

СЛАВНАЯ ТРИАДА

http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky_Essay_unique_rus.pdf

http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/chBooks_r.html

http://ukrainiancomputing.org/chBooks_r.html

© Б.М.Малиновський, 1998

**Глава из книги Б.Н.Малиновского "История вычислительной техники в лицах",
"КИТ", ПТОО "А.С.К." Киев, 1995.**

Михаил Александрович Карцев

М.А. Карцев принадлежит к той категории ученых, официальное и полное признание огромных заслуг которых приходит, по тем или иным причинам, после смерти, притом далеко не сразу. Академическая элита не удостоила его академических званий. Лишь десять лет спустя после его ухода из жизни основанный им Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов НИИВК (Москва) получил имя своего создателя.

Компьютерная наука и техника были его призванием. Они приносили ему и счастье творчества, и огорчения. Им он посвящал все свое время - на работе, дома, на отдыхе.

"Сколько я помню отца, - вспоминает его сын Владимир, - вся его жизнь проходила, в основном, в работе. У него не было хобби в общепринятом смысле этого слова. В свободное время он в основном читал. Иногда мы ходили в кино. Он никогда не занимался спортом, был активным противником дачи и машины. Однако с возрастом, когда у отца заболела нога, он все же приобрел "Волгу" и полюбил ее. Учиться водить машину в его возрасте было трудно, но в Москве он ориентировался прекрасно.

Отец был не из тех людей, кто жалуется на свои проблемы и склонен обсуждать их, из него практически невозможно было вытянуть фронтовые воспоминания, он жил не прошлым, а будущим."

Михаил Александрович Карцев родился в Киеве 10 мая 1923 года в семье учителей. Отец умер в том же году. Михаил вместе с матерью жил в Одессе, в Харькове, а с 1934-го по 1941 год - в Киеве, где в 1941 году окончил среднюю школу. Летом 1941 года его направили на оборонительные работы в Донбасс, а в сентябре призвали в армию, где он служил до февраля 1947 года. В годы Великой Отечественной войны танкист Карцев воевал в составе Юго-Западного, Южного, Северо-Кавказского и 2-го Украинского фронтов. Принимал участие в освобождении Румынии, Венгрии, Чехословакии, Австрии. За мужество, проявленное в боях, его, двадцатилетнего старшину, наградили медалью "За отвагу", орденом Красной Звезды, медалями "За взятие Будапешта" и "За победу над Германией". В ноябре 1944 года на фронте он стал кандидатом в члены КПСС, а в мае 1945 года был принят в члены КПСС.

После демобилизации М.А. Карцев поступил учиться в Московский энергетический институт (МЭИ) на радиотехнический факультет. На третьем году обучения экстерном сдал экзамены за следующий год и в 1950 году, будучи студентом 5-го курса, поступил на работу в лабораторию электросистем Энергетического института АН СССР (по совместительству), где принял участие в разработке одной из первых в Советском Союзе вычислительных машин - М-1. В 1952 году его направили в Энергетический институт АН СССР, где он был зачислен уже на постоянную работу в лабораторию электросистем в качестве младшего научного сотрудника. Работая над созданием ЭВМ М-2, он проявил незаурядные способности. Машина была создана небольшим коллективом всего за полтора года! (БЭСМ разрабатывалась вдвое дольше и

куда более крупным коллективом!). Конечно, ЭВМ М-2 уступала БЭСМ по характеристикам, но, как выразился сам Карцев, "это была машина солидная".

В 1957 году директор Радиотехнического института АН СССР академик А.Л. Минц обратился к И.С. Бруку с предложением разработать электронную управляющую машину (ЭУМ) для управления новым экспериментальным радиолокационным комплексом. Если быть точным, то подтолкнул его на это Брук. Случайно встретившись с Минцем на Кисловодском курорте он рассказал ему о работах своей лаборатории и заинтересовал возможностью использования ЭВМ в составе радиолокационных комплексов. Предложение было принято, и в декабре 1957 года Брук и Минц утвердили техническое задание на ЭУМ М-4. Руководителем работы по созданию машины был назначен М.А. Карцев. Этим было положено начало его деятельности в области создания средств вычислительной техники, ориентированных на использование в системах раннего предупреждения о ракетном нападении и наблюдения за космическим пространством. На то время это были наиболее сложные задачи по количеству информации, подлежащей обработке, по требованиям к скорости вычисления, объемам памяти и надежности технических средств.

К 1957 году электронной промышленностью были освоены и серийно выпускались первые отечественные транзисторы. Поэтому М-4 решено было проектировать на полупроводниковых приборах.

Для проведения работ по созданию ЭУМ, в только что организованном Институте электронных управляющих машин АН СССР была создана специальная лаборатория № 2 под руководством Карцева. В марте 1958 года состоялась защита эскизного проекта машины М-4, а в апреле того же года вышло постановление Совета Министров СССР об изготовлении электронной управляющей машины М-4. Был определен и завод-изготовитель, уже имевший опыт изготовления вычислительных машин; главным инженером этого завода работал А.Г. Шишилов, руководителем конструкторского бюро - В.С. Семенихин (впоследствии - академик, директор Научно-исследовательского института автоматической аппаратуры, Герой Социалистического труда, лауреат Ленинской и Государственных премий). В апреле 1958 года полный комплект конструкторской документации был передан на завод-изготовитель, и началась подготовка производства. Разработчики М-4 активно участвовали в ней на всех этапах изготовления и настройки. Этот опыт позволил коллективу во всех последующих разработках обеспечивать высокую технологичность разрабатываемых ЭВМ и особенно их отладки.

В 1959 году заводом были изготовлены и поставлены под комплексную настройку два комплекта М-4. В конце 1960 года первый комплект заработал и был передан Радиотехническому институту.

Для решения задач управления и обработки радиолокационной информации в реальном времени потребовалось устройство сопряжения станции с машиной М-4. В январе 1961 года директором ИНЭУМ И.С. Бруком было утверждено согласованное с представителями Радиотехнического института АН СССР техническое задание на быстродействующее устройство первичной обработки информации УПО, совместимое с машиной М-4. Руководство работами было поручено Ю.В. Рогачеву, тогда старшему инженеру.

В июле 1962 года совместные испытания ЭУМ М-4 с УПО и экспериментального комплекса были завершены и началась опытная эксплуатация разрабатываемой системы.

(Основные технические характеристики ЭУМ М-4 даны в Приложении 7.)

В ноябре 1962 года вышло постановление о запуске ее в серийное производство. Однако Карцев, поддержанный коллективом, предложил разработать и запустить в серийное производство новую машину, устранив в ней недостатки, имевшиеся в М-4, сделав ее более технологичной по изготовлению и настройке. Кроме того, к этому

времени была отработана новая система логических элементов с применением высокочастотных транзисторов, способная обеспечить значительно большее быстродействие. Появились и мощные транзисторы, что позволило полностью исключить из машины радиолампы.

Разработка и выпуск конструкторской документации новой машины М-4М (см. Приложение 8) были проведены в исключительно короткие сроки: в марте 1963 года на завод-изготовитель была передана документация на первый шкаф - арифметическое устройство, а в августе того же года - полный комплект документации на всю машину.

Ровно через год, в августе 1964 года, завод изготовил и поставил под настройку два первых образца машины. Всего два месяца потребовалось для их комплексной стыковки и настройки. В октябре того же 1964 года оба образца выдержали проверку по техническим условиям и были приняты заказчиком. Вместо установленного техническими требованиями быстродействия в 100 тысяч операций в секунду машина выполняла 220 тысяч, что превышало заданное быстродействие в два с лишним раза.

Машина оказалась технологичной в изготовлении и практически не требовала настройки. Производство М-4М продолжалось до 1985 года. (Было выпущено более сотни комплектов.)

Серия машин М-4М имела три модификации, условно обозначенные как 5Э71, 5Э72 и 5Э73, отличавшиеся объемами внутренней памяти. Для расширения возможностей применения дополнительно к ним был разработан ряд абонентских систем (АС-1, АС-2, АС-3 и др.), а также внешний вычислитель 5Э79. На базе этих машин были построены многомашинные вычислительные комплексы, объединенные в мощную вычислительную систему, работающую в реальном времени.

М.А. Карцев вспоминал с волнением и гордостью: "В 1957 году, 25 лет назад, началась разработка одной из первых в Советском Союзе транзисторных машин - М-4, работавшей в реальном масштабе времени и прошедшей испытания.

В ноябре 1962 года вышло постановление о запуске М-4 в серийное производство. Но мы-то прекрасно понимали, что машина для серийного производства не годится. Это была первая опытная машина, сделанная на транзисторах. Она трудно настраивалась, ее было бы трудно повторить в производстве, и кроме того, за период с 1957-го по 1962 год полупроводниковая техника сделала такой скачок, что мы могли бы сделать машину, которая была бы на порядок лучше, чем М-4, и на порядок мощнее, чем вычислительные машины, которые выпускались к тому времени в Советском Союзе. Всю зиму 1962/63 года шли жаркие споры. Руководство института (мы тогда были в Институте электронных управляющих машин) категорически возражало против разработки новой машины, утверждая, что в такие короткие сроки мы этого сделать ни за что не успеем, что это авантюра, что этого не будет никогда.

Конец этим спорам положило решение военно-промышленной комиссии Президиума Совета Министров СССР, изданное в марте 1963 года. И в этом же месяце мы передали предприятию, которое сейчас возглавляет В.А. Курочкин, документацию на первый шкаф машины - арифметическое устройство. К августу 1963 года была передана вся документация на машину, а в августе 1964 года завод выставил под настройку два первых образца. В октябре 1964 года, меньше чем через два года после выхода постановления правительства, первые два образца машины ушли в места эксплуатации, а в декабре 1964 года ушло еще пять машин. Эти машины выпускались в течение более чем 15 лет и сейчас еще верно несут свою службу..." (Из доклада, посвященного 15-летию НИИВК.)

По результатам научных исследований, выполненных при разработке машин серии М-4М, были защищены докторская диссертация М.А. Карцевым, кандидатские диссертации Л.В. Ивановым, Ю.В. Рогачевым, Р.П. Шидловским, Ю.Н. Мельником, Е.А. Брательским. В процессе проведения работ отдел, возглавляемый М.А. Карцевым,

расширился до 200 сотрудников. Было образовано пять лабораторий, которые возглавили кандидаты технических наук Ю.В. Рогачев, Л.В. Иванов, Р.Л. Шидловский, Е.В. Гливенко, Ю.Н. Мельник. В работах принимали участие около 30 конструкторов ИНЭУМ, а также службы института. Большой вклад в создание машины внесли Г.И. Танетов, В.А. Брик, Л.З. Либуркин, А.Г. Коновалов, Л.В. Иванов, Р.П. Шидловский, Р.П. Макарова, Г.М. Кабаенкова, В.М. Емелин, Ю.Н. Мельник. М.А. Карцеву была присуждена Государственная премия СССР (1967 г.).

