



## **Н.П. Брусенцов**

### **Из истории создания троичных цифровых машин в МГУ**

История вычислительной машины «Сетунь», как и сама эта машина, необычна — все совершалось вопреки общепринятым подходам и методам. Можно подумать, что действовали по принципу «Делай не так, как все». Но принцип был иной — «Чем естественней и проще, тем лучше». (Наша преподавательница математики в МЭИ С.Л. Рискина выражала это короче: «Не мудрствуйте лукаво!»).

Разработка машины, которую впоследствии М.Р. Шура-Бура предложил назвать «Сетунь», была предпринята по инициативе и осуществлялась при активном участии виднейшего советского математика Сергея Львовича Соболева (1908 — 1989), без которого сама идея инженерного конструирования машины в университете едва ли могла быть жизнеспособной, а уж о неординарности её реализации не могло быть и речи. Ведь и после того, как результат работы получил высокую оценку авторитетной комиссии и оказался весьма эффективным на практике, приходилось нередко слышать от принимающих решения: «От двоичных и десятичных спасу нет, а вы ещё с троичной лезете».

К Сергею Львовичу судьба привела меня в силу следующих обстоятельств. По окончании в 1952 году радиотехнического факультета МЭИ «по распределению» мне довелось работать в СКБ МГУ, призванном обеспечивать техническое оснащение учебного процесса и научных исследований в университете. В действительности пришлось заниматься разработкой испытательной аппаратуры по заказу Института машиноведения АН СССР. Но как-то осенью 1954 года М.А. Карцев, с которым мы учились на первом курсе радиофака (после первого курса он оказался не на втором, а на третьем), показал мне электронную вычислительную машину М-2, разработанную возглавляемой им группой молодых инженеров, преимущественно выпускников нашего РТФ, в лаборатории И.С. Брука. Предполагалось, что создаваемый образец машины по договоренности с заведующим кафедрой вычислительной математики мехмата МГУ академиком С.Л.Соболевым будет передан в университет. Сергей Львович придаёт этому исключительную важность — для размещения машины отдана занимаемая кафедрой комната 1313 в главном здании университета на Ленинских горах. Было ясно, что это то дело, в котором нельзя не принять участия, и я пришёл к Сергею Львовичу в 1313.

По его просьбе меня и двух других инженеров СКБ МГУ — В.П. Кузнецову и Ю.Н. Мельника — откомандировали на мехмат с заданием участвовать в отладке и последующем перебазировании машины М-2. Для нас это было вхождением в новую, тогда только нарождавшуюся область техники — цифровую электронику. Но оказавшись в дружном коллективе «однокашников», уже освоивших принципы дискретного управления и двоичную арифметику, причём в хорошо упорядоченной бруково-карцевской трактовке, и получив неограниченную возможность практического освоения предмета, мы вскоре из новичков превратились во вполне квалифицированных по тем временам цифровиков. Машина, устойчиво функционировавшая в круглосуточном режиме, интенсивно использовалась, в частности сотрудниками мехмата МГУ, для отладки программ и решения разнообразных задач.

Однако осенью 1955 года выяснилось, что М-2 университету передана не будет, и мы, к тому времени уже сотрудники формируемого на мехмате вычислительного центра, оказались как бы не у дел. «Может, оно и к лучшему, — с неизменным оптимизмом сказал Сергей Львович, — создадим свою малую машину для университетов и исследовательских лабораторий, недорогую, надёжную, простую в освоении и использовании». Заведующий вычислительным центром Иван Семенович Березин предусмотрел в структуре своего учреждения нацеленное на решение этой задачи подразделение — отдел электроники. Мне же было поручено рассмотреть технические возможности осуществления указанной идеи и представить конкретные предложения по выбору целесообразного направления работы.

Было ясно, что задуманная машина не может быть электронно-ламповой, но полупроводниковых элементов — не то чтобы транзисторов, даже диодов — тогда ещё практически не было; использование в М-2 трофейных купроксных диодов справедливо расценивалось как существенный технический прогресс. Реальную альтернативу представляли собой популярные в то время электромагнитные (феррит-диодные) элементы. В руководимой Л.И. Гутенмахером лаборатории электро моделирования на элементах этого типа разрабатывалась вычислительная машина ЛЭМ-1, и Сергей Львович договорился о предоставлении мне возможности в качестве стажера ознакомиться с имеющимся опытом и результатами проводимой там работы.

Машина ЛЭМ-1 была реализована на феррит-диодных элементах с трёхтактной (трёхфазной) системой импульсов питания. Простейший элемент феррит-диодных элементов одноразрядная ячейка сдвигающего регистра (так называемая «триада») — состоял из трёх пар кольцеобразных диаметром 4 мм ферритовых с прямоугольной петлей гистерезиса сердечников и трёх диодов — миниатюрных селеновых шайб. Трёхтактностью предотвращали возможность «возврата информации» в сдвигающем регистре, а второй («компенсирующий помеху») сердечник в каждой паре применялся с целью улучшить качество первого («рабочего») путём встречного включения их выходных обмоток. Подобные элементы, ввиду отсутствия в них электронных ламп и даже транзисторов, могли бы обладать необыкновенно высокой надёжностью, впрочем, при условии замены селеновых шайб более современными диодами.

Обстоятельный анализ феррит-диодной схемы как нелинейного магнитного усилителя с питанием импульсами тока [4] выявил возможность её существенного усовершенствования введением в цепь связи рабочих сердечников друг с другом постоянного напряжения, запирающего диод. О «возврате информации» в такой схеме не могло быть и речи, поэтому трёхтактности не требовалось — схема минимизировалась в двухтактную устранением третьей пары сердечников и связанного с ней диода. Но существенней то, что элемент обретал важное качество, оказываясь генератором импульсов тока весьма стабильной, практически не зависящей от сопротивления нагрузки амплитуды. Для «компенсации помех» теперь не требовалось встречное включение выходных обмоток «рабочего» и «компенсационного» сердечников — «компенсационный» становился вторым «рабочим», а компенсация помех обеспечивалась встречным включением входных обмоток этих сердечников, т.е. компенсировались создаваемые обмотками ампервитки.

В модернизированной таким образом ячейке сдвигающего регистра добавлением в каждую пару сердечников второго диода и применением второй пары встречно включенных входных обмоток осуществляется возможность параллельной передачи двух серий не совпадающих по времени импульсов, т. е. передачи троичного кода.

То, что трехзначный сигнал передавался в виде пары двухзначных его компонент не по одному, а по двум проводам, в устройствах последовательного действия не являлось существенным. Естественность троичного симметричного кода, т.е. позиционной системы счисления с цифрами 1, 0 и -1, оправдала бы и более серьезные издержки. Впоследствии в машине «Сетунь 70» была осуществлена и однопроводная передача импульсами положительной и отрицательной полярности.

На первом же заседании организованного по предложению Сергея Львовича семинара для обсуждения связанных с созданием машины принципиальных и технических вопросов 7 января 1956 года состоялся мой доклад о феррито-диодных цифровых элементах лаборатории электро моделирования и о возможности разработать на основе их элементы, позволяющие построить троичную вычислительную машину. Семинар с интересом воспринял это экстравагантное предложение, и в результате всестороннего обсуждения было решено создавать машину на магнитных элементах, причём в качестве альтернативы предпринять разработку троичного варианта.

Замечательным явлением был этот наш «сетуньский» семинар. Постоянными участниками его были: С.Л. Соболев, К.А. Семендяев, М.Р. Шура-Бура, И.С. Березин, Н.П. Жидков, Е.А. Жоголев, Н.П. Трифонов, сотрудники отдела электроники, занятого непосредственно созданием новой машины, программисты, разрабатывающие её программное оснащение, а кроме того, на заседания обычно приходили сотрудники других математических и инженерных подразделений вычислительного центра. Наш семинар не походил ни на авторитетные научные семинары, одобряющие представляемые к защите на получение учёной степени диссертации, хотя авторитет его старших участников был более чем достаточным, ни на высокоинтеллектуальные собрания учёных мужей, соревнующихся в умении абстрактно рассуждать о нечётко определённых проблемах. У нас была конкретная реальная цель — определить, как теперь говорят, архитектуру задуманной машины и изыскать оптимальные возможности её технической реализации в наличных условиях.

