
- ЛОЭП «Светлана», Ленинград — с оригинальной архитектурой микропроцессоров и микроконтроллеров, получившей обозначение «Электроника С5»;

¹⁷ Троированный (по аналогии с «дублированный») — термин, означающий аппаратуру, в которой осуществлено троекратное резервирование систем с принятием решения по мажоритарному принципу «2 из 3». — *Прим. сост.*

- ПО «Электроника», Воронеж — с архитектурой мини- и микро-ЭВМ PDP-11 и LSI-11 фирмы DEC, США (БИС и ЭВМ по зарубежным аналогам);
- ПО «Кристалл», Киев — с архитектурой микропроцессоров и микроконтроллеров фирмы Intel, США, (БИС по зарубежным аналогам);
- ПО «Интеграл», Минск — комплект БИС с оригинальной архитектурой, предложенной межведомственной группой во главе с НИЦЭВТ для машин ЕС ЭВМ, на истории создания этого комплекта мы остановимся далее.

Здесь уместно отметить, что зеленоградцы не участвовали в разработках БИС в Ленинграде, Киеве, Воронеже и (кроме серии 588) в Минске.

PDP-11-совместимые 16-разрядные ЭВМ

Одноплатные ЭВМ и модули

К началу 80-х г. магистраль МПИ получила довольно широкое распространение в Минэлектронпроме. Первыми с чистой Q-BUS начало работать ОКБ при заводе «Процессор» воронежского ПО «Электроника». Однако принять конструкцию оригинала воронежцы не могли, т. к. она была выполнена в дюймовых размерах. Пришлось делать её метрический аналог, получивший народное название «корзинка». Его основу составляли одинарная и двойная платы размером 135×240 и 280×240 мм, а так же объединяющий их конструктив (4 ряда по две одинарных или одной двойной плате в каждом, использовался счетверенный блок разъемов). После DEC-переворота на этот же конструктив перешёл НИИТТ.

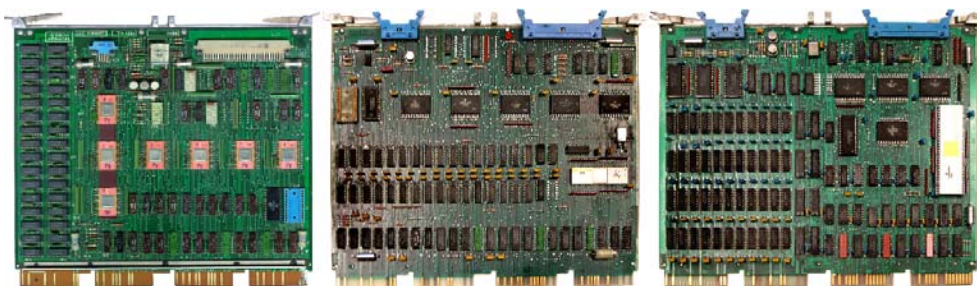


«Корзинки» Электроники-60 и ДВК (справа)

Электроника НЦ-8001Д (МС1201.01¹⁸)

На основе К1801ВМ1, КР565РУ3 и К1801ВП1-xxx на двойной плате в 1981 г. в НИИТТ была разработана одноплатая микро-ЭВМ «Электроника НЦ-8001Д» («Д» — от DEC). В системе МСВТ она имела обозначение НМС 11100.1. Вторая версия ЭВМ с КР565РУ6 — МС 1201.01.

НЦ-8001Д является первым представителем зеленоградских DEC-совместимых микро-ЭВМ. На плате размещались: процессор К1801ВМ1; полная адресуемая память (системное и пользовательское ПЗУ К1801РЕ1 (разъёмы для двух БИС), контроллер ОЗУ К1801ВП1-30 и ОЗУ 56К байт); контроллеры НГМД "Электроника ГМД-70 или ГМД-7012" (оба с 8-дюймовыми дискетами), символьного дисплея 15ИЭ-00-013, интерфейс радиальный параллельный (ИРПР) СМ ЭВМ (для матричного печатающего устройства типа ТПУ ВВП-80-002, DZM-180 или им подобных) и интерфейс радиальный последовательный (ИРПС) СМ ЭВМ. В LSI-11 и Электронике-60 все это выполнялось на отдельных платах. Быстродействие НЦ-80-01Д - 500 тыс. оп/с. Для НЦ-8010Д разработаны и реализованы в ПЗУ версии языков программирования Фокал и Бейсик.