Опережая время

Казалось, можно было успокоиться, отдохнуть от напряженнейшего труда или, во всяком случае, сделать передышку.

Этого не получилось и, наверно, просто не могло получиться. Еще в 1966 году Карцев выдвинул идею создания многомашинного вычислительного комплекса, построенного из вычислительных машин, специально разработанных для совместной работы в таком комплексе. Проведенные исследования показали, что производительность комплекса может достигнуть миллиарда операций в секунду. На то время ни одна из машин в мире не имела такой производительности! Это воодушевляло Карцева, увлекало коллектив разработчиков. Уже в 1967 году был разработан эскизный проект комплекса (ВК М-9). При защите в министерстве он получил положительную оценку.

ВК М-9 включал в себя процессор управления и четыре разновидности вычислительных машин: функционально-операторную, числовую, ассоциативную и внешний вычислитель.

Основная идея, заложенная в ВК М-9, состояла в том, что структура вычислительных машин должна быть рассчитана на работу не с отдельными числами, а с группами чисел, представляющими собой приближенные представления функций, либо многомерные вектора. Иными словами, должны быть учтены более глубокие смысловые связи в информации, чем связи, учитываемые в существующих машинах: не только между отдельными разрядами одного числа, но и между отдельными числами, представляющими собой значения одной функции. Соответственно все машинные операции должны быть определены не над пространствами чисел, а над пространствами функций. В число этих операций могут входить сложение, вычитание и умножение функций, сравнение функций, аналогичные операции над функцией и числом, отыскание максимума функций, вычисление неопределенного интеграла, вычисление определенного интеграла от производной двух функций, сдвиг функции по абсциссе и т.д.

Многие из этих операций могут быть истолкованы как известные операции над векторами: сложение и вычитание функций - как сложение и вычитание векторов, вычисление определенного интеграла от производной двух функций - как вычисление скалярного произведения двух векторов, сдвиг функций по абсциссе - как поворот вектора относительно осей координат и т.д.

Главное отличие такой машины (названной Карцевым функционально-операторной) от обычной состояло в организации взаимодействия арифметических устройств АУ. Они работали от одного общего тактирующего генератора, причем каждая машина выполняла свою операцию в течение одного или двух тактов, а в конце каждой операции и в начале следующей обеспечивался (без каких-либо дополнительных потерь времени) обмен информацией между выходом любого АУ и входом любого ЗУ (запись предыдущих операций) и между входом любого АУ и выходом любого ЗУ (чтение исходных данных для следующей операции), а также между АУ.

Векторная числовая машина, включенная в состав ВК М-9, осуществляла операции над частями функций или с многомерными векторами. Ассоциативная машина, обладая высокой производительностью, брала на себя большую часть "неквалифицированной" работы по переборам и упорядочению массивов информации. Числовая машина работала по самостоятельной программе и по программе, синхронизированной с другими машинами ВК М-9. Включение в синхронную работу разнородных вычислительных машин позволяло комплексу сохранить высокую производительность при работе с разнородной информацией и делало его универсальным вычислительным средством для решения широкого класса задач, требующих очень высокой производительности.

К сожалению, вычислительный комплекс М-9 промышленного освоения не получил, но его разработка и успешная эксплуатация макета явились наглядным

свидетельством огромного творческого потенциала коллектива, возглавляемого М.А. Карцевым. 1967 год стал знаменательным для разработчиков ВК М-9: был организован Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов НИИВК. Отдел Карцева стал его костяком, а самого Карцева назначили директором. Это было официальным признанием научной школы Карцева.

В 1969 году вышло постановление правительства о создании электронной вычислительной машины М-10, в основу которой была положена векторная числовая машина из ВК М-9.

По словам д.т.н. Л.В. Иванова, "этому предшествовало авторитетное совещание, на котором рассматривалась перспективность двух начатых разработок: "Эльбрус" (академик С.А. Лебедев) и М-10 (М.А. Карцев). Лебедев решительно высказался против многопроцессорное™ в "Эльбрусе" и отстаивал однопроцессорный вариант максимального быстрогодействия. Академик Глушков поддержал оба направления. Оба направления и были одобрены" (см. журнал "Вопросы радиоэлектроники", вып. 2 за 1993 г.). В этом же году началась разработка конструкторской документации и последовательная передача ее на завод-изготовитель. С 1970 года на заводе была начата подготовка производства и изготовление экспериментального образца. К середине 1970 года заводу-изготовителю была передана вся конструкторская документация, а через год, в августе 1971 года, завод поставил под настройку экспериментальный образец машины М-10. Одновременно шла корректировка конструкторской документации и изготовление устройств промышленных образцов машины. Этот год был очень тяжелым для М.А. Карцева. Напряженная работа сказалась на здоровье: обширный инфаркт на несколько месяцев уложил его в постель. К счастью, все обошлось благополучно.

К июню 1973 года все устройства первого образца были изготовлены, прошли проверку на соответствие техническим условиям и поставлены для комплексной отладки машины в целом. В сентябре того же года первый промышленный образец М-10 успешно выдержал комплексную проверку по техническим условиям и передан в опытную эксплуатацию и для отладки математического обеспечения.

В декабре 1973 года были завершены испытания и второго промышленного образца. Практически с этого момента началось серийное изготовление машин М-10. Производство продолжалось свыше 15 лет. Было изготовлено несколько десятков комплектов, большинство из которых до настоящего времени находится в эксплуатации. На базе машин М-10 был построен ряд мощных вычислительных комплексов. В 1976 году, работая в одном из таких вычислительных комплексов, машина М-10 вместе с математическим обеспечением успешно выдержала государственные испытания.

Создание ЭВМ М-10 было отмечено присуждением в 1977 году Государственной премии СССР группе специалистов НИИВК, завода-изготовителя и монтажной организации. В числе удостоенных звания лауреатов Государственной премии были: от НИИВК - заместители главного конструктора Л.В. Иванов, А.А. Крупский, Л.Я. Миллер, Ю.В. Рогачев, Р.П. Шидловский и разработчик математического обеспечения А.Ю. Карасик; от завода-изготовителя - главный инженер А.Г. Шишилов и заместитель главного конструктора по производству В.А. Мушников; от монтажной организации - главный инженер И.Н. Ярыгин. Главный конструктор ЭВМ М-10 М.А. Карцев был награжден орденом Ленина. Орденами и медалями СССР были награждены 118 сотрудников НИИВК и многие работники завода-изготовителя.

Вычислительная машина М-10 представляла собой многопроцессорную систему синхронного типа и относилась к машинам третьего поколения: в качестве основных логических элементов в ней использовались микросхемы серии 217 ("Посол"). Машина предназначалась для обеспечения работы сложных автоматизированных систем управления в-реальном масштабе времени, а также могла решать широкий круг научно-технических задач.

Уступая по производительности из-за несовершенства элементной и конструктивно-технологической базы появившейся в те же годы американской супер-ЭВМ "Cray-1", ЭВМ М-10 превосходила ее по возможностям, заложенным в архитектуру. Они определяются числом машинных циклов (в среднем) на одну выполняемую операцию. Чем оно меньше, тем более совершенна архитектура ЭВМ. Для М-10 оно составляет от 0,9 до 5,3 (для всего спектра операций), а для "Cray-1" - от 0,7 до 27,6. Здесь минимальные значения близки одно к другому, а максимальное значение для ЭВМ М-10 намного меньше максимального значения для "Cray-1" (по оценке д.т.н. проф. Б.А. Головкина, см. его статью "Эволюция параллельных архитектур и машин серии М"//Вопросы радиоэлектроники. Вып. 2 за 1993 г.).

Чтобы читателю была понятна важность создания ЭВМ М-10, следует сказать хотя бы несколько слов о ее основном назначении. Оно долго держалось в секрете, потому что машина разрабатывалась для Системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН), а также для общего наблюдения за космическим пространством. Информация об этом впервые появилась на страницах газеты "Правда" от 1 апреля 1990 г. (статья А.Горохова "Стояние при Пестрялове"). Задача системы - обеспечить военно-политическое руководство страны достоверной информацией о возможной угрозе ракетного нападения и обстановке в космосе, т.е. она имеет чисто оборонительный характер. Сейчас на околоземных орбитах находится около 17 тысяч объектов различного происхождения, включая действующие и отслужившие свой срок спутники, куски ракетносителей и пр. Первый эшелон СПРН - космический: по факелам запускаемых ракет спутники засекают их старт. Костяк системы - ее второй, наземный эшелон, включающий мощные радиолокационные станции, расположенные по окраинам страны (до развала СССР их было девять - под Ригой, Мурманском, Печерой, Иркутском, Балхашом, Мингечауром, Севастополем, Мукачевым), а также сеть вычислительных комплексов на базе ЭВМ М-10.

Даже обычная подготовка войск в наше время связана с пусками ракет разного класса. А если ядерные ракеты попадут в руки политических авантюристов, амбициозных "вождей", способных на так называемые "несанкционированные" пуски? Требуется быстрая и точная оценка подобной деятельности, иначе последствия могут быть убийственными для всей планеты. Не случайно, говорится в газетной заметке, вызрела парадоксальная, на первый взгляд, мысль о координации работы систем предупреждения и контроля космического пространства в планетарном масштабе.

Следует подчеркнуть исключительно высокие требования к вычислительной технике, используемой в таких системах: на подсчет траектории запущенной ракеты отводятся немногие секунды, а объем данных, поступающих в ЭВМ от радиолокационных станций, огромен.

(Основные технические характеристики ЭВМ М-10 даны в Приложении 9.)

К началу 1980 годов ЭВМ М-10 обладала наивысшими производительностью (по некоторым оценкам - 20-30 млн. операций в сек.), емкостью внутренней памяти и пропускной способностью мультиплексного канала, достигнутыми в СССР. Впервые в мире в ней был реализован ряд новых прогрессивных решений, в том числе: предусмотрена возможность синхронного комплексирования до 7 ЭВМ при прямом (минуя мультиплексный канал) обмене информацией между программами отдельных машин и динамическом разделении оборудования; реализована автоматическая перестройка поля процессоров; в состав ЭВМ введен второй уровень внутренней памяти емкостью более 4 млн. байт с произвольным доступом; обеспечен внешний обмен с обоими уровнями внутренней памяти.

Новизна технических решений защищена 18 свидетельствами на изобретения и 5 свидетельствами на промышленные образцы.