Трудно поверить, но у семинара не было научного руководителя. Сергей Львович, по инициативе которого семинар возник, участвовал в его работе наравне со всеми, никогда не выказывая своего превосходства либо привилегированного положения. Должно быть, это служило примером для всех — никто не претендовал на роль главного. Всякое мнение, предложение, возражение требовалось обосновывать, доказывать. В результате приходили к оптимальным решениям. Это была нормальная творческая работа, без надуманных планов и мозговых штурмов — проблемы возникали и разрешались по ходу дела, по мере продвижения к поставленной цели.

Сохранилась тетрадь регистрации присутствовавших на заседаниях семинара. По каждому из 39 состоявшихся в 1956-58 гг. заседаний — страница с датой проведения, названием доклада (докладов), фамилией докладчика (докладчиков) и списком росписей присутствовавших, обычно 15-20, но иногда и более 30. Доклады посвящались, с одной стороны, инженерным вопросам технической реализации машины, а с другой — разработке и оптимизации её архитектуры, анализу и обобщению имеющегося в этом деле опыта. Так, М.Р. Шура-Бура на четырёх семинарах в апреле-мае 1956 г. анализировал преимущества и недостатки отечественных машин «Стрела», БЭСМ, «Урал», М-20, сотрудники Сергея Львовича по курчатовскому институту Г.А. Михайлов и Б.И. Шитиков рассказали о созданных ими машинах ЦМ-1 и ЦМ-2, аспирант Томского университета А.Д. Закревский выступил с докладом «Применение алгебры логики к синтезу схем вычислительной машины».

Вопросы инженерной реализации цифровых устройств на полупроводниковых и магнитных элементах рассматривались в докладах сотрудников нашего отдела электроники. Разработкой же функциональной схемы и системы команд машины довелось заниматься мне с Е.А. Жоголевым, и результаты по мере продвижения неоднократно представлялись семинару в наших, иногда совместных, докладах: 17.9.56 — «Эскизная схема машины», 15.10.56 — «Операции в троичной системе счисления», 11.2.57 — «Система команд для одноадресной троичной машины», 8.4.57 — «Блок-схема троичной машины», 24.2.58 — «Блок-схема и система команд машины «Сетунь».

Отдел электроники в январе 1956 г. состоял из заведующего и четырёх техников (В. Бедредин, В. Буцких, Л. Маклыгина, Т. Мостинская) из числа специально подготовленных по цифровой электронике в вечернем техникуме при МГУ. Под наш отдел в вычислительном центре была выделена комната площадью 60 кв.м., в которой удобно разместились шесть больших двухсторонних столов, именованных библиотечными, но после дооборудования электророзетками превращённых в рабочие места для монтажа и экспериментального исследования элементов и блоков создаваемой цифровой машины. Вдоль стен разместилось ещё несколько обычных конторских столов и шкафы. В благоустроенной таким образом лаборатории могли работать одновременно до 20 человек.

Но не было никакого лабораторного оборудования. Сергей Львович радикально и просто решил эту трудную проблему, договорившись о передаче нам одним из оборонных предприятий списанных импульсных осциллографов и лабораторных источников питания. С электроизмерительными тестерами и паяльниками проблем не было, а все прочее — стенды для испытания и сортировки ферритовых сердечников и диодов, для отладки и проверки элементов и функциональных узлов, генераторы импульсов тока питания — надо было создавать применительно к реализуемым в машине техническим решениям.

В течение 1-го квартала 1956 г. лаборатория приобрела надлежащую рабочую форму. Вместе с тем была изучена динамика перемагничивания имевшихся марок ферритовых сердечников и отобран как наиболее удовлетворяющий условиям работы в пороговых логических элементах избранного типа кольцевой сердечник с внешним диаметром 3 мм из феррита К-132. На основании проведенных исследований разработан стенд для сортировки этих сердечников по времени перемагничивания импульсом тока заданной амплитуды, прямоугольности петли гистерезиса и перепаду магнитного потока, по величине которого сердечник относится к одной из четырёх групп: 0,25, 0,27, 0,30, 0,33 микровольтсекунд.

Аналогичный стенд для сортировки диодов типа Д-1 обеспечивал рассортировку их соответственно на четыре группы, использованием которых в сочетании с сопоставленными им группами сердечников гарантировалась стандартность параметров феррит-диодного элемента в целом. Как показал впоследствии опыт Астраханского завода ЭА и ЭП, таким образом достигалось практически безотходное и бездефектное промышленное производство этих элементов в условиях значительного разброса параметров комплектующих компонент (сердечников и диодов).

В марте отдел пополнили два выпускника электровacuумного факультета МЭИ — В. Березин, Б. Фельдман и техник С. Федорищев, в апреле — выпускники физического факультета МГУ В. Веригин и С. Маслов, в сентябре — студенты-дипломники ЭВПФ МЭИ Ю. Колотов и А. Тишулина.

Усилия по-прежнему были сосредоточены на создании простого, эффективного и надёжного логического элемента, но теперь работа с уровня исследования компонент перешла на уровень схемотехники: исследовались возможности реализации на элементах различных типов основных функциональных узлов цифровой машины — регистров, счетчиков, сумматоров, дешифраторов. Построен был даже макет двоичного арифметического устройства на двухтактных элементах (Б. Фельдман). Однако преимущество троичной схемотехники по мере создания трёхзначных логических элементов и троичных функциональных схем становилось всё более очевидным.

Оказалось, что усложнённость (пусть даже вдвое) трита по сравнению с битом более чем возмещается простотой и естественностью «верхних этажей», гармоничностью троичной архитектуры в целом. К тому же троичные магнитные элементы с взаимокompенсацией входных ампервитков были значительно устойчивей элементов с встречным включением выходных обмоток. Наглядным доказательством всего этого явилась разработка в качестве дипломного проекта А.М. Тишулиной устройства быстрого умножения по методу М.Р. Шуры-Буры.

К концу 1956 года была уже однозначная определённость как относительно того, что машина будет троичной, так и относительно её схемных элементов, названных магнитными усилителями с питанием импульсами тока. Физические параметры элементов (марка феррита и размеры сердечника, числа витков в обмотках, частота, амплитуда и форма импульсов тока питания, величина напряжения, запирающего диод) были «навечно» зафиксированы и остались неизменными во всех разработанных затем устройствах и в выпущенных заводами «феррит-диодных ячейках» и машинах. Разработчикам функциональных устройств машины знать эти параметры не требовалось: для них сердечник представлялся квадратиком, положительно включенные входные обмотки — стрелками, упирающимися в его переднюю (левую) стенку, отрицательно включенные, «запрещающие» обмотки — линиями, перечеркивающими квадратик. Другими словами, квадратик представлял собой пороговый логический элемент (нейрон), а пары квадратиков («биквадратики») с накрест включенными входными обмотками были трёхзначными нейронами, идеальными элементами троичных цифровых схем.

Теперь разработка функционального узла машины сводилась к составлению путём надлежащего соединения друг с другом нескольких разновидностей нейрон-биквадратиков логической схемы, реализующей заданную функцию. Электрофизические параметры биквадратиков предполагаются одинаковыми (в пределах установленных допусков). Впрочем, по нагрузочной способности различаются «простые» квадратики (биквадратики), рассчитанные на перемагничивание одного сердечника, и «мощные», способные перемагничивать одновременно два сердечника. Кроме того, имеются биквадратики с ужесточенным допуском («точные»), употребляемые в случаях взаимокompенсации сигналов.

Конструктивно все эти элементы были осуществлены в форме единообразной платки («ячейки») размером 40x60 мм, из гетинакса, толщиной 1 мм, прошитой медным луженым проводом так, что обеспечивалось до 10 контактов ввода-вывода сигналов, до 6 контактов питания и возможность монтажа до 4 взаимосвязанных ферритовых сердечников с их выходными диодами. Заводской аналог этой платки прессовался из пластмассы. В логическом отношении ячейка представляла собой обычно либо пару биквадратиков, либо один биквадратик с выводами обоих концов его входных обмоток, т. е. с возможностью их прямого и обратного включения, а также последовательного соединения с входными обмотками других платок.