Одноплатаые ЭВМ «Электроника НЦ-8001Д, -ДМ и -ДА»

Электроника НЦ-8001ДМ (МС1202.02)

На основе К1801ВМ2, КР565РУ6 и К1801ВП1-xxx также на двойной плате в марте 1982 году в НИИТТ была разработана одноплатая микро-ЭВМ «Электроника НЦ-8001ДМ» (МС 1201.02). По составу и всем характеристикам она была идентична ЭВМ НЦ-8001Д, за исключением микропроцессора с соответствующим удвоением производительности и

¹⁸ В МЭП действовала своя система обозначения микропроцессорных средств вычислительной техники (МСВТ), аналогичная действовавшим в ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ. МС в ней означало «Микропроцессорные средства», а цифры — вид изделия по своему классификатору. Не все они сохранились в памяти и документах. — *Прим. авт.*

расширением системы команд: МС 1201.02 была совместима с микро-ЭВМ LSI-11/2 и «Электроника 60М».

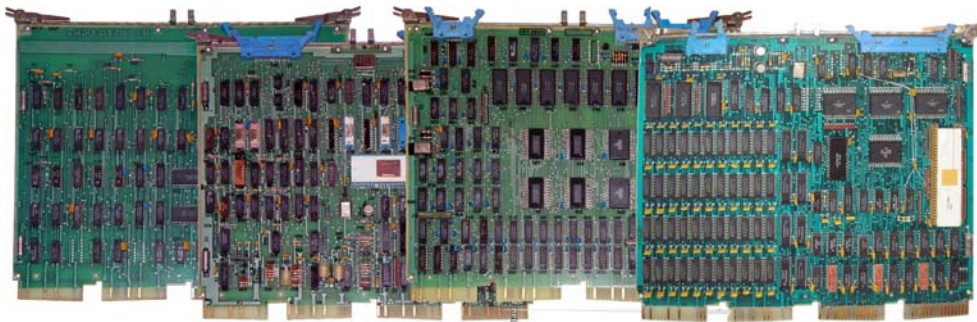
Электроника НЦ-8001ДА (МС1201.03)

На основе К1801ВМ3, КР565РУ6 и К1801ВП1-xxx также на двойной плате в марте 1984 года в НИИТТ была разработана одноплатная микро-ЭВМ «Электроника НЦ-8001ДА» (МС 1201.03). От предшественниц она отличалась типом процессора (со всеми вытекающими последствиями), полной версией МПИ с 22-разрядной адресной шиной и ОЗУ емкостью 4 Мбайт с контролем по Хеммингу. МС 1201.03 была совместима с микро-ЭВМ LSI-11/73 и «Электроника 60-1».

Это только основные одноплатные ЭВМ на основе микропроцессоров серии 1801, их номенклатура была существенно шире. Общие объёмы выпуска одноплатных ЭВМ измерялись десятками тысяч в месяц.

Одноплатные модули

Одноплатные периферийные функциональные модули со встроенной шиной МПИ на одинарной или двойной плате разрабатывались и выпускались в Воронеже, Зеленограде, Ленинграде и других предприятиях, причём не только Минэлектронпрома. Полную номенклатуру периферийных модулей, которая измерялась десятками наименований, восстановить уже невозможно, да, наверное, и ненужно.



Одноплатные модули

В заключение необходимо отметить, что одноплатные ЭВМ и периферийные модули выпускались в течение многих лет периодически совершенствовались, перерабатывались. В связи с этим появлялись их новые модификации либо с тем же наименованием, либо с другим. Объёмы их производства измерялись сотнями тысяч.

Персональные ЭВМ

В НИИТТ зародилось одно из наиболее массовых в стране семейств персональных ЭВМ (ПЭВМ): ДВК/БК/УК-НЦ¹⁹.