Большой объем внутренней памяти машины М-10 потребовал и значительного количества оборудования. Если все оборудование машины размещалось в 31 типовом шкафу, то оперативная память первого уровня, выполненная на ферритовых сердечниках типа М-100П2 с внешним

диаметром в 1 мм, занимала 8 таких шкафов, постоянная память - конденсаторного типа со сменными металлическими перфокартами в качестве носителя информации - занимала также 8 шкафов, большая память (память второго уровня) на сердечниках М-100П2 размещалась в 4 шкафах. С целью сокращения общего объема машины М-10 было принято решение провести исследование возможностей создания запоминающих устройств с теми же объемами памяти, но более компактных. Эти исследования дали положительные результаты: в 1974 году началась разработка новых запоминающих устройств. В качестве носителей информации в оперативной памяти первого уровня и в большой памяти (памяти второго уровня) использовались интегральные схемы; в постоянной памяти использовались тороидальные магнитные сердечники с диаметральными отверстиями, обеспечивающие неразрушающее считывание информации. В 1975 году конструкторская документация была передана на завод-изготовитель. Были изготовлены головные образцы этих устройств. Весь объем оперативной памяти первого уровня разместился в одном типовом шкафу. Объем большой памяти - в двух шкафах, объем постоянной памяти - также в двух шкафах. По своему функционированию новые устройства полностью обеспечивали все тактико-технические характеристики машины М-10.

С 1980 года машина стала выпускаться с новыми запоминающими устройствами и получила обозначение М-10М. Машины М-10 и М-10М были программно совместимы и полностью взаимозаменяемы.

Сам Михаил Александрович в докладе в год пятидесятилетия института так вспоминал о памятных годах его становления: "В 1967 году мы вышли с довольно дерзким предложением - проектом вычислительного комплекса М-9. Это было в год 50-й годовщины Октябрьской революции, поэтому вычислительный комплекс назывался "Октябрь". Для Минприбора, где мы тогда пребывали, это оказалось уж слишком. Нам сказали: "Идите вы к Калмыкову, раз уж работаете на него". И вот эту дату, это пятидесятилетие мы сегодня и празднуем.

Проект М-9 остался неосуществленным. Но в 1969 году началась разработка вычислительной машины М-10, которая в 1973 году впервые вышла на места эксплуатации. В течение ряда лет эта машина была мощнейшей в Советском Союзе и сейчас продолжает выпускаться и эксплуатироваться. На машине удалось получить уникальные научные результаты, в особенности в области физики. Нельзя сказать, что разработка М-10 была встречена с распростертыми объятиями. Нам говорили, по правде сказать, что мы психи, что нельзя собрать воедино такую грудку металла, что все это никогда не заработает. Это мы теперь приучили, так сказать, психологически, что большая вычислительная машина может состоять из такого количества аппаратуры. Тогда никто к этому готов не был. Да и работать нам было невероятно трудно: коллектив тогда трудился на "Соколе-1", в Большом Власьевском переулке (в полуподвале), в полуподвале на улице Бурденко, в полуподвале на Плющихе, на большой Почтовой улице, в полуподвале на улице Щукина и еще в нескольких местах по всей Москве.

Выделившись из ИНЭУМ, коллектив получил помещение бывшей столярной мастерской одного из предприятий на "Соколе" площадью 590 кв. метров. Чтобы разместить весь коллектив, пришлось искать по всей Москве и арендовать нежилые помещения, в основном полуподвального типа. Собственное здание - типовую школу - институт построил в 1975 году, а лабораторный корпус по специальному проекту - в 1985-1986 годах.

Но всегда была деловая и дружеская поддержка со стороны руководства Министерства, со стороны П.С. Плешакова (министра. - *Прим, авт.*), его заместителя В.И. Миркова, а сейчас - О.А. Лосева, со стороны руководства объединения, со стороны высших партийных органов, Госплана, комиссии Президиума Совета Министров СССР, со стороны дружественных предприятий, со стороны заказчика. "Они помогали нам работать, помогали вытянуть это дело.

И мы вытянули. Работа была отмечена Государственной премией СССР".

"Нам говорили.., что мы психи, что... это никогда не заработает", - сказал М.А. Карцев по поводу отношения многих авторитетов к ЭВМ-10 и вычислительным комплексам, включавшим две и три ЭВМ.

Скептиков нетрудно понять, если познакомиться с некоторыми цифрами. В БЭСМ-6 использовалось 60 тысяч транзисторов, 180 тысяч полупроводниковых диодов, 12 миллионов ферритных сердечников. Вычислительный комплекс из трех ЭВМ М-10 содержал 2100 тысяч микросхем, 1200 тысяч транзисторов, 120 миллионов ферритных сердечников. Это не только "груда металла", как сказал Карцев, но и труднопредставимое количество электронных элементов, объединенных в сложные схемы, которые надо было заставить слаженно работать.

И тем не менее вычислительные комплексы заработали... По мере отработки математического обеспечения и частичных аппаратурных доработок прекращение автоматической обработки данных за год составило всего 10 минут!

Не все относились с одобрением к выдающимся успехам Карцева и его замечательного коллектива. Вспоминаю такой случай.

Где-то в конце 60-х или начале 70-х годов мне в Киев позвонил Карцев и обратился с просьбой быть оппонентом по докторской диссертации сотрудника его института В.А. Брика, участника работ по ВК М-9. Знакомясь с присланной в Киев диссертацией, я убедился, что она далеко не заурядна - предлагались совершенно новые методы ускоренного выполнения ряда операций и соответствующие, проверенные практикой оригинальные схемные решения. В досконально исследованной области науки и техники, где, казалось, уже все изучено и расставлено по своим местам, автор диссертации сумел сказать новое и весьма весомое слово. Такого же мнения придерживался и второй оппонент, известный ученый, написавший ряд книг по вычислительной технике, А.А. Папернов. Поддержали диссертанта и выступавшие.

Нас обоих шокировало отрицательное решение ученого совета, возглавляемого академиком В.С. Семенихиным. Оно было явно необъективным. Члены совета, недоброжелательно относившиеся к Карцеву, "отыгрались" на его ученике.

Последний бой...

В 1978 году М.А. Карцев предложил приступить к работам по созданию новой многопроцессорной векторной вычислительной машины, используя опыт, полученный при разработке, изготовлении и эксплуатации машин М-10 и М-10М, а также новейшие достижения в технологии и в электронной технике. Решено было присвоить этой машине условное обозначение М-13.

В 1979 году коллектив начал разработку конструкторской документации. Были определены и заводы-изготовители, на которых предполагалось вести производство машины М-13. В течение 1980-1981 годов конструкторская документация комплектно по устройствам была передана на эти заводы.

М-13 стала машиной четвертого поколения. В качестве элементной базы в ней были использованы большие интегральные схемы. В архитектуре этой многопроцессорной векторной ЭВМ, предназначенной в первую очередь для обработки в реальном масштабе времени больших потоков информации, предусмотрены четыре основных части: центральная процессорная часть, аппаратные средства поддержки операционной системы, абонентское сопряжение, специализированная процессорная часть.

Центральная процессорная часть включает: арифметические процессоры (4, 8 или 16), главную оперативную память, главную постоянную память, оперативную память второго уровня, центральный коммутатор, центральное управление, устройство редактирования, мультиплексный канал. Аппаратные средства поддержки операционной системы имеют: центральный управляющий процессор, таблицы виртуальной трехуровневой памяти, средства поиска. Абонентское сопряжение включает: стандартизированное электрическое сопряжение,

программируемый интерфейс, сопрягающие процессоры (от 4 до 128). Специализированная процессорная часть состоит из контроллера технического управления, управляющей памяти гипотез, процессоров когерентной обработки (от 4 до 80).

Машина М-13 имела модульное построение и допускала переменную комп-лектакцию, способную оптимально обеспечить пользователю необходимые технические характеристики. Так, центральная процессорная часть имела три конфигурации и могла иметь производительность в зависимости от исполнения $12 \cdot 10^6$, $24 \cdot 10^6$ и $48 \cdot 10^6$ операций в секунду. При этом также соответственно изменялся и объем внутренней памяти, пропускная способность центрального коммутатора и пропускная способность мультиплексного канала. Так, объем внутренней памяти мог составлять 8,5, 17,0 или 34,0 Мбайт, пропускная способность центрального коммутатора - 800, 1600 или 3200 Мбайт/сек., пропускная способность мультиплексного канала - 40, 70 или 100 Мбайт/сек.

Абонентское сопряжение и специализированная процессорная часть могли комплектоваться еще более гибко.

Специализированная процессорная часть машины предназначена для обработки больших массивов относительно малоразрядной информации (быстрое преобразование Фурье, вычисление корреляционных функций, сравнение с порогом, проверка гипотез и др.) и имеет в качестве базовой операции произведение двух комплексных чисел (двухточечное преобразование Фурье). Специальный (комплексный) арифметический процессор выполняет эту базовую операцию за один машинный такт. Эквивалентное быстродействие линии комплексных процессоров на порядок превышает быстродействие линии арифметических процессоров на сопоставимых форматах данных.

Эквивалентное быстродействие специализированной процессорной части машины М-13 в максимальной комплектации при решении указанных выше задач может достигать $2.4 \cdot 10^9$ операций в секунду.

Абонентское сопряжение машины М-13 содержит операционную систему, систему программирования и отладки, файловую систему, систему документирования, библиотеку типовых программ и др. (см. Приложение 10).

Свое выступление в мае 1982 года в день пятнадцатилетия института М.А. Карцев закончил следующими словами:

"...Нам сейчас кажется, что мы никогда не выпускали в свет такой хорошей разработки (имеется в виду машина М-13. - *Прим. авт.*), как мы пытаемся выпустить сейчас, и что никогда так трудно не было выпустить разработку в свет, как сейчас, никогда мы не встречались с такими трудностями. Но я хочу вам просто напомнить, что мы переживали очередную влюбленность в каждую нашу разработку и трудности у нас всегда были невероятные. Я вот сейчас просыпаюсь ночами в холодном поту от того, что так медленно и с таким трудом идет производство нашего нового детища. Но понимаете, это, в общем, относится просто, наверное, к старческой бессонице. А на самом деле ведь от того дня, как мы получили задание правительства, прошло не очень много, прошло всего два года и восемь месяцев. И не может быть, чтобы наш коллектив, в котором есть и убежденные седидами и умудренные опытом ветераны, и энергичная и образованная молодежь, чтобы мы не вытянули это наше детище!

"Когда-нибудь мы вспомним это, и не поверится самим, но нам сейчас нужна одна победа, одна на всех, мы за ценой не постоим."

Последняя фраза взята М.А. Карцевым из песни, впервые прозвучавшей в памятном для многих фильме "Белорусский вокзал". И это не случайно. Бывший сержант-танкист остался фронтовиком, работал с максимальным напряжением сил и нервов, что на фронте приводило к подвигу (медаль "За отвагу" и орден Красной Звезды в 20 лет!), а в мирное время позволило ему и его коллективу совершать казалось бы, невозможное.

Завершающие проникновенные слова выступления М.А. Карцева перед сотрудниками созданного им с таким трудом института стали как бы его завещанием. Через год - 23 апреля 1983 г. - его не стало".

Один из немногих

Директором института и главным конструктором машины М-13 был назначен Ю.В. Рогачев, работавший при М.А. Карцеве главным инженером института и первым заместителем главного конструктора (см. биографическую справку. Приложение 11). Выполнить завещание основателя института и успешно завершить начатые им работы стало основной задачей коллектива НИИВК. Рогачев активно занялся поиском возможностей подключения специализированного завода к производству машины М-13 - последнего детища Карцева. Эти поиски увенчались успехом: в 1984 году промышленное производство машины М-13 было начато.