Обмотки выполнялись проводом ПЭВ-2 диаметром 0,1 мм, входные — по 12 витков, выходная — 52 (для «мощных» ячеек — 64), обмотка питания — провод диаметром 0,5 мм, 5 витков (для «мощных» — 6). Намотка производилась вручную — сердечник прошивался нужное число раз при помощи обычной иголки. Первой наматывалась самая трудоемкая выходная обмотка. Каждый рабочий день в отделе начинался с «зарядки» — все без исключения сотрудники получали по 5 сердечников и наматывали на них по 52 витка. Намотку входных обмоток и обмотки питания производили затем специалисты — техники женского пола. Они же производили распайку получающегося в результате «паука» из двух или четыре сердечников на платку.

Изготовление ячейки завершалось припайкой диодов и тестированием на стенде проверки ячеек соответствия логической схеме представляемого ею биквадратика (биквадратиков) и соблюдения допусков на электрические и временные параметры. Стенд позволял подачей стандартных сигналов на входы ячейки и регистрацией при помощи осциллографа импульсов напряжения на входах и выходах осуществить исчерпывающую проверку всех её параметров, но обычно контролировалась только правильность предписанных ячейке логических функций и кондиционность выходных импульсов, косвенно свидетельствующая о соблюдении положенных количеств витков в обмотках и о соответствии группы диодов группе сердечников. Кондиционность же самих сердечников и диодов гарантировалась тестированием их при распределении по группам.

Признанная полноценной на стенде проверки ячейка представляла собой стандартный логический элемент указанного на её платке типа независимо от группы использованных в ней сердечников и диодов. Другими словами, теперь это был биквадратик или пара биквадратиков, характеризующиеся их логическими функциями безотносительно к физическим параметрам. Дальнейшая работа по созданию функциональных узлов и устройств машины состояла в составлении путем связывания биквадратиков друг с другом логических схем, реализующих более сложные, составные функции и процедуры. Затем составлялись соответствующие монтажные схемы, на которых построенные в колонки платки-ячейки соединены друг с другом проводами, связывающими выходы одних биквадратиков с входами других.

Каждая такая колонка (не более 15 ячеек), осуществляющая, например, функцию сумматора, сдвигающего регистра, дешифратора троичного кода, конструктивно оформлена в виде «блочка» (субблока), устанавливаемого затем на его рабочее место в тот или иной блок машины посредством 30-контактного разъёма, на контакты которого выведены связываемые с «внешним миром» входы и выходы этого блока. Проверка блоков производится на стенде, позволяющем задавать последовательности входных импульсов, и сводится к тестированию предписанных испытываемому блоку логических функций.

В течение 1956 года были окончательно определены методы отбраковки с разбиением на группы сердечников и диодов и созданы обеспечивающие надёжность и достаточную производительность этих операций стенды. Установлены технические параметры единого элемента логических ячеек: количества витков в обмотках сердечника, тактовая частота  $f = 200$  кГц, амплитуда импульсов тока питания  $I = 0,6$  А, напряжение, запирающее диод,  $E = -3,5$  В. Разработаны и опробованы путём изготовления и испытания типичных функциональных узлов (троичного сумматора и 8-тритного сдвигающего регистра) конструкции логической ячейки-платки и блока.

Параллельно совместно с Е.А. Жоголевым разрабатывалась «эскизная схема» (архитектура) машины. В сентябре и октябре эта часть работы докладывалась и

критически рассматривалась на семинаре. Пришли к согласию в том, что машина будет последовательного действия с устройством быстрого умножения, одноадресной с регистром модификации адреса (индекс-регистром), манипулирующей числами с фиксированным положением запятой, но при наличии операции нормализации, позволяющей вычислять в режиме плавающих масштабов.

Память машины решено было сделать двухступенной: магнитный барабан и быстродействующее устройство на ферритовых сердечниках небольшой ёмкости, связанное с барабаном групповым обменом. Разработка устройства памяти на магнитном барабане была поручена отделу, руководимому Л.С. Легезо. Работу по созданию оперативного запоминающего устройства на ферритовых сердечниках начала в январе 1957 г. зачисленная в наш отдел Н.С. Карцева, а в дальнейшем к ней подключились С.П. Маслов и В.В. Веригин, составившие ведущее звено по разработке запоминающих устройств.

К началу 1957 года в отделе было 13 сотрудников — 7 инженеров и 6 техников, к концу года инженеров стало 8 (в отдел пришел В.П. Розин, работавший по окончании физического факультета МГУ в практикуме мехмата), число техников увеличилось до 9 (Е. Журавлева, М. Некрасова, А. Ленский). Работа приняла производственный характер. Первым блоком, который надо было построить и всесторонне испытать, чтобы практически убедиться в реальности принятых схемотехнических и технологических решений, явилось устройство быстрого умножения А.М. Тишулиной. Для укомплектования его требовалось лишь два вида блочков: 9 трёхвходных сумматоров и 9 двухтритных секций регистра множителя со схемами, выполняющими последовательное умножение на принятые в регистр значения тритов. Оба вида блочков прошли макетирование, для них имелись надёжно выверенные принципиальные и монтажные схемы.

Платки для логических ячеек и корпуса блочков в необходимых количествах, а также корпус самого блока были изготовлены по нашим эскизам в мастерской вычислительного центра, как всегда своевременно и с отменным качеством, благодаря пунктуальности её руководителя, всё умевшего К.В. Вейса. Осуществляющий входной контроль параметров ферритовых сердечников для укомплектования логических ячеек В.П. Розин надёжно обеспечивал кондиционность их в пределах установленных групп, что было первейшим условием бездефектности производимых ячеек. Наконец, Лиза Журавлева оказалась безукоризненным контролером параметров ячейки в целом. Проверку готовых блочков, межразъёмных соединений на блоке и выполняемых блоком функций производила сама Тишулина.

Правильность принятых решений полностью подтвердилось — устройство не потребовало никакой корректировки и было впоследствии включено в состав машины без каких-либо изменений. Вместе с тем была экспериментально доказана эффективность и надёжность разработанной технологии троичных цифровых устройств, пригодность её для осуществления создаваемой вычислительной машины.

Впрочем, разработка арифметического устройства (АУ) и центрального устройства управления машины (УУ) велась уже параллельно с созданием устройства умножения, причем четко определившиеся узлы этих устройств (сумматоры, дешифраторы, секции регистров) изготавливались в виде соответствующих блочков. Продвигалась также работа по созданию оперативного запоминающего устройства, а в отделе Л.С. Легезо разрабатывали устройство памяти на магнитном барабане.

К концу 1957 года структура машины и объёмы оборудования (количества блочков) в устройствах определились в такой степени, что стало возможным спроектировать её конструкцию в целом и заказать в мастерских физического факультета изготовление каркаса стойки для размещения блочков. Корпуса самих блоков и блочков в необходимых количествах были изготовлены в порядке технической помощи дружественным вычислительному центру вертолётным СКБ М.Л. Миля. В течение 1958 г. внутренние устройства машины — УУ, АУ, МУ, ОЗУ и блок управления вводом/выводом (УВВ), а также пульт управления (ПУ), были полностью укомплектованы блочками и проверены в автономных режимах. После установки блоков в стойку с уже встроенным в неё генератором импульсов питания на радиолампах типа ГУ-50 в щадящем режиме, а также распайки и прозвонки межблочных жгутов составленная таким образом машина оказалась способной выполнять написанные для неё простейшие программы (пока без памяти на магнитном барабане). Единственной потребовавшей исправления была операция нормализации, реализованная неверно. Устранение ошибки обошлось переделкой одного блочка.

С декабря 1958 г. машина работала в режиме опытной эксплуатации, будучи предоставленной программистам для отладки разрабатываемых ими программ. С доукомплектованием устройством памяти на магнитном барабане и рулонным телетайпом в качестве алфавитно-цифрового устройства вывода на печать и на бумажную перфоленку наша машина, теперь уже получившая имя «Сетунь», стала использоваться для решения практических задач. Несмотря на необычность, она легко осваивалась пользователями и оказалась весьма эффективной в широком спектре применений.