Обозначения «ДВК-1», «ДВК-2», «ДВК-3» и «ДВК-4» — это широко распространённые, но не официальные названия ЭВМ, в технической документации они не использовались. Правильнее считать их названиями типов ДВК, т.к. за каждым номером фигурировало по несколько моделей, отличающихся не только комплектацией, но, иногда, и конструктивным исполнением, и параметрами. Под ДВК-1 и ДВК-2 в разных вариантах понимаются ПЭВМ, построенные на основе символьного монохромного дисплея 15ИЭ-00-013, версии ДВК-3 имели монохромный графический дисплей, а все ДВК-4 — цветной графический дисплей. Это основные неизменные отличия, все другие отличия имели временный характер при сохранении тенденции: чем выше номер ДВК (иногда с дополнительными буквами), тем, на данный момент, он мощнее по составу и характеристикам, тем раньше в его состав попадали новые устройства.

ДВК-1 и ДВК-2

В Минэлектронпроме фрязинским заводом им. 50-летия СССР выпускался символьный дисплей 15ИЭ-00-013, состоящий из трёх конструктивных единиц: монитора, клавиатуры и блока электроники, в котором была установлена воронежская «корзинка». В ней использовалось только три ряда. Изменив монтаж на разъёмах блока электроники, вставили в него НЦ-8001Д и получили то, что назвали «диалоговый вычислительный комплекс» (ДВК), на котором работало все ПО «Электроники-60». Термина «персональный компьютер» (ПК) тогда ещё не было: ДВК (и термин) появился весной 1981 года, в рамках разработки НЦ-8001Д, а первый персональный компьютер IBM PC 5150, от которого и пошёл этот термин, вышел в свет чуть позже — в августе 1981 года.

¹⁹ ДВК расшифровывается, как «диалоговый вычислительный комплекс», БК — «бытовой компьютер»; УК в последнем названии означает «учебный класс». — *Прим. сост.*



Дисплей 15Э-00-013 или внешне идентичный с ним ДВК-1

Разработка была окончена в ноябре 1982 года созданием двух вариантов ДВК: ДВК-1 («Электроника НЦ-8020/1») и ДВК-2 («Электроника НЦ-8020/2»). Они отличаются только комплектацией. ДВК-1 — это дисплей 15ИЭ-00-013-1 с изменённым межплатным монтажом, и вставленная в него ЭВМ. ДВК-2 — это ДВК-1 с подключёнными к нему НГМД «Электроника ГМД-70» и термопринтером 15ВВП80-002. Позже применялись и другие типы НГМД и принтера. Но часто требовались и другие модули. Добавили ещё один блок электроники, получился ДВК-2М.



ДВК-2 с 8-дюймовым НГМД и термопринтером и ДВК-2М с 5-дюймовым НГМД и матричным принтером. Производство МЭП

По сути ДВК-1/2 — настоящий 16-разрядный ПК с ОЗУ 56 Кслов и быстродействием до 500 тыс. оп/с. Это было время зарождения ПК, их роль и назначение ещё не были понятны, число их моделей и фирм на рынке росло как снежный ком, никакой совместимости, никакой унификации. На этом фоне ДВК-1 сначала выглядел вполне респектабельно.

Наиболее важным в создании ДВК была постановка программного обеспечения. С самого начала на ДВК были поставлены ОС ДВК и тестовая мониторинговая система ТМОС ДВК. ОС ДВК сгенерирована на основе системы РАФОС СМ ЭВМ и практически совпадает с системой ФОДОС микро-ЭВМ «Электроника-60». Она обеспечивает возможность работы на языках Фортран, Ассемблер и Бейсик. ТМОС ДВК по функциям совпадает с ТМОС «Электроника-60».

За несколько лет ДВК-1/2 были вытеснены с рынка более развитыми моделями — ДВК-3 и ДВК-4. Однако с началом компьютеризации школ о первенцах снова вспомнили, о чем далее.

ДВК-3 и ДВК-4 (МС0507.х и МС0502.х)

Параллельно с ДВК-1/2 проводились активные работы по созданию нового ДВК в специальном конструктиве. В те годы ПК в мире переживали этап максимальной интеграции — стремились все, что возможно поместить в один конструктив. Заболел этой болезнью и В. Г. Колесников²⁰. Унифицированный моноблок ДВК-3 и ДВК-4, после нескольких итераций по доработке, был освоен в серийном производстве и на ряд лет стал базовым для различных вариантов ДВК-3 и ДВК-4.