Под руководством Ю.В. Рогачева, при активном участии первого заместителя главного конструктора к.т.н. Л.Я. Миллера, заместителей главного конструктора к.т.н. Р.П. Шидловского, к.т.н. А.А. Крупского, к.т.н. А.Ю. Карасика, Е.И. Цибуля, а также руководителей отделов и лабораторий, ведущих специалистов по вычислительной технике и программированию были успешно проведены работы по выпуску и вводу в эксплуатацию машин М-13 вместе с программным обеспечением. Успешно продолжались работы и по созданию новых вычислительных комплексов на базе машин М-10М, в том числе и с использованием волоконных оптических линий.

Вклад коллектива института в развитие отечественной вычислительной техники был высоко оценен правительством: в 1986 году Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Высокие награды получили многие сотрудники института, в том числе Ю.В. Рогачев (орден Трудового Красного Знамени).

В продолжение всей своей деятельности М.А. Карцев проявлял высокую творческую активность. Его монографии по основам теории арифметических устройств и основам проектирования структуры ЭВМ стали настольными книгами для разработчиков вычислительной техники. Менее известны созданные под руководством Карцева ЭВМ, имевшие специальное назначение и находившиеся на вооружении Советской Армии. ЭВМ М-4М (шифр 5Э71, 5Э72, 5Э73) на порядок превосходили современные им М-220, БЭСМ-4 и др. Они несли дежурство на ответственных объектах с 1967 г. до 1981 г., выпускались серийно; наработка на отказ или сбой составляла в них 700-1000 часов.

ЭВМ М-10 (шифр 5Э66) значительно превосходила современные ей отечественные ЭВМ (БЭСМ-6, ЕС-1060).

Из ЭВМ 5Э71-5Э73 и 5Э66 был создан и находился в постоянной круглосуточной эксплуатации крупнейший в стране многомашинный комплекс, в котором по единому алгоритму работали 76 ЭВМ, соединенных каналами передачи данных длиной в десятки тысяч километров.

Карцев понимал, что ЭВМ, разработанные в Институте вычислительных комплексов, способны не только нести службу в оборонительной системе предупреждения ракетного нападения, но могут принести огромную пользу в научном исследовании при выполнении наиболее сложных научно-технических расчетов, которые в то время не могли быть выполнены ни на одной отечественной машине не только из-за более низкого быстродействия, но и из-за значительно меньшей емкости внутренней памяти. Несмотря на сопротивление военного административного аппарата, он добился разрешения на публикацию материалов об ЭВМ М-10, активно способствовал установлению связей с организациями, нуждавшимися в высокопроизводительной технике. По его инициативе на М-10 были проведены особо сложные научные расчеты: по механике сплошной среды (в 40-45 раз быстрее, чем на ЕС-1040), по моделированию плазмы (в 20 раз быстрее, чем на БЭСМ-6, для вариантов, помещающихся в ОЗУ БЭСМ-6, и в сотни раз быстрее для реальных вариантов). Впервые в мире на модели получены данные по явлению коллапса в плазме, чего не удалось сделать на СДС-7600 в США; часть этих результатов опубликована в докладах АН СССР (т. 245, 1979, No 2, с. 309-312),

трудах ХУ международной конференции по явлениям в ионизированных газах (Минск, июль 1981 г.), доложена на европейской конференции в Москве осенью 1981 г.

По оценкам Института прикладной математики АН СССР, быстродействие М-10 на 64-разрядном формате превосходит БЭСМ-6 (48 разрядов) в 3,6-4,6 раза, ЕС-1060 - в 3-5,6 раза, ЭВМ "Эльбрус-1-1" (48 разрядов) - в 2,4 раза.

Разработки М.А. Карцева были основаны на новых технических решениях, опережавших свое время: страничная организация памяти, сочетание операций с плавающей и фиксированной запятой в М-2 (1952-1956 гг.), микроэлементная структура команд ("модальности операций") в машине М-4 (1957-1959 гг.), магистральная ("конвейерная") структура в М-4М (1962-1964 гг.), программно-перестраиваемая линейка синхронных процессоров, векторная структура, быстродействующая оперативная память 2-го уровня в М-10.

В многопроцессорной системе 4-го поколения М-13 впервые реализована аппаратура пооперационных циклов (обеспечивающая независимость программы от числа процессоров в системе), аппаратура сегментно-страничной организации памяти (перекрывающая возможности файловой системы), программно-управляемый периферийный процессор для операций типа преобразования Фурье, Уолша, Адамара, Френеля, вычисления корреляционных функций, пространственной фильтрации и т.п. Среднее быстродействие центральной части - до 50 млн. операций в секунду (или до 200 млн. коротких операций в секунду), внутренняя память - до 34 Мбайт, скорость внешнего обмена - до 100 Мбайт в секунду, эквивалентное быстродействие периферийного процессора на своем классе задач - до 2 миллиардов операций в секунду.

М.А. Карцев - автор фундаментальных теоретических работ по вычислительной технике (5 монографий, 55 статей и отчетов, 16 изобретений). Книги "Арифметические устройства электронных цифровых машин" (русское издание - 1958 г., позднее переиздавалась за рубежом), "Арифметика цифровых машин" (1969 г.) заложили основы теории арифметических устройств; их выводы вошли в учебники. В последних монографиях "Архитектура цифровых вычислительных машин" и "Вычислительные системы и синхронная арифметика" (1978 г.) практически впервые сделана попытка поставить на научную основу проектирование общей структуры ЭВМ и аппаратуры для выполнения параллельных вычислений.

М.А. Карцев - один из инициаторов развертывания в СССР работ по использованию достижений оптоэлектроники в вычислительной технике. Впервые в СССР в НИИ вычислительных комплексов была создана волоконно-оптическая система для многомашинного комплекса из шести ЭВМ М-10.

Трудовые достижения М.А. Карцева отмечены орденом Ленина (1978 г.), орденом Трудового Красного Знамени (1971 г.), орденом "Знак почета" (1966 г.) и медалью "За доблестный труд". В 1967 году ему была присуждена Государственная премия СССР.

В 1993 г. Научно-исследовательскому институту вычислительных комплексов присвоено имя его основателя.

Рассказ о М.А. Карцеве я завершаю словами из письма его сына Владимира.

"Те немногие страницы, что я Вам посылаю, - это, конечно, гораздо меньше, чем заслужил отец.

Чем больше я думаю о нем, тем труднее мне ответить самому себе на вопрос, каким же он был. Несомненно, основным для него была его работа, но так же несомненно и то, что он достиг бы успехов и в ином деле, если бы судьбе было угодно заменить ему конструирование вычислительных машин на что-нибудь другое.

Отец очень ценил в человеке любой талант и умение, будь то способность решить теоретическую проблему или хорошо водить машину. К сожалению, очень часто ему приходилось общаться с теми, кто этими талантами не обладал, но от них зависела судьба его дела. В этих случаях многое приходилось ему брать на себя. Была и другая причина

такого поведения отца. Однажды он прочитал мне вслух примерно такой эпитафия, предваряющий книгу по теории графов: "Узнав, что его собирается посетить тетушка, ковбой Джон развил бурную деятельность, и когда тетушка приехала, ее встретили обедом. Тетушка была удивлена только тем, что тарелки были прибиты к столу гвоздями. После трапезы Джон свистнул собак, они примчались и вылизали все тарелки. "Приучить вас прибегать к столу, - сказал Джон, обращаясь к собакам, - было не так просто. Но дело того стоило. Тетушка тотчас уехала". Прочитав эпитафия, отец добавил: "Руководитель каждого проекта должен быть готов к тому, чтобы выполнить его весь своими руками. Это не так просто, но дело того стоит!".

Как бы между делом отец читал лекции студентам-вечерникам (днем он был на работе) и также между делом стал профессором. Тогда мне казалось это естественным, я думал, что с возрастом все становятся профессорами. Как-то я все же спросил его, когда он готовится к лекциям. "Да я просто рассказываю студентам главу за главой из моей новой книжки", - ответил отец. Действительно просто! Но и я был не лыком шит. "А что ты будешь делать, когда все главы кончатся, ведь книжка-то еще не дописана?" - спросил я. "А к тому времени и курс кончится", - отшутился отец. Больше вопросов у меня не было. А теперь их появляется все больше. Когда же отец успевал писать свои книги и статьи? Очень сомневаюсь, чтобы он мог хоть что-нибудь написать на работе.

Вот чего ему не надо было делать, так это "вработываться" в дело. Этот термин поймут многие люди творческих профессий, которым надо ловить вдохновение, чтобы взяться за перо. Он же писал книги в любую свободную минуту. Писал без черновиков. Рукопись сразу шла машинистке. Теперь уже никто не узнает, какой процесс предшествовал тому моменту, когда мысли переходили на бумагу, и действительно ли легко отцу писалось. У него не было хобби типа коллекционирования марок или строительства дачи. Наверное, в этом секрет того, что он постоянно был в форме и ему не надо было "вработываться": в какой-то мере создание книг и являлось его хобби.

Непрофессионализма отец не любил в любой области. Помню слова негодования, когда он собирал приемник из детского набора, в котором ни одна деталь не помещалась на отведенное ей место. Зато в преодолении трудностей, заслуживающих, на его взгляд, внимания, отец бывал безгранично терпелив. Когда отец занимался, он был удивительно спокоен.

Принимая экзамен у студентов, отец разрешал им приносить с собой любые книги. И уж конечно - я безгранично уверен в этом - он не требовал, чтобы они знали столько же, сколько он сам. И все же его экзамен не считали самым легким. Он требовал не запоминания информации, а понимания предмета. Многие ли могут похвастаться этим?

Интеллект отца остался в его разработках и книгах, работах его последователей, интеллигентность - только в памяти тех, кто знал его. Последнее качество делало отца более уязвимым в тех случаях, когда надо было договориться с властью предрешающими или потребовать что-то. Без интеллигентности, как и без чувства юмора, не было бы того человека, которого мы все помним.

Одними из любимых книг отца были "Двенадцать стульев" и "Золотой теленок" Ильфа и Петрова. Читали мы также их "Одноэтажную Америку", "Двух капитанов" Каверина (одно время у нас была привычка читать вслух). "Евгения Онегина" отец знал наизусть. Пожалуй, не только научные книги, но и литературу в более широком смысле можно назвать его увлечением. Довольно свободно читал также по-английски (научную литературу), а однажды довольно ловко и поговорил на этом языке с двумя арабами, с которыми мы попали за один столик в кафе. Когда я учил в школе немецкий и зубрил текст, отец, запомнив его на слух раньше меня, вдруг стал подсказывать мне и по-немецки. Вообще-то он учил только английский, но давным-давно заинтересовался популярным в те годы немецким и прочитал все школьные учебники. Этого оказалось достаточно.