С первым сообщением о машине «Сетунь» мне довелось выступить на конференции «Новые разработки в области вычислительной математики и вычислительной техники», состоявшейся в Киеве 1-3 декабря 1958 г. Как раз в эти дни только что смонтированная машина выполнила первые тест-программы. И.С. Березин, с которым мы прибыли на конференцию, упомянул об этом в разговоре с В.М. Глушковым, и тот, живо заинтересовавшись не известной ему машиной, потребовал, чтобы о ней было рассказано на конференции: «Вот Вам бумага. Нарисуйте схему. Завтра же будет Ваш доклад.»

В этом докладе, опубликованном затем в «Материалах конференции»[1], охарактеризована машина по состоянию на декабрь 1958 г. Она отличается от серийной «Сетуни» тем, что управляющий условными переходами трёхзначный триггер  $w$  при операциях умножения и сдвига устанавливается не соответственно знаку результата, а в зависимости от того, находится ли значение результата в интервале нормализованных, и если не находится, то правее или левее оно этого интервала. Опыт практических применений машины вскоре показал, что подобное обособление указанных операций неоправданно, и значением  $w$  во всех без исключения случаях стал знак результата операции, что отвечало стремлению к естественности и простоте.

Разумеется, важнейшая предпосылка естественности заключалась в использовании симметричного кода чисел, в условиях которого натуральным оказывается число со знаком. Простота же состояла в том, что троичный симметричный код — самый простой из симметричных кодов. И хотя он, конечно, сложнее двоичного, а трёхзначная логика существенно сложнее двухзначной, троичные вычисления и рассуждения, если «не мудрствовать лукаво», могут быть проще, экономней и надёжней двоичных. Пример «Сетуни» свидетельствует, что это действительно так.

В наборе команд машины с двухступенной памятью, автоматической индексацией адреса и возможностью вычислений с фиксированной и плавающей запятой («с плавающим



масштабом») имелось всего лишь 24 команды [2, 3], причём зарезервированные на случай пополнения набора 3 кода операций так и остались невостребованными, т. е. набор оказался достаточным. Компактность набора команд, помимо лёгкости освоения и применения машины, способствует экономности представления программ — код операции составляет всего лишь 3 трита. Адресная часть команды, включающая, помимо собственно адреса и трита индексации (прибавить/не индексировать/вычесть), а также указание длины операнда (9 или 18 тритов), составляет 6 тритов, обеспечивая адресацию трехстраничной памяти общей ёмкостью 162 9-тритных слова, т. е. 81 18-тритное слово. Эта небольшая быстродействующая оперативная память связана с основной памятью на магнитном барабане постраничным обменом. Таким образом достигается необыкновенно экономное кодирование программ и не менее значительное увеличение производительности по сравнению с использованием магнитного барабана в качестве оперативной памяти. В частности, быстродействие «Сетуни», укомплектованной барабаном, с которым машина «Урал» выполняла 100 операций в секунду, составляло в среднем 3 — 4 тыс. оп./сек.

Архитектура «Сетуни» типична для одноадресных вычислительных машин. Для программиста это 6 регистров: 9-тритный регистр К — выполняемой команды, 5-тритные регистры: С — адреса выполняемой команды и F — индекс-регистр; 18-тритные: S — сумматора (аккумулятор) и R — множителя, а также однотритный регистр знака результата операции — w .

Регистры С, F, К и w управляют ходом выполнения программы. Засылка кода в регистр С осуществляется командами условного и безусловного перехода, а также кнопкой «Начальный пуск» на пульте управления, засылающей в С нули. Имеется команда, копирующая текущее значение С в указываемую в ней ячейку оперативной памяти. Для индекс-регистра F предусмотрены команды засылки значения из оперативной памяти, а также суммы этого значения с текущим значением F либо С, и копирования F в память. Адресная часть команд, предписывающих индексацию, автоматически модифицируется при выполнении их прибавлением либо вычитанием текущего значения F.

Регистры S и R выполняют функции арифметического устройства машины. Засылаемые в них из оперативной памяти значения операндов могут быть как 18-тритные, так и 9-тритные, интерпретируемые как 18-тритные с нулями в девяти младших тритах. Соответственно при копировании значения S в короткую ячейку памяти происходит запись в неё 9 старших тритов. Возможность непосредственно копировать значение R отсутствует, поскольку, в отличие от S, в R преобразования его значений не производятся. Предназначением регистра R является реализация быстрого умножения, благодаря которой арифметическая производительность машины последовательного действия достигает уровня машин с параллельной обработкой. При этом наличие регистра множителя позволило ввести в одноадресной машине трёхоперандные команды умножения, в частности, команду прибавления произведения к S, существенно упрощающую вычисление полиномов.

Над регистром сумматора S определены все необходимые арифметические операции, а также операция сдвига содержимого S на n тритов при  $n > 0$  влево, при  $n < 0$  вправо, и операция потритного умножения, позволяющая обнулять и инвертировать значения тех или иных тритов содержащегося в S значения, в частности изменять его знак и выделять заданную его часть.

В течение 1959 г. машина работала с электронно-ламповым устройством памяти на магнитном барабане и с рулонным телетайпом в качестве устройства ввода-вывода.

Параллельно велась разработка блока управления магнитным барабаном, реализуемого на магнитных и транзисторных элементах, причем с использованием серийного барабана машины «Урал». Блок управления вводом-выводом модифицировался применительно к использованию наряду с телетайпом фотоэлектрических считывателей с перфоленты, ленточного перфоратора и электроуправляемой печатающей машинки ЭУПМ, создававшейся при нашем участии Московским заводом пишущих машин.

Кроме того, в связи с представлением машины на ВДНХ СССР были спроектированы и изготовлены два действующих демонстрационных стенда по три сетуньских блока в каждом: шестиразрядный троичный сумматор с набором чисел при помощи трехпозиционных ключей и световой индикацией парами лампочек, как на пульте управления машины; и двенадцатиразрядный счетчик импульсов. Был издан выставочный листок с фотографией опытного образца машины «Сетунь», обстоятельной характеристикой её возможностей и технических параметров. Мероприятие посвящалось научно-техническим достижениям вузов и проходило поначалу в павильоне «Трудовые резервы», а затем в одном из коровников, где на нем побывал Н.С. Хрущев. Ни в первом, ни во втором месте «Сетунь» не привлекла к себе никакого внимания.

Хуже того, осенью 1959 г. на коллегии Госкомитета по радиоэлектронике (ГКРЭ), наводившей порядок в деле создания ЭВМ, «Сетунь» оказалась в чёрном списке разработок, подлежащих прекращению ради нераспыления средств. Это при том, что никаких средств на неё ГКРЭ никогда не выделял. А на вопрос Сергея Львовича: «Что вы знаете об этой “Сетуни” и видели ли хотя бы её?» директор СКБ-245 В.В. Александров (которому, кстати, при посещении им ВЦ МГУ демонстрировали уже действующий опытный образец «Сетуни») ответил: «Нам видеть её и знать о ней не надо — должны быть бумаги с авторитетными подписями и печатями».

По окончании заседания Сергей Львович пошёл на Старую площадь в ЦК КПСС, и к концу дня на «Сетуни» побывал сотрудник оборонного отдела Ф.К. Кочетов в сопровождении начальника 8-го главного управления ГКРЭ М.К. Сулима. После этого визита «де-юре» положение изменилось — вскоре было принято решение о проведении междуведомственных испытаний опытного образца машины, но по существу недоброжелательное, мягко говоря, отношение ГКРЭ к «гадкому утенку» оставалось и в последующем.

Казалось бы, необычное решение, возможно, открывающее новые перспективы развития цифровой техники, следовало поддержать, оказав университету помощь в создании промышленного образца машины, в укомплектовании её надлежащим периферийным оборудованием, в налаживании производства, как выяснилось непритязательных и весьма надёжных её пороговых логических элементов, наконец, ввиду наличия заявок на поставку машины в зарубежье, позаботиться и об этой немаловажной стороне дела. Ничего подобного не произошло — «Сетунь» по-прежнему не хотели «ни знать, ни видеть», и наши усилия по её внедрению постоянно наталкивались на неясное, но систематическое противодействие.