Варианты унифицированного моноблока ДВК-3 и ДВК-4 (в центре — с встроенным сверху принтером)

²⁰ Владислав Григорьевич Колесников (1925–2015) — министр электронной промышленности СССР с 1985 по 1991 год. — *Прим. сост.*



Серийный вариант моноблока ДВК-3 и ДВК-4

В 1984 году СКБ НЦ было преобразовано в НИИ «Научный центр» с переводом в него всех подразделений НИИГТ, занимающихся разработкой вычислительной техники. В это же время было завершено строительство завода «Квант», в который были переведены цеха «Ангстрема» по производству компьютеров. Таким образом, через 8 лет было воссоздано разрушенное в 1976 года объединение СВЦ с заводом «Логика». Ядро новых предприятий составляли специалисты СВЦ и «Логики», правда, с существенными кадровыми потерями.

В апреле 1984 года была завершена разработка ДВК-3, его первый вариант получил обозначение НМС 01901.1.

В моноблок ДВК-3 устанавливались: монохромный графический видеомонитор; «корзинка» сзади монитора (логический блок), два НГМД-6022 (с 5-дюймовым диском) под видеомонитором, блок питания под корзинкой. Над горловиной видеомонитора было предусмотрено место для разрабатываемого в Ереване встраиваемого термопринтера.

Вскоре выявились недостатки моноблочного конструктива: низкая технологичность сборки, плохой тепловой режим, слабая электромагнитная защищённость, электромагнитная несовместимость устройств. В этом

конструктиве было выпущено немало ДВК, но позже от него отказались. Был разработан металлический горизонтальный системный блок, включающий электронику, блок питания и накопители, а монитор и принтеры имели автономную конструкцию (ДВК-3С и ДВК-4С). К тому же результату пришли и зарубежные производители.



ДВК-3С и ДВК-4С, серийный вариант с системным блоком

ДВК производились более 10 лет, было изготовлено около 230 тыс. различных их моделей. И если в качестве ПЭВМ они со временем были вытеснены IBM-совместимыми ПК, то в различных системах управления они успешно работали ещё многие годы. У них было ценнейшее преимущество перед IBM-совместимыми ПК — защищённая память, исключающая возможность создания вирусов.

Электроника БК-0010

Как мы уже говорили, в 1979 года в рамках темы по разработке ОЭВМ К1801ВЕ1 с архитектурой типа «НЦ» были сделаны действующие образцы ПЭВМ «Электроника НЦ-8010». Далее в НИИТТ был разработан эскизный проект завершённый в мае 1981 года созданием второго варианта ПЭВМ.

Это была двухмагистральная двухпроцессорная (два К1801ВЕ1) ЭВМ с адресуемой памятью 256К байт и комплектуемой оперативной памятью 64К байт. Второй процессор управлял работой дисплея (25×64 символа или 512×256 точек) на основе бытового телевизора. Внешнее ЗУ было построено на бытовом магнитофоне на компакт-кассете со скоростью обмена 250 бит/с.

Кроме того, в ЭВМ имелось сменное ПЗУ ёмкостью 32К байт. Через год, в мае 1982 года была завершён рабочий проект «Электроника НЦ-8010».

Но за полгода до окончания ОКР было принято два директивных решения — о переходе на архитектуру типа PDP-11 и о серийном производстве этой ЭВМ на заводе «Экситон» (г. Павловский Посад Московской обл.). Поэтому уже практически сделанную ЭВМ (вариант 3) пришлось переделывать. К работе подключились специалисты ОКБ завода «Экситон». В результате проект закончился изготовлением четвёртого варианта НЦ-8010. Вариант 4 был уже однопроцессорным (K1801BM1) 16 разрядным ПК с быстродействием до 300 тыс. оп/с, адресное пространство 64К байт, ОЗУ — 16К байт, экранная память — 16К байт (512×256 точек в черно-белом режиме и 256×256 в 4-х цветном), ПЗУ — 32К байт. Внешнее запоминающее устройство (ВЗУ) — бытовой кассетный магнитофон. В том же 1982 году «Экситон» изготовил первые пять ЭВМ.

Окончательный вариант бытового компьютера родился в 1983 году уже на «Экситоне» под названием «Электроника БК-0010». Уже в том же году несколько десятков БК-0010 поступили в продажу в фирменный салон-магазин «Электроника», а с 1984 году завод «Экситон» приступил к её массовому производству, которое продолжалось до 1989 года.