По особому отец относился к "Педагогической поэме" Макаренко. Он находил здесь много параллелей со своей работой и своими трудностями в становлении нового дела. Цитировал то место, где говорится, что можно относиться к своим воспитанникам как угодно, но они никогда не будут уважать тебя, если ты не специалист в своем деле. Это не случайная цитата. На первом месте у отца была наука, администрирование (политика) было вторичным. Создавая свои машины, он был готов работать бесплатно. И уж потом к идеям приложились институт, место в депутатском корпусе, поздравления министра в полагающихся случаях. При отцовской интеллигентности (это качество вкралось в мое повествование почти как постулат - очень трудно его доказывать) быть преуспевающим начальником было для него также неестественно, как печь блины на крышке от котелка, что пришлось ему делать как-то во время войны. Однако он пек их. Я-то, ничего не понимая в его науке, видел, как ему было непросто. И все же я берусь утверждать, что его друзья любили его сильнее, чем не любили враги. Возможно, по степени такой асимметрии и следует в итоге судить людей. Но кто возьмется судить? Предполагаю, что его занятие преподаванием было подготовкой запасных позиций, если бы Институт, ныне носящий его имя, не состоялся. Но он, к счастью, состоялся.

Одним из отцовских любимых фильмов была киноэпопея "Укрощение огня". Нет, отец вовсе не был чужд романтики, я бы сказал, романтики интеллектуалов. Вероятно, отец увидел в этом фильме много близкого ему. За это он любил и книгу Виктора Некрасова "В окопах Сталинграда", хотя обычно книг о войне не читал, говоря, что в них нет ничего общего с тем, что ему довелось видеть самому. Заботиться о своем здоровье отец терпеть не мог. Наверное, если бы он для профилактики выезжал в санаторий, посещал бассейн, совершал прогулки, он прожил бы дольше. Однако это был бы не совсем он. А он хотел жить и умереть, не поступившись своим отношением к жизни, хотел оставаться настоящим директором созданного им института и лидером собственного направления в вычислительной технике".

Он был дорог всем, работавшим с ним, не только как авторитетнейший лидер и великий труженик, но и как добрый, внимательный к людям человек, очень честный и очень скромный. И если был у него недостаток, то только один - он был очень доверчив и считал, что все люди прекрасны, честны, добры и справедливы, как и он сам.

М.А. Карцев был и останется крупнейшей фигурой в мировой компьютерной науке и технике. Его имя золотыми буквами вписано в историю ее становления и развития.

В сборнике "Вопросы радиоэлектроники" (серия ЭВТ, вып. 2 за 1993 г.), посвященном 70-летию со дня рождения М.А. Карцева, д.т.н. Л.В. Иванов справедливо написал: "...Он относился к той немногочисленной категории людей, которые составляют цвет нации и без которых нация не может существовать".

Творец троичной ЭВМ

21 июня 1941 г., накануне дня начала Великой Отечественной войны восьмиклассник Коля Брусенцов был в Днепропетровске, участвовал в олимпиаде молодых музыкантов - дирижировал хором, исполнявшим его песню о дзержинцах. Все прошло замечательно.

А утром 22-го его и остальных, приехавших из Днепродзержинска, срочно отправили домой. Уже дома услышал по радио выступление Молотова. Запомнились слова "Победа будет за нами" и Богатырская симфония Бородина, зазвучавшая вслед за ними.

Так закончилось детство Николая.

Он родился 7 февраля 1925 г. на Украине в городе Каменское (теперь Днепродзержинск). Отец, Петр Николаевич Брусенцов - сын рабочего железнодорожника, окончил рабфак, а в 1930 году - Днепропетровский химический институт. Участвовал в

строительстве Днепродзержинского коксохимического завода. Умер в 1939 году в возрасте 37 лет.

Мать, Мария Дмитриевна (урожденная Чистякова), заведовала детским садом при заводе, где работал муж. Молодая женщина стойко вынесла тяжелый удар. Надо было позаботиться о троих детях. Николай был старшим из братьев. Младшему шел всего второй год. Не успели оправиться, как началась война. Начались бомбежки. Рядом с домом вырыли щели и прятались в них при налетах. Детский сад, где работала мать, вместе с Днепродзержинским коксохимическим заводом эвакуировали в Оренбургскую область. Урал встретил сорокаградусными морозами. Эвакуированные жили вначале в палатках, потом соорудили саманные бараки. Строили Орско-Халиловский металлургический комбинат. Николай работал учеником столяра. Весной 42-го года во время разлива реки Урал саманный барак, в котором жила семья Брусенцовых, оказался под водой, и они лишились остатков имущества.

И все-таки он не бросил учебу. Зимой посещал девятый класс вечерней школы в г. Новотроицке, а летом поехал в Екатеринбург (тогда Свердловск) и поступил в находившуюся там в эвакуации Киевскую консерваторию на факультет народных инструментов.

Через полгода - в феврале 1943 г., когда исполнилось 18 лет, его призвали в армию и послали на курсы радистов в том же Свердловске, а еще через полгода направили в 154-ю стрелковую дивизию, где он стал радистом в отделении разведки 2-го дивизиона 571-го артиллерийского полка. Дивизия находилась на переформировании под Тулой. Через две недели ее направили под Невель, где наши части находились в полуокружении. Ему запомнились слова немецкой листовки: "Вы в кольце, и мы в кольце, посмотрим, что будет в конце". До декабря 1943 г. дивизия занимала оборону, а потом вместе с остальными частями перешла в наступление и вышла к Витебску. Дивизион, в котором служил Николай, участвовал в неудачном наступлении на город. На болотистой местности гаубицы дивизиона при стрельбе погружались в болотную жижу, и стрельба становилась невозможной. Прекратился подвоз продуктов. Есть было нечего. Ноги Николая от холодной болотной воды распухли и покрылись волдырями. В одном из боев ему под ноги упала мина, но, к счастью, не разорвалась. "По семейному преданию, мама меня родила "в рубашке", - сказал Николай Петрович, рассказывая об этом. Потом было легче - успешные наступательные бои в Белоруссии, в Прибалтике, Восточной Пруссии. Молодого солдата - вчерашнего школьника наградили медалью "За отвагу" и орденом Красной Звезды. Из тех 25 восемнадцатилетних ребят, что в августе 1943 г. пополнили дивизию, к тому времени осталось пятеро... Здесь, за Кенигсбергом, Брусенцов встретил запомнившийся на всю жизнь день Победы.

После демобилизации он вернулся в Днепродзержинск и устроился на завод, где раньше работал отец. В 1946 г., когда его отца перевели в Калинин, он вместе со своей семьей переехал в этот город. Начал учиться в музыкальной школе и школе рабочей молодежи одновременно. В 1948 г. окончил десятый класс, получив аттестат отличника, и по совету товарища-москвича подал заявление на радиотехнический факультет Московского энергетического института. На вопрос, почему решил вместо музыки заняться радиотехникой, а потом вычислительной техникой, он ответил: "Я не мечтал стать ни композитором, ни творцом вычислительных машин, ни кем-либо еще. Странно, но мне никогда не приходило в голову делать что-либо ради успеха или выгоды. Пожалуй, главным, если не единственным, что двигало мной, было стремление сделать то, за что взялся, как можно совершеннее. Когда это удавалось, я испытывал (и испытываю) удовлетворение, а иногда и радость. У меня не было музыкальных способностей. Помню, как в Свердловске профессор продемонстрировал мне 6-летнего мальчика, безошибочно называвшего ноты, "извлекаемые" из рояля. Я не умел - не было абсолютного слуха. Страстного стремления стать музыкантом, похоже, тоже не было: когда ходил в 1-й или 2-

й класс школы, родители затеяли обучить меня игре на фортепьяно, но ничего не вышло, а от скрипки я отказался, не пробуя. Правда, попросил приобрести пионерский горн, самостоятельно освоил этот инструмент и стал неплохим горнистом. Охота к музыке появилась только в 5-м классе, играл на балалайке и домре в школьном оркестре. Подтолкнули к этому украинские песни ("Посіяла огірочки", "Їхали козаки", "І шумить, і гуде", музыка Глинки, которую и теперь боготворю, как и песни) и наш школьный музыкальный учитель П.П. Шпитяк, который не завлекал, а лишь показывал, как надо делать. Так что никакой мечты не было: понравилась песня - подобрал и играю, попробовал свою сочинить - тоже получилось и другим понравилась - поют. В Днепропетровске песня о дзержинцах исполнялась хором в сопровождении оркестра народных инструментов, - всего нас приехало около ста человек, собранных из нескольких школ. Помню лишь, что в общежитии после концерта мы долго не могли уснуть, швыряя друг в друга подушками".

Набор студентов в институт уже закончился, но он добился своего. Медкомиссию при приеме каким-то образом обошел, зная, что у него начался туберкулез. Но на первом курсе это открылось, и его хотели исключить из института. Послали в районную поликлинику для заключения о возможности продолжать учебу. Повезло на врача. Узнав в чем дело, доктор сказал: "Мой сын лишился одного легкого и прекрасно учится. Значит и вам это не противопоказано!".

Первый год учебы он не столько учился, сколько спал, пытаясь сном и лекарствами победить начавшуюся болезнь, и ему это удалось! Когда здоровье поправилось, он не только наверстал упущенное, но и стал одним из самых успевающих студентов. Вместе с ним учился М.А. Карцев В общежитии их комнаты были рядом. Карцев занимался самозабвенно, не считаясь со здоровьем, за год кончил два курса института, но к концу учебы нажил туберкулез, которым заболели в то время многие из студентов МЭИ.

Радиотехника очень увлекла Брусенцова. В ней было что-то от музыки - стройность теоретических выводов, возможность проектировать радиосхемы с нужными свойствами. Только палочку дирижера заменяли карандаш или ручка, которыми записывались формулы или делались расчеты.

Но главным было стремление овладеть ею, чтобы понять, как можно улучшить то громоздкое и тяжелое радиооборудование, с которым так Нелегко приходилось работать на войне. Радиотехнический факультет предоставлял для этого реальную возможность. "Не только я, но и Карцев, Матюхин, Легезо, Александриды обязаны своими успехами нашим превосходным учителям, в особенности таким как физик Ю.М. Кушнир, радиотехники В.А. Котельников, С.И. Евтянов, Н.С. Свистов, радиолокаторщик Ю.Б. Кобзарев, антешники А.Н. Казанцев, Г.З. Айзенберг, а также Б.В. Пестряков - конструктор навигационной самолетной аппаратуры и той радиостанции, которая была моим оружием на войне, - писал мне Брусенцов. - Говорили, кому Б.В. поставит "4", тот конструктором будет, а я могу похвалиться, что получил у него "5".

Учась на последнем курсе и готовя дипломный проект, Брусенцов столкнулся с необходимостью расчета сложных таблиц, освоил численные методы вычислений и составил таблицы дифракции на эллиптическом цилиндре (известны как таблицы Брусенцова). Так закладывался фундамент для его последующей работы в области вычислительной техники.