Вместе с тем, правительству Чехословакии, обратившемуся с просьбой о передаче документации для производства «Сетуни» на заводе Яна Швермы в Брно, отказали, уверив А.Н. Косыгина в том, что «это золото мы должны взять сами», тогда как в действительности делать этого не собирались. Чехи же выделили свой лучший завод, подготовили добротные периферийные устройства («Консул», FS-1500), соответствующий магнитный барабан и намеревались выпускать сотни машин в год. Если бы это произошло, то, естественно, пришлось бы ответить, почему же мы сами не взяли

своё золото. Однако всё обошлось без трудных вопросов. Более того, когда потребовалось разрешение на публикацию подготовленной в Издательстве МГУ книги «Малая цифровая вычислительная машина “Сетунь”» [5], М.К. Сулим отказал, сославшись на якобы отсутствие технического описания машины (которое в то время уже было издано Внешторгом на русском и английском языках).

Межведомственная комиссия по испытаниям опытного образца машины “Сетунь”, назначенная распоряжением ГКРЭ от 14 марта 1960 г. собралась на своё первое заседание 7 апреля 1960 г. в ВЦ МГУ под председательством главного инженера 8-го управления Д.А. Жучкова в составе 14 членов, представлявших важнейшие в области создания и использования ЭВМ организации: НИИСчетмаш, НИИЭМ, НИИММ, ГК АМ, ОПМ, ВЦ АН СССР, ВЦ АН УССР, п/я 24 (Минск).

Испытания начались 11 апреля в 9 час. и проводились 7 дней в односменном режиме, с 9 утра до 18 час., а также в круглосуточном режиме с 16 по 18 апреля и с 20 по 22 апреля. Машина испытывалась путём решения пяти задач с временем счёта от 10 минут до 5 часов. На включение и “разогрев” машины отводилось ежедневно 10 мин., которые в зачётное время не включались. В режиме решения задач машина проработала 138 час. (77 в круглосуточном, 61 в односменном). Полезное время составило 90,1% от зачётного. За время испытаний зафиксировано 16 сбоев, из них 9 на устройствах ввода-вывода и 2 на магнитном барабане, обусловленные растяжением приводного ремня. За время испытаний в машине не было произведено замены каких-либо деталей.

Проведенные 25 — 27 апреля технические испытания подтвердили полное соответствие характеристик машины техническим условиям: потребляемая мощность — 2,6 кВа, допустимые пределы колебаний напряжения электросети +8%, — 12%, температурный диапазон установить не было возможности, но в предписанном ТУ диапазоне +15 о С — +25 о С машина работала устойчиво. Однотипные блочки и ячейки взаимозаменяемы в номинальном и профилактических режимах.

В Акте Межведомственной комиссии от 29 апреля 1960 г., утверждённом заместителем председателя ГКРЭ С. Владимирским 7 июня 1960 г., “Сетунь” признана “первым действующим образцом универсальной вычислительной машины на безламповых элементах, создание которой является определённым достижением в вычислительной технике.

”...Высокая производительность, достаточная надёжность, малые габариты и простота технического обслуживания позволяют эффективно использовать эту машину в конструкторских бюро, вычислительных лабораториях, в высших учебных заведениях для научных и инженерных расчётов.

Комиссия считает целесообразным организовать серийное производство машины “Сетунь”. Опытный образец может быть использован в качестве базы для разработки промышленного образца машины.»

Положительное заключение Межведомственной комиссии привело к постановлению Совмина СССР о серийном производстве машины «Сетунь», но не изменило отрицательного отношения к ней ГКРЭ. Для производства машины был определён Казанский завод математических машин (КЗММ), а о создании промышленного образца никакого решения не последовало, хотя было ясно, что самому МГУ эту проблему не решить, и КЗММ, ещё только осваивающий выпуск своей первой машины М-20 (кстати, создание промышленного образца которой заняло 4 года), не располагает необходимым

опытом. В нашем отделе электроники в числе 9 инженеров и 11 техников была одна копирующая принципиальных и монтажных схем и одна машинистка, осуществлявшая перепечатку текстовой техдокументации. Опытный образец машины был изготовлен по эскизам, которые могли послужить только началом для конструирования промышленного образца в конструкторском бюро соответствующего профиля.

Выручил В.М. Глушков, предложивший услуги своего СКБ ВЦ АН УССР за символическую плату. В сентябре 1960 г. мы детально обсудили с киевскими конструкторами компоновку и оформление заводского образца машины, передав им имеющиеся схемы, эскизы и текстовую документацию. В декабре готовый комплект конструкторской документации на машину был передан в СКБ КЗММ для проверки и доработки. Сотрудники этого СКБ стажировались в нашем отделе, осваивая технологию изготовления и контроля параметров схемных элементов, блоков и блоков машины.

В дальнейшем, к сожалению, продуктивного взаимодействия с СКБ у нас не получилось. Игнорируя мое предостережение о необходимости тщательно проверить киевские чертежи, руководство предприняло срочное изготовление по ним большой партии корпусов блоков и блоков машины. По прибытии в СКБ мне в качестве наглядного свидетельства проделанной работы предъявили гору добротных выполненных изделий, достаточную для укомплектования двух, а то и трёх машин. Однако попытка вставить блок в предназначенное для него гнездо на панели блока не увенчалась успехом — размер блока был больше размера гнезда. Результаты трудоёмкой, старательной работы превратились в металлолом. Поразительно, что не только не проверили чертежи, но и в процессе изготовления никто не заинтересовался, то ли делается, не попытался вставить блок в гнездо на блоке. Проведение в таком «стиле» разработки промышленного образца не оставляло надежды на успех дела. К тому же оказалось, что СКБ стремится создавать свой образец машины независимо от завода.

Выход из тупика был найден в том, чтобы реализовать «Сетунь» на конструктивах осваиваемой заводом машины М-20. К счастью, в корпусе блока М-20 свободно размещалось содержимое сетуньского блока и даже использовался тот же разъём. Вместе с заводским конструктором, обладавшим практическим опытом работы с конструктивами М-20, мы за пару дней спроектировали образец «Сетуни» в виде сварного из уголков каркаса стойки, на который стандартным образом навешивались панели блоков от М-20 с гнездами для установки блоков. Конструкция пульта управления, камеры магнитного барабана и источника питания заимствовалась из киевского проекта. Изготовление машины в таком варианте сводилось, грубо говоря, к сварке каркаса, установке на нем заимствованных от М-20 панелей блоков, изготовлению пульта, камеры МБ и источника питания, а затем электромонтажу блоков, блоков и междублочных соединений по нашим монтажным схемам.

Наиболее ответственную часть работы — изготовление логических элементов (феррит-диодных ячеек) взял на себя Астраханский завод ЭА и ЭП, которому, увы, не было поручено производство машины в целом, о чем его директор В.А. Рожков и главный инженер Ф.П. Калантаев искренне сожалели. С производством наших элементов на этом заводе не возникло никаких проблем. Ф.П. Калантаев был на редкость обстоятельным и толковым инженером: наши предписания по входному контролю параметров ферритовых сердечников и диодов, а также на промежуточных и заключительных операциях неукоснительно соблюдались. Производство было поистине бездефектным и безотходным, причем высокорентабельным при отпускной цене всего лишь 3 руб. 50 коп. за ячейку (комплект ячеек для машины «Сетунь» обходился в 5,3 тыс. руб.).

К лету 1961 года Астраханский завод полностью освоил производство всех типов логических ячеек «Сетуни» и мог выпускать их в любых количествах, поскольку ферритовые сердечники производились на самом заводе, а используемые теперь в ячейках диоды Д9В поставлялись без ограничений. При этом наличие проекта машины, реализуемой на конструктивах М-20, позволяло безотлагательно построить её заводской образец, но этого почему-то не делали. Стимул появился неожиданно: директор завода К.Е. Минеев получил указание представить машину «Сетунь» на ВДНХ СССР к предстоящему партийному съезду. (Вероятно, об этом позаботился Ф.К. Кочетов, пожалуй, единственный в верхах человек, постоянно интересовавшийся тем, как продвигается наше дело и способствовавший преодолению препятствий).