Электроника БК-0010 была первым в стране выпускаемым в массовом производстве бытовым компьютером (в те времена профессиональные персональные компьютеры были весьма дорогими, поэтому во всем мире выпускались более дешёвые бытовые компьютеры с использованием телевизора и магнитофона в качестве периферийных устройств). Это был первый в мире бытовой компьютер с 16-разрядным процессором, к тому же совместимый с профессиональным ДВК. БК-0010 за приемлемые деньги (650 рублей) можно было купить в фирменных салонах-магазинах «Электроника».

Создание первого отечественного бытового компьютера

„Электроника НЦ-8010“, вариант 1, 1979 г.



„Электроника НЦ-8010“, вариант 2, 1980 г.

„Электроника НЦ-8010“, вариант 3, 1981 г.



„Электроника НЦ-8010“, вариант 4, 1982 г.

„Электроника НЦ-8010“, вариант 5, 1983 г.



„Электроника БК-0010“, вариант 6, 1983 г.
Выпущено более 162 000 компьютеров

Этапы создания бытового компьютера «Электроника БК-0010»

В 1990 году была выпущена модель БК-0011 (-0011М) с постраничным ОЗУ ёмкостью 128К байт и контроллером НГМД. При этом пришлось ввести вторую плату и машина стала несколько повыше. БК-0010/0011 пользовался огромным успехом у потребителей, образовывавших различные группы и общества для обмена опытом и программами. В Москве и других городах были клубы, а в 1993–1996 годах выходил журнал «Персональный компьютер БК-0010 – БК-0011М». Проводились ежегодные конкурсы «БК-

мания». И сейчас в интернете имеется масса посвящённых БК-0010 страниц, форумов, музеев.



Обложка журнала «Персональный компьютер БК-0010 – БК-0011М»

Только Экситоном в 1983-1989 гг. было выпущено более 125 000 ЭВМ: около 78 000 ЭВМ для розничной продажи и более 44 500 в составе школьных классов. Всего в МЭП было выпущено более 160 тыс. БК-0010/-0011.

Школьная ЭВМ «Электроника НЦ-8011» (Тимур-А)

С развитием персональных компьютеров встал вопрос о компьютеризации школ и разработчикам НЦ-8010 в НИИТТ было поручено создание школьной ЭВМ с организацией серийного производства на заводах «Квант» и «Экситон».

ПЭВМ получила название «Электроника НЦ-Тимур-А». В первом квартале 1985 г. изготовили 25 образцов Тимура-А (см. рис. далее), проект

планировалось завершить в конце 1985 г. изготовлением на Кванте 350 ПЭВМ. Но в середине 1985 г. Минпросвещения и Минздрав определились с требованиями к школьным ЭВМ. 8 августа 1985 г. было утверждено техническое задание на школьную ПЭВМ, получившую наименование «Электроника УК-НЦ». Работа по созданию Тимура-А плавно перешла в разработку УК-НЦ,

А из 25 Тимуров-А был скомплектован класс, установленный в одной из школ г. Шауляя.



Школьная ЭВМ «Тимур-А»

Примерно за год «Электроника УК-НЦ» была разработана. В конце 1986 и начале 1987 годов в составе комплекта для класса (ЭВМ учителя и 12 ЭВМ учеников) УК-НЦ прошла серьёзные испытания и принята межведомственной комиссией.



Школьная ЭВМ «Электроника УК-НЦ» (MC0511)