В 1953 г. после окончания института Н.П. Брусенцова направили на работу в СКБ при Московском университете, пообещав помощь в получении жилья. СКБ только становилось на ноги. Разработки носили случайный характер. Вначале Брусенцову поручили разработать ламповый усилитель нового типа. С задачей он справился, но удовлетворения от этой работы не получил, а в перспективе ничего интересного не было.

"Поплакался" Карцеву, работавшему в лаборатории И.С. Брука. Тот пригласил посмотреть уже работавшую ЭВМ М-2. Машина буквально покорила Брусенцова,

впервые увидевшего новое и столь многообещающее техническое средство. На его счастье, ЭВМ М-2 заинтересовался С.Л. Соболев. Он договорился о передаче машины университету. Брусенцова направили в лабораторию Брука осваивать М-2, чем он и занялся с огромным желанием. Но случилось непредвиденное. На выборах в Академию наук СССР Соболев проголосовал за кандидатуру С.А. Лебедева (в академики), а не И.С. Брука. Исаак Семенович обиделся и отменил передачу М-2 университету.

По словам Брусенцова, С.Л. Соболев, узнав об этом, сказал: "Может, это к лучшему. Надо при создаваемом ВЦ МГУ организовать проблемную лабораторию по разработке ЭВМ для использования в учебных заведениях". И добился перевода Брусенцова на механико-математический факультет.

Вспоминая свое первое знакомство с Соболевым, Н.П. Брусенцов говорил мне "Когда я вошел в кабинет Сергея Львовича, то меня словно озарило солнечным светом при взгляде на его открытое, доброе лицо. Мы сразу нашли взаимопонимание, и я благодарен судьбе, что она свела меня с этим изумительным человеком, блестящим математиком, широко эрудированным ученым, одним из первых понявших значение ЭВМ".

Соболев загорелся идеей создания малой ЭВМ, пригодной по стоимости, размерам, надежности для институтских лабораторий. Организовал семинар, в котором участвовали М.Р. Шура-Бура, К.А. Семендяев, Е.А. Жоголев и, конечно, сам Сергей Львович. Разбирали недостатки существующих машин, прикидывали систему команд и структуру (то, что теперь называют архитектурой), рассматривали варианты технической реализации, склоняясь к магнитным элементам, поскольку транзисторов еще не было, лампы сходу исключили, а сердечники и диоды можно было достать и все сделать самим. На одном из семинаров (23 апреля 1956 г.) с участием Соболева задача создания малой ЭВМ была поставлена, сформулированы основные технические требования. Руководителем и вначале единственным исполнителем разработки новой ЭВМ был назначен Брусенцов. Заметим, что речь шла о машине с двоичной системой счисления на магнитных элементах.

Соболев договорился с Л.И. Гутенмахером, в лаборатории которого в ИТМ и ВТ АН СССР к этому времени была создана двоичная ЭВМ на магнитных элементах, о стажировке Брусенцова в его лаборатории.

Авторитет Соболева "открыл двери" закрытой для всех лаборатории. "Мне показали машину и дали почитать отчеты, которые в электротехническом отношении, на мой взгляд, оказались весьма слабыми, - вспоминает Н.П. Брусенцов. - Например, одна из главных проблем - подавление "возврата информации" в феррит-диодных регистрах, как нетрудно было подсчитать, вообще была надуманной; практически не использовались пороговые возможности элементов. Но главное, что мне бросилось в глаза, - каждый второй ферритовый сердечник не работал, а использовался для "компенсации помех", которая в том исполнении принципиально не могла быть достигнута ни при каком подборе характеристик сердечников, чем только и занимались, выбрасывая в брак до 90% тороидов. Разобравшись в этих заблуждениях, я легко нашел схему, в которой работают все сердечники, но не одновременно, что и требовалось для реализации троичного кода. О достоинствах этого кода я, конечно, знал из книг, в которых ему уделяли тогда значительное внимание. Впоследствии я узнал, что небезызвестный американский ученый Грош ("закон Гроша") интересовался троичной системой представления чисел, но до создания троичной ЭВМ в Америке дело не дошло".

Именно тогда у него возникла мысль использовать троичную систему счисления. Она позволяла создать очень простые и надежные элементы, уменьшала их число в машине в семь раз по сравнению с элементами, используемыми Л.И. Гутенмахером. Существенно сокращались требования к мощности источника питания, к отбраковке сердечников и диодов, и, главное, появлялась возможность использовать натуральное

кодирование чисел вместо применения прямого, обратного и дополнительного кода чисел (см. Приложение 15).

После стажировки он разработал и собрал схему троичного сумматора, который сразу же и надежно заработал. С.Л. Соболев, узнав о его намерении создать ЭВМ с использованием троичной системы счисления, горячо поддержал замысел и позаботился о том, чтобы помочь молодыми специалистами. Изобрести сумматоры, счетчики и прочие типовые узлы не составило особого труда для Брусенцова: "Летом 1957 г. на пляже в Новом Афоне все детали были прорисованы в тетрадке, которую я захватил с собой, - вспоминает он. - Следующим летом мы с Карцевым плавали до Астрахани на теплоходе, но рисовать мне было уже нечего".

В 1958 г. сотрудники лаборатории (к этому времени их набралось почти 20 человек) своими руками изготовили первый образец машины.

Какова же была их радость, когда всего на десятый день комплексной наладки ЭВМ заработала! Такого в практике наладчиков разрабатываемых в те годы машин еще не было! Машину назвали "Сетунь" - по имени речки неподалеку от Московского университета.

Характеризуя роль участников создания "Сетуни", Н.П. Брусенцов писал: "Инициатором и вдохновителем всего был, конечно, Соболев. Он же служил примером того, как надо относиться к людям и к делу, непременно участвуя в работе семинара, причем в качестве равноправного члена, не более. В дискуссиях он не был ни академиком, ни Героем соцтруда, но только проникательным, смысленным и фундаментально образованным человеком. Всегда добивался ясного понимания проблемы и систематического, надежно обоснованного решения. "Кустарщина" - было одним из наиболее ругательных его слов. К сожалению, золотой век участия Соболева в нашей работе закончился в начале 60-х годов с его переездом в Новосибирск. Все дальнейшее стало непрерывной войной с ближним и прочим окружением за право заниматься делом, в которое веришь.

Е.А. Жоголев был нашим "главным программистом", а по существу, именно вдвоем с ним мы разрабатывали то, что впоследствии стало называться архитектурой машины. Он знал, чего хотел бы от машины программист, а я прикидывал, во что это обойдется, и предлагал альтернативные варианты. Когда же приняли троичную систему, то архитектурные проблемы радикально упростились, - важно было только не наумудрить, но наш семинар с Соболевым, Семендяевым и Шурой-Бурой разносил мудрствования в пух и прах.

Достоинства Жоголева намного превосходили его слабости. Он был подлинным генератором оригинальных идей и настойчиво продвигал их в практику. Достаточно указать такую его идею, как программирование на основе польской инверсной записи (ПОЛИЗ), благодаря которой "Сетунь" в весьма сжатые сроки и при минимальных программистских ресурсах (в группе Жоголева одновременно работало 5-7 человек) была оснащена вполне удовлетворительной по тем временам, добротной и, прямо скажем, блестящей системой программирования и набором типовых программ, таких как всевозможная обработка экспериментальных данных, линейная алгебра, численное интегрирование и то, что было важнейшим условием быстрого и продуктивного освоения машины пользователями. К сожалению, работа эта так и не была вознаграждена. Сам Жоголев, правда, получил серебряную медаль ВДНХ, но - как разработчик машины.

Как собирали первый экземпляр "Сетуни"? Во-первых, троичная машина оказалась намного регулярней и гармоничней, чем двоичные, поэтому проектирование ее не было мучительным и в проекте практически не было ошибок. На последнем этапе исправления потребовала только схема нормализации, а все прочее пошло сходу. Во-вторых, логические пороговые элементы были в такой степени отработаны и исследованы на физическом уровне, что дальнейшее построение из них устройств производилось по четко

установленным правилам, не затрагивая более вопросов технической реализации. В-третьих, требования к существенным характеристикам всех деталей, элементов, узлов и блоков были четко определены и строго контролировались на соответствующих этапах изготовления при помощи специально разработанных для этого стендов, сравнительно простых, но проверяющих именно те параметры, от которых зависела правильность и надежность функционирования. Все это вместе создало условия, в которых ошибки своевременно устранялись на самых ранних стадиях, а необходимость переделок была сведена к минимуму. Работа была проделана в короткие сроки и необыкновенно малыми силами. Осенью 1956 г., когда возникла идея троичного кода, в лаборатории было, кроме меня самого, два выпускника физфака МГУ (С.П. Маслов и В.В. Веригин), два выпускника факультета ЭВПФ МЭИ (В.С. Березин и Б.Я. Фельдман) и 5 техников или лаборантов, в большинстве подготовленных мной из учившихся до того специальностям электрика или механика. К концу 1958 г, когда машина стала функционировать, число сотрудников лаборатории приближалось к 20. Механические работы по изготовлению блоков, стоек, а также плат, на которых монтировались элементы, выполнялись по нашим эскизам в мастерской ВЦ и отчасти в мастерских физического факультета. Кроме того, первый вариант ЗУ на магнитном барабане был разработан по нашим спецификациям отделом Л.С. Легезо, работавшим в тесном контакте с нами. Впоследствии это устройство с несерийным барабаном на базе гироскопа с ламповой электроникой было заменено магнитно-полупроводниковым блоком с барабаном от машины "Урал".

Производственный процесс был организован так. Все мы работали в одной комнате площадью около 60 кв. м, уставленной лабораторными столами, на которых находились полученные по протекции Соболева списанные осциллографы ИО-3 и источники питания УИП-1. Все прочее проектировали и строили сами - стенды для исследования и сортировки ферритов, диодов, проверки ячеек, блоков. Рабочий день начинался "зарядкой": каждый сотрудник лаборатории, не исключая заведующего, получал пять ферритовых сердечников диаметром три миллиметра, предварительно проверенных на стенде, и при помощи обычной иголки наматывал на каждый пятьдесят два витка обмотки. Затем эти сердечники использовались лаборантами и техниками, которые наматывали на них обмотку питания и управляющие обмотки с меньшим числом витков (5 и 12 соответственно), монтировали ячейку на плате, припаивали диоды, проверяли кондиционность параметров, проставляли маркировку и личное клеймо контролера. Затем ячейки устанавливались в блоках (до 15 штук), и производился монтаж сигнальных и питающих проводов по монтажной схеме. Далее на стенде проверялась выполняемая блочком логическая функция (сумматор, дешифратор, распределитель управляющих импульсов того или иного типа...). Блочки устанавливались в блок, и проверялись функции, выполняемые блоком. Наконец, блоки устанавливались в стойку, выполнялся и проверялся межблочный монтаж жгутов. После этого, как правило, все работало, а если что-то не так, то обнаружить и исправить было сравнительно легко.