Константин Елизарович, не придававший до того проблемам «Сетуни» особого значения, пригласил меня в свой кабинет и, уверившись в выполнимости указания, принял меры к активизации работы по созданию заводского образца машины, который теперь стал «выставочным». Более того, он конкретно ознакомился с положением дел и, будучи человеком многоопытным, обратил моё внимание на недопустимость предусмотренной проектом покраски машины бежевой молотковой эмалью — выставочный образец должен быть привлекательным. Затем «привлекательный» цвет был избран голосованием едва ли не всех работников завода. Снабженцы раздобыли на предприятиях Казани эмали всевозможных цветов, и окрашенные ими пластины были пронумерованы и разложены на стеллаже для оценки избирателями. Демократическое большинство получила нарядная сине-сиреневая эмаль, которой и окрасили выставочный образец. Серийные же машины выпускались традиционно серыми.

20 июня 1961 года ударный отряд умельцев нашего отдела прибыл в Казань для участия в монтаже и отладке машины. Астраханцы поставили необходимый комплект ячеек. В сентябре выставочный образец был готов для отправки в Москву и вскоре был доставлен на ВДНХ в павильон «Радиоэлектроника», но буквально в плачевном состоянии. Кто-то умудрился перед перевозкой изъять из машины блочки и как попало сложить их в фанерный ящик, в результате чего у многих блочков ячейки вывалились из корпуса. Пришлось их повторно монтировать и всё заново проверять. Все-таки к сроку машина была восстановлена, безупречно выполняла тесты и решала отобранные для демонстрации задачи. Но оказалось, что старались напрасно — делегаты съезда в павильоне так и не появились, поглощенные иным неотложным делом (перезахоранивали Сталина).

Посетителей выставки было не много, а проявлявших интерес к машине практически не было. Но как-то в ноябре пришли С.Л. Соболев и А.И. Берг. Было холодно, павильон не отапливался, экспонаты стояли неработоспособными. Мы включили «Сетунь», прогнали тесты, запустили демонстрационную задачу — телетайп напечатал результаты. Аксель Иванович едва не аплодировал. В глазах Сергея Львовича светилось удовлетворение. На то, что внедрение машины в серийное производство не находит поддержки в ведомствах, ответственных за вычислительную технику, Аксель Иванович возмущенно воскликнул: «Круговая порука!»

Планом на 1962 г. Казанскому заводу предписывалось выпустить десять машин «Сетунь». Успешный опыт создания выставочного образца, налаженная поставка логических элементов Астраханским заводом и магнитных барабанов Пензенским заводом САМ, наличие стендов для контроля блочков и методически упорядоченного комплекта функциональных тестов для контроля блоков и машины в целом с обстоятельными инструкциями по использованию всех этих средств позволяли надеяться, что с выполнением плана не должно быть проблем. И действительно, на протяжении первого полугодия никаких вопросов не возникало. Однако в сентябре появилась информация, что

машина «Сетунь» не поддается наладке и потому не пригодна для серийного производства. О том, что год назад на заводе был изготовлен, легко налажен и отлично показал себя на ВДНХ голубой образец этой машины, почему-то все забыли, будто бы его и не было вовсе. (Кстати, неизвестно, куда он исчез весной 1962 г. — в числе машин, сведения, об эксплуатации которых в дальнейшем поступали в ВЦ МГУ его не было. Если бы не Диплом 1-й степени, которого удостоен на ВДНХ Московский университет за создание «Сетуни», можно бы и впрямь сомневаться, существовал ли выставочный образец).

Пришлось заведующему ВЦ МГУ И.С. Березину ещё раз командировать в Казань нашу бригаду для выяснения сложившихся обстоятельств и оказания заводу необходимой помощи.

Обстановка на заводе явно свидетельствовала о нежелании руководства наладить серийный выпуск машины. Шёл уже октябрь, а из предписанных годовым планом десяти образцов был смонтирован только один, да ещё для двух-трех изготовлены каркасы стоек, хотя все необходимое для планомерного производства имелось в наличии уже год тому назад, когда построили выставочный образец.

«Неотлаживаемость» машины возникла в результате несоблюдения наших предписаний систематического поэтапного контроля параметров каждой поступающей на сборку компоненты — логических блоков, формирователей импульсов тока питания, усилителей сигналов для оперативного запоминающего устройства и т. п., а также вследствие неоправданной «рационализации» некоторых конструктивных узлов. Например, вентилятор, отсасывающий воздух из камеры магнитного барабана, переместили в интересах простоты крепления из-под её потолка на пол, на уровень забора воздуха, так что внешне казалось, что всё работает и даже выглядит складнее, а на самом деле воздух прокачивался по полу, тогда как в верхних слоях температура превышала допустимую более чем в два раза, и никакой отладкой добиться устойчивой работы памяти на магнитном барабане было невозможно.

В других случаях даже весьма искушенные умельцы-наладчики едва ли могли добиться успеха, поскольку пытались выявлять неисправности в машине в целом, не произведя надлежащего тестирования функциональной кондиционности всех её компонент отдельности. Оказалось, что наша документация, формулирующая технические требования к компонентам и методику проверки соблюдения их, почему-то не была предоставлена наладчикам и вообще находилась в архиве. Похоже, что это был «традиционный порядок», и именно в силу такой традиции нормальное производство осуществимо только при наличии военпредов, добивающихся выполнения необходимых требований на всех без исключения этапах, начиная с входного контроля первичных комплектующих.

Привести к норме «неотлаживающийся» образец оказалось далеко не простым делом: для выявления и устранения всех произведенных умельцами «рационализаций» следовало подвергнуть тестированию на соответствие техническим требованиям каждую функциональную компоненту, начиная с элементарных феррит-диодных ячеек, поскольку и они не избежали «рационализации». Проще было смонтировать машину заново, используя кондиционные ячейки Астраханского завода, но принятие такого решения едва ли отвечало целям тех, кому принадлежало право принимать его.

Оставалось заняться систематической перепроверкой всех блоков и составлением перечня привнесенных в конструкцию машины новшеств с тем, чтобы потребовать

восстановления её в первоначальном виде. Эта работа, проходившая в нервной обстановке разного рода комиссий, расследовавших причины случившегося, была завершена к октябрьским праздникам, на которые нас отпустили в Москву, пообещав, что к нашему возвращению выявленные огрехи будут устранены. Однако на практике процесс затянулся — вместо соблюдения наших требований пытались доказывать, что «ведь можно и так». Наконец, уже в двадцатых числах ноября машина обрела присущий ей изначально характер: тесты теперь выполнялись в нормальном и профилактических режимах, безошибочно решались контрольные задачи. Тем не менее состояние машины нельзя было признать удовлетворительным — странная неустойчивость наблюдалась в работе магнитного барабана. Нормально функционирующий в течение дня после установки оптимальных зазоров между магнитным покрытием и головками записывающего, на следующий день «отдохнувший за ночь» барабан оказывался совершенно неработоспособным, требующим регулировки заново всех зазоров. Будто бы кто-то ночью расстраивал злополучное устройство, беспорядочно смещая головки. В действительности причина загадочного явления заключалась в уже упоминавшемся «усовершенствовании» вентиляционной системы в камере магнитного барабана. Оно стало последним несоответствием, требующим корректировки. Барабану, а вместе с ним и машине в целом была возвращена устойчивость.

Проведенные 28-29 ноября заводские испытания этого первого серийного образца машины показали, что он полностью и со значительным запасом удовлетворяет техническим условиям. Образец работал без сбоев. Единственный отказ — пробой диода в составе рулонного телетайпа — произошел не в самой машине, а в периферийном устройстве, которым она укомплектована. Полезное время составило 95% от зачётного. Акт о проведённых испытаниях безоговорочно подтверждал пригодность машины для серийного производства, предотвращая возможность уклониться от выпуска предусмотренных планом истекающего года десяти машин. В течение декабря было выпущено 7 машин и получено разрешение Госплана перенести 3 машины на 1963 год.