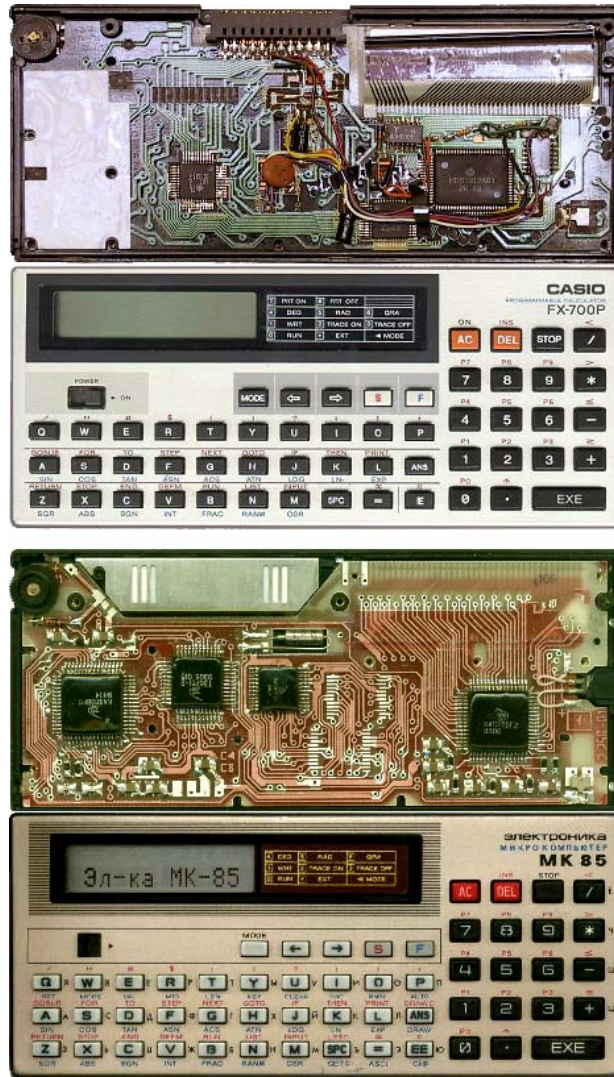
УК-НЦ была двухпроцессорной ЭВМ (два микропроцессора K1801BM2: центральный и периферийный), представляла собой моноблок с встроенными электроникой, клавиатурой (88 клавиш), блоком питания и разъёмами: для подключения видеомонитора, бытового магнитофона в качестве внешнего запоминающего устройства (ВЗУ), принтера, устройств с интерфейсом типа «С2» и локальной сети. Для ВЗУ на верхней панели ЭВМ имелось два гнезда, в которые можно было вставить сменные кассеты ПЗУ с прикладными программами или данными, а так же внешний контроллер для других периферийных устройств. В донной части корпуса был отсек, в который также можно было установить дополнительный электронный блок, например сетевой адаптер или модем.

УК-НЦ широко применялась как при компьютеризации школ, так и для других применений. Она выпускалась на пяти заводах Минэлектронпрома: «Квант» (Зеленоград), «СЭМЗ» (Солнечногорск), «Мезон» (Кишинев), «Мион» (Тбилиси) и «Нуклон» (Шауляй). Всего было выпущено более 310 тыс. ЭВМ.

Карманная персональная ЭВМ "Электроника МК-85"

В 1984 г. министр поручил НИИТТ воспроизвести микрокомпьютер Cassio FX700P, получивший название «Электроника МК-85». По существу это был карманный BASIC-компьютер с встроенными ЖКИ-дисплеем и алфавитно-цифровой клавиатурой. FX700P имел параллельный 4-разрядный порт (12 контактов), для подключения периферийных устройств. Их производство было поручено другим предприятиям МЭП, но они с заданием не справились и МК-85 остался без периферии.

Разработчики НИИТТ, рассмотрев образец FX-700P, предложили сделать такой же компьютер на основе уже имевшихся на предприятии и хорошо отработанного однокристалльного микропроцессора 1806BM2. Министр согласился с этим предложением, но потребовал полного внешнего сходства с аналогом.



Микро-ПК «Cassio FX700P» (сверху) и «Электроника МК-85»

МК-85 обрабатывает числа с плавающей запятой, разрядность мантии 10, порядка — 4 десятичных разряда. Объем энергонезависимой памяти у МК-85 — 2К байт, у МК-85М — 6К байт. Это обеспечивает возможность реализации BASIC-программ в 1221 и 5317 шагов соответственно.

Для МК-85 на основе МП 1806ВМ2 и БМК 1515ХМ-1 была разработан микроконтроллер КА1013ВМ1. Его архитектура и вычислительная мощность

соответствовала мощности мини-ЭВМ PDP-11, СМ ЭВМ, НЦ-8001ДМ. Впоследствии это существенно расширило области применения МК-85.

МК-85 стоил 145 рублей и сразу сметается с прилавков фирменных магазинов "Электроника". МК-85 серийно выпускался Ангстремом с 1986 и до 2000 г., всего выпущено было около 150 000 МК-85 в разных вариантах. Было сделано несколько прикладных вариантов МК-85, в частности "Электроника МК-85С " для шифрования Ави́зо, прекратившая поток фальшивок и тем самым оказавшая стабилизирующее влияние на экономику страны в лихие 1990-е годы.