Внутри лаборатории функции распределялись так. Запоминающими устройствами занимались С.П. Маслов и В.В. Веригин, к которым позднее подключилась поступившая к нам Н.С. Карцева (жена М.А. Карцева, окончившая вместе с ним наш РТФ МЭИ); управлением внешних устройств занималась А.М. Тишулина, выпускница ЭВПФ МЭИ. выполнившая в нашей лаборатории дипломную работу по созданию устройства быстрого умножения. Дипломники из МЭИ, МВТУ, МИФИ, МИЭМ, Лесотехнического института и др. работали в лаборатории регулярно и немало делали, надеюсь, не без пользы для себя. В.П. Розин, окончивший физфак МГУ по ядерной физике, достался нам в качестве лаборанта, которому не находилось применения, однако он явился для меня надежной опорой в ответственной работе бездефектного изготовления элементов, включая отбраковку ферритовых сердечников и диодов".

Постановлением Совмина СССР серийное производство ЭВМ "Сетунь" было поручено Казанскому заводу математических машин. Первый образец машины демонстрировался на ВДНХ. Второй пришлось сдавать на заводе, потому что заводские начальники при помощи присланной из Минрадиопрома комиссии пытались доказать, что машина (принятая Межведомственной комиссией и успешно работающая на ВДНХ) неработоспособна и не годится для производства. "Пришлось собственными руками привести заводской (второй) образец в соответствие с нашей документацией, - вспоминает Брусенцов, - и на испытаниях он показал 98% полезного времени при единственном отказе (пробился диод на телетайпе), а также солидный запас по сравнению с ТУ по климатике и вариациях напряжения сети. 30.11.61 г. директор завода вынужден был подписать акт, положивший конец его стараниям похоронить неудобную машину".

Желания наладить крупносерийное производство у завода не было, выпускали по 15-20 машин в год. Вскоре и от этого отказались: "Сетунь" поставляли за 27,5 тыс. руб., так что смысла отстаивать ее не было - слишком дешева. Тот факт, что машины надежно и продуктивно работали во всех климатических зонах от Калининграда до Магадана и от Одессы и Ашхабада до Новосибирска и Якутска, причем, без какого-либо сервиса и, по существу, без запасных частей, говорит сам за себя. Казанский завод выпустил 50 ЭВМ "Сетунь", 30 из них работали в высших учебных заведениях СССР.

К машине проявили значительный интерес за рубежом. Внешторг получил заявки из ряда стран Европы, не говоря уж о соцстранах, но ни одна из них не была реализована.

В 1961-1968 гг. на основе опыта "Сетуни" Брусенцов вместе с Жоголевым разработали архитектуру новой машины, названной затем "Сетунь-70". Алгоритм ее функционирования был с исчерпывающей полнотой записан на несколько расширенном "Алголе-60" (за рубежом подобное делали затем на специально изобретаемых языках описания архитектуры, например, на ISP). Это описание заведующий ВЦ МГУ И.С. Березин утвердил в 1968 г. в качестве ТЗ на машину. Оно задавало инженерам предписание того, какую машину надлежит сделать, а программисты имели точное до битов описание, позволявшее заблаговременно создавать для нее программное оснащение, готовить эмуляторы ее архитектуры на имевшихся машинах и т.д. Было намечено, что к 1970 г лаборатория Брусенцова создаст действующий образец, а отдел Жоголева - систему программного обеспечения. "Сроки были в обрез, но в апреле 1970 г. образец уже действовал, - писал Н.П. Брусенцов. - Работал он на тестах, которые мне пришлось написать самому, потому что Жоголев не сделал по своей части буквально ничего. Он увлекся другой работой в сотрудничестве с Дубной. Машину мы все же "оседлали", помог программист из команды Жоголева - Рамиль Альварес Хосе, а еще через год, "слегка" модернизировав "Сетунь-70", сделали ее машиной структурированного программирования. (Об этом подробно см. статью Н.П. Брусенцова и др. в сборнике "Вычислительная техника и вопросы кибернетики" вып. 15. МГУ, 1978; там же - о преимуществах троичности. - *Прим. авт.*).

Машина задумана так, что обеспечивалась эффективная возможность ее программного развития. Теперь это называют RISC-архитектурой. Троичность в ней играет ключевую роль. Команд в традиционном понимании нет - они виртуально складываются из слогов (слоги-адреса, слог-операции, длина слога - 6 тритов, иначе; трайт - троичный аналог байта). Длина и адресность команд варьируются по необходимости, начиная с нулядресной. На самом деле программист не думает о командах, а пишет в постфиксной форме (ПОЛИЗ) выражения, задающие вычисления над стеком операндов. Для процессора эти алгебраические выражения являются готовой программой, но алгебра дополнена операциями тестирования, управления, ввода-вывода. Пользователь может пополнять набор слогов своими операциями и вводить (определять) постфиксные процедуры, использование которых практически не снижает быстродействия, но обеспечивает идеальные условия для структурированного

программирования - то, чего не обеспечил Э. Дейкстра, провозглашая великую идею. Результат - трудоемкость программ уменьшилась в 5-10 раз при небывалой надежности, понятности, модифицируемости и т.п., а также компактности и скорости. Это действительно совершенная архитектура и к ней все равно придут".

К сожалению, лаборатория Н.П. Брусенцова после создания машины "Сетунь-70" была лишена возможности, а точнее - права заниматься разработкой компьютеров и выселена из помещений ВЦ МГУ на чердак студенческого общежития, лишенный дневного света. Создание ЭВМ - не дело университетской науки, так полагало новое начальство. Первое детище Брусенцова - машина "Сетунь" (экспериментальный образец, проработавший безотказно 17 лет) была варварски уничтожена, - ее разрезали на куски и выбросили на свалку. "Сетунь-70" сотрудники лаборатории забрали на чердак и там на ее основе создали "Наставник" - систему обучения с помощью компьютера. "Наставником" занялись по рекомендации Б.В. Анисимова, который был тогда заместителем председателя НТС Министерства высшего образования СССР. Выслушав Брусенцова, он сказал ему: "Займитесь обучением с помощью компьютера, этого никто не запретит".

"Мне, конечно, было горько от того, что нас не поняли, но затем я увидел, что это нормальное положение в человеческом обществе, и что я еще легко отделался, - с горьким юмором написал Брусенцов. - А вот Уильям Оккам, проповедовавший трехзначную логику в XIII веке, с большим трудом избежал костра и всю жизнь прожил изгоем. Другой пример - Льюис Кэррол, которому только под личиной детской сказки удалось внедрить его замечательные находки в логике, а ведь эта наука до сих пор их замалчивает и делает вид, что никакого Кэррола не было и нет. Последний пример, показывающий, что и в наши дни дело обстоит так же (если не хуже), - Э. Дейкстра, открывший (в который раз!) идеи структурирования. Сколько было шума - конференция НАТО, сотни статей и десятки монографий, "структурированная революция" бушевала едва ли не 20 лет, а теперь опять все так, будто ничего и не было.

Полноценная информатика не может ограничиться общепринятой сегодня по техническим причинам двоичной системой - основа должна быть троичной. Как-то я встретился с Глушковым и попытался поговорить об этом. Как истинный алгебраист Глушков сказал тогда, что вопрос о том, включать пустое или не включать, давно решен: включать! Но в действительности все не так просто. Современные математики, в особенности Н. Бурбаки, в самом деле считают, что Аристотель не знал "пустого", поэтому его логика несовместима с математической логикой и математикой вообще. Если бы они почитали Аристотеля, то могли бы узнать, что именно им введено не только это понятие, но и буквенные обозначения переменных и прочих абстрактных сущностей, которыми кормится современная математика, не всегда осознавая их смысл. Оказалось, что Аристотель за 2300 лет до появления компьютеров и расхожего теперь термина "информатика" не только заложил достоверные основы этой науки (у него это называлось "аналитика", "диалектика", "топика", "первая философия"), но и поразительно эффективно применил ее методы к исследованию таких областей как этика, поэтика, психология, политика, о чем мы со своими ЭВМ пока и мечтать боимся.

Отдельные примеры алгебраизации (достоверной) аристотелевской логики я опубликовал в виде статей "Диаграммы Льюиса Кэррола и аристотелева силлогистика" (1977 г.), "Полная система категорических силлогизмов Аристотеля" (1982 г.).

У меня налицо убедительные доказательства верности открытого пути. С какой легкостью была создана "Сетунь", как просто ее осваивали и продуктивно применяли пользователи во всех областях, и как они плевались, когда пришлось переходить на двоичные машины. Наивысшее достижение сегодня - RISC-архитектура - машины с сокращенным набором команд (типично - 150 команд), но где им до "Сетуни", у которой 24 команды обеспечивали полную универсальность и несвойственные RISC

эффективность и удобство программирования! Истинный RISC может быть только троичным.

В сущности мы его уже сделали, это "Сетуль-70" - машина, в которой неизвестные в то время (1966-1968 гг.) RISC- идеи счастливо соединились с преимуществами трехзначной логики, троичного кода и структурированного программирования Э. Дейкстры, реализованного как наиболее совершенная и эффективная его форма - процедурное программирование в условиях двухстековой архитектуры. Впоследствии на этой основе была создана реализуемая на имевшихся двоичных машинах диалоговая система структурированного программирования ДССП, а в ней множество высокоэффективных, надежных и поразительно компактных продуктов, таких как "Наставник", кросс системы программирования микрокомпьютеров, системы разработки технических средств на базе однокристалльных микропроцессоров, системы обработки текстов, управления роботами-манипуляторами, медицинский мониторинг и многое другое.

Сейчас мы развиваем ДССП в "процедурный ЛИСП". Известно, что ЛИСП - единственный язык, на котором можно сделать все: от управления простейшими системами до проблем искусственного интеллекта и логического программирования. Но ЛИСП с его функциональным программированием и списковыми структурами программ и данных - это магия, доступная немногим. Мы обеспечим те же (и больше) возможности, но без магии, К сожалению, приходится делать это не на троичной машине и полного совершенства достичь не удастся, но и в двоичной среде многое можно значительно упростить и улучшить. Правда, отдельные фрагменты трехзначной логики используются в двоичной ДСПП как логика знаков чисел (-, 0, +), также в виде трехзначных операций конъюнкции и дизъюнкции, существенно ускоряющих принятие решений.

Все же главным применением трехзначной логики стала у меня теперь силлогистика и модальная логика Аристотеля. Арифметические и машинные достоинства троичности в достаточной степени были освоены нами уже в "Сетуни-70" - операции со словами варьируемой длины, оптимальный интервал значений мантиссы нормализованного числа, единый натуральный код чисел, адресов и операций, идеальное естественное округление при простом усечении длины числа, алгебраические четырехходовые сумматоры и реверсивные счетчики, экономия соединительных проводов и контактов за счет передачи по каждому проводу двух несовместимых двузначных сигналов (т.е. одного трехзначного). Короче говоря, все, о чем мечтает Д. Кнут в "Искусстве программирования для ЭВМ", мы уже осуществили. Адекватное отображение логики Аристотеля в трехзначной системе откроет выход компьютерам на те проблемы, которые он в свое время исследовал и которые сегодня, по-моему, актуальней вычислительной математики и электронной почты, а тем более одуряющих компьютерных игр. К тому же логика приобретет естественный вид и ее можно будет наконец пустить в школу, чтобы учились соображать, а не занимались зубрежкой".