Таким образом, решение о серийном производстве «Сетуни» осталось в силе, удавить «гадкого утенка» чиновники не смогли. Впрочем, на 1963 год запланировали выпустить опять только 10 машин, несмотря на большое число заявок, в том числе зарубежных, и отсутствие каких-либо трудностей с комплектующими либо недостатка производственной мощности — ведь в декабре 1962 года за один месяц собрали и выпустили 7 машин, причём наладка уже не составляла проблемы. В 1964 году завод поставил 21 машину и проявил желание заняться совершенствованием конструктивного оформления, а также технологии производства с целью увеличить выпуск ввиду того, что машина оказалась практичной, спрос на неё нарастал. К тому же Внешторг, подготовив необходимую документацию, запрашивал машины для экспорта. Однако, в ведомствах уже было принято иное решение (на сей раз без обсуждений и без испытаний) — производство машины «Сетунь» прекратить. Мы узнали об этом от подавших заявки на поставку её в 1964-1965 гг.: им было отказано, поскольку все машины, выпускаемые в 1964 г., уже распределены, а в 1965 г. машина снимается с производства (5 машин поставили ещё и в 1965 г.).

Невозможно объяснить такое «решение» ни научно-техническими, ни экономико-хозяйственными причинами. Машина благодаря простоте и естественности её архитектуры оказалась легко осваиваемой и эффективной в широком спектре практических применений в НИИ, на заводах, в вузах и техникумах, причём даже при полном отсутствии сервиса и запчастей, как правило, надёжно функционировала во всех климатических поясах от Ашхабада до Якутска, показывая у рачительных пользователей рекордные значения коэффициента полезного времени — 95-97%.

В феврале 1962 г. мне с Е.А. Жоголевым и С.П. Масловым по приглашению правительства ЧССР довелось побывать на заводе Яна Швермы в Брно, где предполагалось запустить в серийное производство нашу «Сетуль». Инициаторами этого проекта были чешские инженеры И. Крыже и И. Бранд, ознакомившиеся с машиной при посещении Вычислительного центра МГУ в 1960 году и, по-видимому, реально оценившие её коммерческие достоинства. Планировался выпуск в первый же год трехсот машин, и завод был вполне готов реализовать это. В отчёте о командировке, направленном в ГКНТ, мы предложили рассмотреть возможность сотрудничества с заводом Яна Швермы Астраханского завода ЭА и ЭП, уже освоившего производство логических элементов «Сетуни». Но вскоре стало известно, что передача документации для производства машины в ЧССР возможна лишь после освоения крупносерийного выпуска её в нашей стране, а затем выпуск был и вовсе прекращен.

Всего, с учётом опытных и выставочных образцов, было построено 50 машин, из которых 46 обладали заводскими номерами и функционировали в организациях — членах Ассоциации вычислительных машин «Сетуль», образованной по инициативе Вычислительного центра МГУ. ВЦ выступал в роли её организатора и штаба, систематически собирая данные о технической эксплуатации и об использовании машин, предоставляя консультации по вопросам инженерного и математического обеспечения, разрабатывая и издавая соответствующие инструктивные материалы (в серии «Математическое обслуживание машины «Сетуль» под редакцией Е.А. Жоголева вышло 30 выпусков с разработанными сотрудниками ВЦ интерпретирующими системами и программами решения типовых математических задач и обработки экспериментальных данных), а также организуя обмен опытом практического использования машины [6]. Плодотворными научными конференциями явились семинары пользователей «Сетуни», проведенные в 1965 г. на ВДНХ в Москве, в 1968 г. на Людиновском тепловозостроительном заводе (Калужская область), в 1969 г. в Иркутском политехническом институте. Несмотря на скромность её ресурсов, «Сетуль» оказалась необыкновенно благоприятной для создания автоматизированных систем различного назначения: в Военно-воздушной академии им. Жуковского на ней уже в 1965 г. работала система программированного обучения и автоматизированная система испытания авиационных двигателей, в Гидрометцентре — система краткосрочного прогнозирования погоды; в МХТИ и на химфаке МГУ — интенсивно используемые программы в области химии; в МИИТ — задачи строительной механики; в Иркутском политехническом институте — система оптимального планирования деятельности приборостроительного предприятия; в СибНИИЭ (Новосибирск) интерпретирующая система ИПН, позволяющая на «Сетуни» отлаживать программы для М-20; на Людиновском тепловозостроительном и на Владимирском тракторном заводах — комплексы программ конструкторско-технологического назначения; в НИИ «Пищепромавтоматика» (Одесса) — системы оптимизации сельскохозяйственного назначения; в Институте космофизических исследований и аэронавтики (Якутск) — «глобальная съёмка» космических лучей по материалам мировой сети станций.

Вопреки административному подавлению, практика явно свидетельствовала о верности реализованных в «Сетуни» принципов и решений. Очередным этапом явилась разработка на основе опыта её применений усовершенствованной малой цифровой машины, названной впоследствии «Сетуль 70». Заведующий ВЦ МГУ И.С. Березин утвердил 3 июня 1967 г. подготовленное мной совместно с Е.А. Жоголевым техническое задание по теме «Разработка эффективных логических структур и технических решений для малых цифровых машин», предусматривающее создание образца дешевой цифровой машины, усовершенствованной путем оптимизации её структуры (архитектуры) в комплексе с



системой математического обслуживания. Предполагалось, что программно осуществляемая на «Сетуни» стековая реализация алгоритмов в польской инверсной записи в новой машине станет аппаратурной, так что процессор будет выполнять послогово кодируемые бескомочные выражения, не требуя их трансляции. Машина обретала язык высокого уровня, оставаясь простой и эффективной. Кроме того, требовалось оснастить новый процессор системой прерываний, увеличить объём оперативной памяти, добавив программируемые пользователем страницы ПЗУ, увеличить ёмкость магнитного барабана, уменьшить потребляемую мощность, заменить ламповый источник питания транзисторным, уменьшить размеры машины и т.п.

Архитектура «Сетуни 70» была исчерпывающе описана [7] на модифицированном Алголе-60, что позволяло программно эмулировать новый процессор и разрабатывать его матобеспечение, не дожидаясь реализации машины «в металле». Было негласное обязательство завершить работу к апрелю 1970 г., и «машина в металле» к этому сроку появилась, выполняла все положенные тесты. Но та система матобслуживания, под которую эта машина была создана, не была готова к условленному сроку и нет её до сих пор.

Наступил очередной этап гонений. Иван Семенович Березин уже не возглавлял вычислительный центр, а Сергей Львович Соболев ещё в начале 1960-х годов уехал в Новосибирск, и теперь оказалось, что неуместно в университете, а тем более в вычислительном центре заниматься разработкой вычислительных машин. Нашу образованную в составе ВЦ МГУ по Постановлению ЦК КПСС и СМ СССР № 1121-541 от 6.10.1958 г. проблемную научно-исследовательскую лабораторию ЭВМ вскоре выдворили на чердак студенческого общежития. ??Сетунь 70?? мы взяли с собой, а наша первая «Сетунь», все ещё использовавшаяся факультетами для вычислений и обработки экспериментальных данных, была варварски уничтожена (сохранился только пульт управления, переданный впоследствии в Политехнический музей).

Приемлемой темой НИР оказалась «Разработка автоматизированной системы обучения на базе малой цифровой машины», к которой мы и приступили в 1972 г. Ознакомление с наследием Яна Амоса Коменского привело к заключению, что вопреки безуспешности попыток эффективно компьютеризовать обучение, существует возможность удовлетворительного решения этой проблемы весьма скромными техническими средствами, если иметь в виду не «электронное перелистывание страниц» и не развлекательную занимательность, а достоверное понимание и надёжное усвоение учащимися того, чему их учат. Компьютеру надлежит оптимально управлять обучением в соответствии с принципами Великой дидактики Коменского. Для достижения этого не надо ложной интеллектуальности, уподобления машины человеку. Она, кстати, выгодно отличается от человека неспособностью извращать положения рациональной дидактики и беспредельным терпением. Чем примитивней протокол общения с системой, тем меньше учащийся отвлекается от осваиваемого предмета и тем проще разработка учебного материала.