По неполным данным в течение 1979–2000 гг. Минэлектронпромом выпущено и поставлено потребителям более 850 000 рожденных в Зеленограде ПЭВМ (табл. 2), больше, чем всеми другими ведомствами вместе взятыми:

Объем производства персональных компьютеров Минэлектронпрома, разработки зеленоградского НЦ²¹

Тип ПК	1979–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	Итого
НЦ-80-10 — БК-0010/11	8	11 275	147 793	3 026	—	162 102
Тимур — УК-НЦ	—	25	290 774	21 367	—	312 166
ДВК	—	7 838	200 421	19 383	—	227 642
Итого:	8	19 138	638 988	43 776	—	701 910
МК-85		150 000				150 000
Итого:						851 910

Закат

К концу 1970-х годов модернизационные возможности парка специального технологического оборудования были исчерпаны. Потребовалась его радикальная замена. Но в плановой экономике это было возможно только при соответствующем государственном финансировании, отрасль своих средств для этого не имела. *«В начале 1978 года в НЦ были подготовлены предложения о мерах по развитию разработки и новых мощностей производства ИС в стране, в которых были намечены рубежи по созданию и выпуску новых поколений СБИС, материалов, оборудования, САПР,*

²¹ Без учёта производства воронежским, смоленским и другими заводами Минэлектронпрома, достоверных данных о которых автор не имеет. — *Прим. авт.*

контрольно-измерительной аппаратуры в Минэлектронпроме. Была обоснована необходимость привлечения министерств, отвечающих за получение различных материалов (Минхимпром, Минцветмет, Минчермет), создание оптико-механического оборудования (Миноборонпром), контрольно-измерительного оборудования и мощных перспективных САПР (Минрадиопром, Минпромсвязь, Минприборостроения). Предполагалось построить в Зеленограде в 1979–1983 гг. ряд НИИ, опытных заводов, реконструировать и переоснастить действующие предприятия Научного Центра и на территории Российской Федерации построить около 20 новых производств СБИС, привязанных к развитым научно-культурным регионам, обеспеченным квалифицированными кадрами, имеющим хорошую высшую школу. В течение первой половины 1978 г. все документы были подготовлены, согласованы с участниками и соисполнителями и направлены в Правительство. Однако рассмотрение предложений было отложено на несколько лет, в основном по настоянию руководства Москвы, из-за приближающейся Олимпиады-80, и время было упущено. <...> Правительство сначала отодвинуло сроки подписания Постановления, а затем, подписав его, значительно урезало финансирование, необходимое для строительства новых НИИ и заводов, реконструкции и перевооружения имеющихся мощностей, сократило объем обеспечивающих работ и отодвинуло сроки реализации ряда проектов. Это решение сильно затормозило развитие микроэлектроники в нашей стране». [10.16]

В результате примерно с 1980 года началось прогрессирующее отставание. Причин тому немало, но к главным можно отнести следующие:

- недостаточная государственная поддержка, начиная с конца 1970-х годов;
- навязанная заказчиками политика и практика воспроизводства зарубежных образцов, заведомо программирующая отставание;
- нежелание других отраслей народного хозяйства разрабатывать и производить материалы и спецоборудование для электронной промышленности с соответствующими характеристиками по чистоте и точности;
- загрузка опытных заводов серийной продукцией;
- отвлечение ресурсов отрасли на разработку и массовое производство непрофильной продукции: товаров народного потребления, видеотехники, вычислительной техники;
- общий развал экономики в ходе реформ 1990-х годов.

Однако заложенный в первые десятилетия научный и промышленный потенциал отечественной микроэлектроники, как и многих других отраслей, оказался «не по зубам» реформам и кризисам. С большими потерями

российская микроэлектроника все же выстояла и в настоящее время постепенно восстанавливается.

Литература

- 10.1. Малашевич Б. М. «50 лет отечественной микроэлектронике. Краткие основы и история развития» // Очерки истории российской электроники. — Вып. 5. — М.: Техносфера, 2013. — 800 с.
- 10.2. Малашевич Б. М. [Первые отечественные интегральные схемы. 50-летию официальной даты посвящается.](#) // Электроника: наука, технология, бизнес. — 2008. — № 5. — С. 108–117.
- 10.3. Малашевич Б. М. Зарождение и становление отечественной микроэлектроники // История отечественной электроники. — Т. 1. — М.: ИД «Столичная Энциклопедия», 2012. — С. 469–496.
- 10.4. Гаряинов С. А. Они были первыми // Электронная техника. Серия 3: Микроэлектроника. — Вып. 1 (152). — М., 1998, — С. 10–31.
- 10.5. Малин Б. В. [Место для Зеленограда выбрала Москва](#) // Зеленая ветвь Москвы. Зеленоград до 2003 года. Очерки, воспоминания, размышления, зарисовки. ООО «Зеленоградский полиграфический центр». Москва, Зеленоград, 2003. — С. 64–66.
- 10.6. Васенков А. А., Дьяков Ю. Н., Ефимов И. Е. и др. [Зеленоград — город микроэлектроники](#) // Зеленоград в воспоминаниях. — М.: Ладомир, 1998. — С. 37–74.
- 10.7. Лаврентьев А. П. Все мы должны исполнять свой долг / Запись беседы корреспондента «Новой Зеленоградской газеты» с А. А. Колосовым // Зеленоград в воспоминаниях. — М.: Ладомир, 1998. — С. 32–35.
- 10.8. Steven T. Usdin. [Engineering communism: how two Americans spied for Stalin and founded the Soviet Silicon Valley.](#) — Yale University Press New Haven & London, 2005. — 352 с.
- 10.9. Кабанов В. Как было выбрано место для строительства «Научного центра». // Электронная техника. — Серия 3: Микроэлектроника. — Вып. 1 (152). — М., 1998. — С. 3–4.
- 10.10. Шокин А. А. [Министр невероятной промышленности СССР.](#) — М.: изд-во ЦНИИ «Электроника», 1999. — 372 с.
- 10.11. Лаврентьев А. П. Вспомним Иосифа Берга // Электронная техника. — Серия 3. Микроэлектроника. — 1998. — Вып. 1(152). — С. 43–45.

-
- 10.12. Казенов Г. Г. Глазами участника // Электронная техника. — Серия 3: Микроэлектроника. — 1998. — Вып. 1 (152). — С. 111–117.
 - 10.13. Книга истории ОАО «Ангстрем». 1963–1998. — Зеленоград: изд-во «Ангстрем». — 24 с.
 - 10.14. Луканов Н. М. Некоторые малоизвестные моменты из истории отдела 22 НИИ Молекулярной электроники // Электронная техника. — Серия 3: Микроэлектроника. — Вып. 1 (152). — М.: 1998. — С. 49–57.
 - 10.15. Лаврентьев А. П. Становление советской «Кремниевой долины» // Электронная техника. — Серия 3: Микроэлектроника. — 1998. — Вып. 1 (152). — С. 5–9.
 - 10.16. Васенков А. А. Некоторые события из истории микроэлектроники // Создатели отечественной электроники. — Выпуск 1. Александр Анатольевич Васенков. — М.: Техносфера. 2010. — С. 27–96.
 - 10.17. Малашевич Б. М. [Импортозамещение в специальной микроэлектронике — задача национального значения.](#) // Информационно-аналитическое издание «Советник президента». — 2014. — № 132. — С. 11.
 - 10.18. Букреев И. Н. Без Шокина не было бы Зеленограда. Он запитывался идеями и претворял их в жизнь так, что ахнешь // Зеленая ветвь Москвы. Зеленоград до 2003 г. Очерки, воспоминания, размышления, зарисовки. — М., Зеленоград, 2003. — С. 79–80.
 - 10.19. Malashevich B. M. The Microprocessors, Mini- and Micro-computers with Architecture “Electronics NC” in Zelenograd”, in “Perspectives on Soviet and Russian Computing: First IFIP WG 9.7 Conference, SoRuCom 2006, Petrozavodsk, Russia, July 3–7, 2006 // Springer. — 6-Sep-2011. — Volume 357. — Pp. 174–186.
 - 10.20. Шокин А. А. Александр Иванович Шокин. Портрет на фоне эпохи // Очерки истории российской электроники. — Вып. 6. — М.: Техносфера, 2014. — 696 с.