Реализованная на машине «Сетунь 70» с 27 терминалами учащихся автоматизированная система обучения «Наставник» первое практическое применение получила весной 1974 г. — был проведен подготовленный Н.С. Бахваловым коллоквиум по его курсу численного анализа на потоке численностью 150 студентов. Несмотря на чердачные условия, при которых и дневного света не было, не говоря уж о воздухе, тестироваться в системе всем понравилось, а установленные машиной оценки полностью подтвердились на экзамене в конце учебного года. Этот эксперимент убедительно подтвердил достаточность терминала с дюжиной клавиш и цифровым индикатором для обеспечения необходимого диалога

учащегося с системой. Учебный материал работающим в «Наставнике» предоставляется в печатном виде — принцип «книга + компьютер».

Ведущий разработчик программного обеспечения «Сетуни 70» Хосе Рамиль Альварес параллельно с созданием многотерминального экзаменатора, использованного для автоматизированного коллоквиума, интенсивно работал над реализацией подсистемы «Обучение» — главной дидактической компоненты «Наставника», которая «обкатывалась» на фрагментах учебного материала «Язык Фортран», создаваемого группой добровольцев (А.Л. Александров, В.Ш. Кауфман, Н.Б. Лебедева и др.). К 1977 г. подсистема «Обучение» вполне устоялась, курс «Язык Фортран» был готов и вскоре издан в виде 4-х брошюр по 40-60 страниц. Оказалось, что студенты 2-го курса факультета ВМиК досконально овладевают Фортраном за 10-15 часов обучения в «Наставнике» (экономистам требовалось 20-30 часов, но результат был гарантирован — все прошедшие курс легко справлялись с заданиями практикума). В последующие годы по нашим четырем книжечкам Фортран в «Наставнике» освоили более 5 тыс. человек. Наша лаборатория с «Сетунией 70» и «Наставником» переехала в новое помещение факультета ВМиК во 2-м учебном корпусе. «Наставник» стали использовать для проведения коллоквиумов по матанализу, дифурам, для тестирования первокурсников по английскому языку. Все это продолжается и поныне. Однако ни одного курса в системе «Обучения», подобного «Языку Фортран», не появилось. Их пытались создавать в иных, «интеллектуальных» системах компьютеризации обучения, но о достигнутой дидактической эффективности данных нет, поскольку практического применения результатов не было.

В начале 80-х годов мы реализовали «Наставник» на микрокомпьютерах отечественного производства, в частности, на ДВК-2М. Это открыло возможность распространения системы — она появилась на факультете психологии МГУ, в московской школе № 710, на алюминиевом комбинате в г. Турсун-Заде, на ЗИЛе, в МАИ, в Военно-инженерной академии им Куйбышева, где для неё создали более десяти курсов по различным предметам. В 1985 г. в связи с программой компьютеризации школ возникло предложение о серийном выпуске «Наставника» и создании для него комплекта курсов по основным школьным предметам, но предпочтение было отдано «более современным» комплексам компьютеров УКНЦ, на которых в отдельных школах пытались запустить «Наставник», но безуспешно вследствие их недостаточной надёжности.

Свидетельством актуальности практичной системы компьютерного обучения служит издание в 1990 г. нашей книги «Микрокомпьютерная система обучения «Наставник» [11] тиражом 86 тыс. экз. Неизвестно, была ли эта книга в действительности выпущена таким тиражом, но в последующие годы её потенциальным читателям видимо было не до «Наставника». А ведь проблема обучения остается нерешенной и ситуация усугубляется.

Другим направлением, начало которому положила «Сетунь 70», стало создание Диалоговой системы структурированного программирования (ДССП) [8]. Провозглашенное Э. Дейкстрой структурированное программирование (кстати, представляющее собой алгоритмическую разновидность «упорядочения» Яна Коменского) оказалось «созвучным» необычной стековой архитектуре «Сетуни 70», её процедурному характеру. Потребовалось видоизменить лишь четыре команды и ввести второй стек (стек процедур, или адресов возврата), чтобы превратить «Сетунь 70» в машину структурированного (а вернее сказать, структурирующего, потому что неструктурированно программировать на её языке нельзя) программирования. В дальнейшем эта двухстековая архитектура с постфиксным бесскобочным языком, названная ДССП, эмулировалась на двоичных компьютерах [9,10].

Предвиденные Э. Дейкстрой, но так и не реализованные в ходе «структурной революции» достоинства его метода воплощены в ДССП, по-видимому, с исчерпывающей полнотой: трудоёмкость разработки программ существенно сокращается, обеспечивается лёгкость понимания, версификации и модификации программы. Вместо отладки путем тестирования применяется «контрольная сборка» — поступенная восходящая проверка программы, гарантирующая с высокой вероятностью её безошибочность.

С середины 1990-х годов ДССП обрела новое направление развития, благодаря введению наряду с постфиксными также префиксных процедур и так называемых «конструктов» — определяемых пользователями высокоуровневых типов данных. В частности, посредством двоичных и троичных конструктов типа «булево выражение» осуществлена компьютеризация алгебры логики, включая преобразование алгебраических выражений к требуемому виду, решение булевых уравнений, выявление отношений, которыми взаимосвязаны данные выражения и т.п. [12, 13].

## Литература

1. Брусенцов Н.П. Вычислительная машина «Сетунь» Московского государственного университета. // Новые разработки в области вычислительной математики и вычислительной техники. Материалы научно-технической конференции. -Киев, 1960. С.226-234.
2. Жоголев Е.А. Система команд и интерпретирующая система для машины «Сетунь». // Журнал вычислительной математики и математической физики АН СССР, 1961, т.1, № 3. С.499-512.
3. Малая автоматическая цифровая машина «Сетунь» / Н.П. Брусенцов, Е.А. Жоголев, В.В. Веригин, С.П. Маслов, А.М. Тишулина. // Вестник Московского университета. Серия 1, 1962, № 4. С.3-12.
4. Брусенцов Н.П. Опыт разработки троичной вычислительной машины. // Вестник Московского университета. Серия 1, 1965, № 2. С.39-48.
5. Малая цифровая вычислительная машина «Сетунь» / Н.П. Брусенцов, С.П. Маслов, В.П. Розин, А.М. Тишулина. -М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1965.
6. Аннотированный указатель программ для вычислительной машины «Сетунь» / Составители: Н.П. Брусенцов, В.А. Морозов. -М.: ОНТИ ВЦ МГУ. Вып.1, 1968. Вып.2, 1971.
7. Брусенцов Н.П., Жоголев Е.А. Структура и алгоритм функционирования малой вычислительной машины.// Вычислительная техника и вопросы кибернетики. Вып. 8. -Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1971. С. 34-51.
8. Брусенцов Н.П. Заметки о троичной цифровой технике (6-е продолжение). // Архитектура и программное оснащение цифровых систем. -М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1984. С.114-123.
9. Диалоговая система структурированного программирования ДССП. //Брусенцов Н.П. Микрокомпьютеры. -М.: «Наука», 1985. С.141-170.
10. Диалоговая система структурированного программирования ДССП-80. / Н.П. Брусенцов, В.Б. Захаров, И.А. Руднев, С.А. Сидоров. // Диалоговые микрокомпьютерные системы. -М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1986. С.3-27.
11. Брусенцов Н.П., Маслов С.П., Рамиль Альварес Х. Микрокомпьютерная система обучения «Наставник». -М.: «Наука», 1990.
12. Интегрированная система обучения, конструирования программ и разработки дидактических материалов (Учебно-методическое пособие)/ Под ред. Н.П. Брусенцова. - М.: Изд-во ф-та ВМиК МГУ, 1996.

13. Опыт создания троичных цифровых машин. /Н.П. Брусенцов, Е.А. Жоголев, С.П. Маслов, Х. Рамиль Альварес. // Компьютеры в Европе, Прошлое, настоящее и будущее. - Киев, «Феникс», 1998. С .67-71.

Статья помещена в Виртуальный компьютерный музей 23.10.2008