Тяготы войны и напряженная работа без достаточного отдыха сказались на здоровье: в конце семидесятых годов Н.П. Брусенцов тяжело заболел.

Во Всесоюзном центре хирургии в Москве ему вначале отказали в операции, считая положение безнадежным. И только вмешательство директора центра Бориса Васильевича Петровского спасло ему жизнь: он сам взялся прооперировать приговоренного к смерти ученого. Операция (она имеет специальное название - операция Гартмана) шла пят часов. Семидесятивосьмилетний знаменитый хирург подарил Н.П. Брусенцову вторую жизнь... Был еще один человек, которому ученый не менее обязан: его жена Наталия Сергеевна Казанская взяла на себя все тяготы ухода за мужем и в больнице и дома. Через год пришла еще одна победа - на этот раз над, казалось, неизлечимой болезнью...

Прав или не прав Н.П. Брусенцов - покажет время. Со своей стороны приведу лишь один факт. В декабре 1993 г. я встретился с известным специалистом в области компьютерной науки профессором С.В. Клименко, работающим в вычислительном центре Института физики высоких энергий (г. Протвино Московской области). Ученый только что возвратился из США, где по просьбе американской стороны прочитал небольшой курс лекций по истории развития компьютерной науки и техники в Советском Союзе. На мой вопрос - о чем и о ком спрашивали его американские слушатели, он ответил: "Почему-то только о Брусенцове и его машине "Сетунь".

Мы же по-прежнему считаем - нет пророков в своем отечестве! А может, интерес американцев к трюичной ЭВМ и ее творцу не случаен?..

В настоящее время Николай Петрович Брусенцов заведует лабораторией ЭВМ факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Основными направлениями его научной деятельности являются: архитектура цифровых машин, автоматизированные системы обучения, системы программирования для мини- и микрокомпьютеров. ЭВМ "Сетунь-70" до сих пор успешно используется в учебном процессе в Московском университете. Н.П. Брусенцов является научным руководителем тем, связанных с созданием микрокомпьютерных обучающих систем и систем программирования. Им опубликовано более 100 научных работ, в том числе монографии "Малая цифровая вычислительная машина "Сетунь" (1965 г.), "Миникомпьютеры" (1979 г.), "Микрокомпьютеры" (1985 г.), учебное пособие "Базисный Фортран" (1982 г.). Он имеет 11 авторских свидетельств на изобретения. Награжден орденом "Знак Почета", Большой золотой медалью ВДНХ СССР. Лауреат премии Совета Министров СССР.

Основоположник нетрадиционной компьютерной арифметики

Израиль Яковлевич Акушский родился 30 июля 1911 г. в Днепропетровске в семье главного раввина города, ставшего после революции учителем.

Еще обучаясь в Московском государственном университете, начал работать вычислителем в Научно-исследовательском институте математики и механики МГУ.

Его наставником был Л.А. Люстерник, создатель функционального анализа, работавший в Математическом институте им. В.С. Стеклова АН СССР. В то время техника вычислений мало кого интересовала, Люстерник был скорее исключением. Однако благодаря надвигавшейся войне это направление в математике стало быстро развиваться. Математическому институту, куда в 1936 г. перешел на работу Акушский (на должность младшего научного сотрудника), была поручена разработка таблиц стрельбы для артиллерийских орудий и навигационных таблиц для военной авиации. С этой целью в 1939 году в институте была создана первая в стране вычислительная лаборатория, руководителем которой и был назначен Акушский. Объем вычислений намечался по тем временам грандиозный, и, естественно, возник вопрос - на чем считать, чтобы вовремя справиться с заданиями. В те годы для этих целей использовались арифмометры, счеты, логарифмические линейки. Выпуск счетно-перфорационных машин в стране только начинался. Между тем в США фирма IBM уже выпускала надежную технику. В 1940 г. она привезла в Москву и выставила в Политехническом музее комплект счетно-аналитических машин. Фирма производимые ею машины не продавала, а только сдавала в аренду, поэтому купить их не было никакой возможности. В результате невероятных усилий Акушского комплект машин из Политехнического музея был перебазирован в Математический институт, где и поступил в распоряжение вычислительной лаборатории, ставшей таким образом первой лабораторией механизированного счета - зародышем будущих вычислительных центров. "В 1942 г. фирма IBM попросила Политехнический музей вернуть машины в США, - вспоминает И.Я. Акушский. - Естественно, руководство

музея переслало этот запрос Математическому институту. Мне предстояло подготовить ответ. Разумеется, о возвращении машин не могло быть и речи - это лишило бы институт возможности выполнения ряда важных оборонных заданий.

Я составил ответ в том плане, что, по условиям военного времени, многое ценное оборудование в централизованном порядке эвакуировано в отдаленные районы страны, не подвергающиеся бомбардировкам, и в данное время затруднительно даже установить, где конкретно находится это оборудование.

Когда я представил проект ответа на подпись вице-президенту АН СССР академику И.П. Бардину, он рассердился, заявив, что я подсовываю липу, ведь он пару дней тому назад был у нас в институте, и именно я демонстрировал это оборудование и рассказывал о наших работах. Конечно, я извинился и описал ему, в каком положении мы окажемся, если отдадим машины. Кое-как удалось этот вопрос отрегулировать".

С началом войны большая часть института была эвакуирована, но часть сотрудников, в том числе и Акушский, оставалась в Москве, работая на армию. Считали штурманские таблицы для авиации. Не раз в институт приезжал М.М. Громов, сподвижник легендарного Чкалова и шел прямо к И.Я. Акушскому за очередными результатами. На предложение зайти к руководству, смеясь, отвечал, что руководства у него и своего достаточно, а сюда он приехал по делу к Акушскому. Иногда он забирал его с собой в краткосрочные командировки. Встревоженной жене Громов обещал вернуть мужа в целости и сохранности, потом они ехали на аэродром, за несколько часов оказывались где-нибудь в Саратове, где выполнялась очередная срочная работа. Акушский консультировал или проверял работу вычислителей, и к утру возвращались в Москву.

Но бывали и другие ситуации. Однажды ночью Акушского забрали на Лубянку. Там же оказался и начальник его отдела. Разговаривали с ними сухо и официально: "По вашим методикам составлялись штурманские таблицы для полетов авиации?" - "Да". - "Несколько дней назад на Дальнем Востоке из полета не вернулся самолет, выполнявший особое задание. Связь с ним потеряна, если его не найдут, вы будете отвечать по законам военного времени!". Когда удалось справиться с нервами, Акушский переспросил: "На Дальнем Востоке?" - "Да". - "Скорее всего, штурман самолета не учел факт перехода за 180-й меридиан, где поправки надо брать с противоположным знаком! Есть какие-либо данные об их маршруте?" Когда такие данные были предоставлены, он рассчитал траекторию возможного движения самолета. По этим данным нашли остатки самолета, и сотрудников института с извинениями отпустили.

Им пришлось еще немало потрудиться до конца войны; например, как-то рассчитывали по спецзаданию 50 маршрутов перелета Москва-Тегеран и обратно, - как выяснилось, для перелета Генералиссимуса на встречу "большой тройки" в 1943 г.

Надежная и производительная (по тем временам) американская техника помогала лаборатории успешно выполнить важную работу по созданию таблиц для определения курсового угла и дальности полета для авиации дальнего действия.

Работал с увлечением, весь отдавая любимому делу, не считаясь со временем. Таблицы были изданы АН СССР (тогда - под грифом секретно). За качественное и быстрое выполнение задания он получил премию от главного командования военной авиации страны. Это был первый серьезный успех на выбранном им поприще. Так, с первых же месяцев Великой Отечественной войны он стал ее косвенным участником: штурманы самолетов, летавших бомбить Берлин, использовали составленные им таблицы. Через несколько месяцев из осажденной врагами Москвы его откомандировали в блокадный Ленинград - там завершалась начатая им в Москве работа по подготовке таблиц для радиолокационных систем Военно-морского флота. Видя, как разрушается снарядами и голодом многострадальный город, работал почти без отдыха, за десятерых.

В конце 1943 г. вернулся в Москву. Рассказав директору института академику Виноградову о выполненной работе, не утерпел, добавил, что мог бы быстро подготовить кандидатскую диссертацию по проблеме применения счетно-аналитических машин для решения математических задач. Все основания для этого были: он впервые в стране ввел и применил для вычислений двоичную систему счисления, которая впоследствии стала основой для всей вычислительной техники, разработал теорию и методы вычислений для задач радионавигации, пеленгации, локации.

Академик нахмурился:

- Освободить вас от дел в лаборатории сейчас не могу, но когда позволят обстоятельства, сообщу.

Свое слово он всегда держал крепко и в феврале 1945 г. вызвал Акушского к себе:

- Встречался с маршалом Жуковым. - сказал академик, - война идет к концу, теперь можете заняться диссертацией! - И отдал распоряжение, чтобы заведующего вычислительной лабораторией не тревожили в течение всего рабочего дня за исключением первого утреннего часа.

К маю диссертация была готова, о чем Акушский сообщил директору. Разговор, как всегда, был очень коротким:

- Хорошо, рассмотрим на совете! Оппонентами будут академик Лаврентьев и профессор Семендяев!

- Но Лаврентьев отвечает на письма через год! Он затянет подготовку рецензии!

- Не морочьте мне голову! Он все сделает вовремя!

- А Семендяев ко мне ревностно относится! Я сам слышал, что он говорил о моих работах!

- Это он в коридоре так говорит. Пусть скажет на совете!

В конце июня появились отзывы. Оба положительные. Профессор К.А. Семендяев, передавая отзыв, попросил тут же прочитать, а после этого спросил:

- Ну, как?

Пришлось Акушскому сказать:

- Вы меня перехвалили!

Защита была назначена на 5 июля 1945 года, прошла очень успешно, хотя не обошлось без волнений - члены совета могли уйти в отпуск. Встретив директора института за несколько дней до защиты, Акушский высказал свои опасения. Академик хитро улыбнулся:

- Я обещал вам, что защититесь к лету, и сдержу свое слово. Можете не беспокоиться: бухгалтерии дано распоряжение выдавать отпускные только 5 июля!

Израиль Яковлевич, рассказавший мне эти эпизоды, и сейчас, через много лет с любовью и уважением вспоминает своего строгого и требовательного директора.

На защите присутствовал и выступил в поддержку Акушского академик Колмогоров. Он еще в годы войны вел переписку с известным американским ученым, пионером кибернетики Р. Винером. Спустя некоторое время после защиты, встретив Акушского, предложил ему подготовить статью по материалам диссертации и обещал переслать ее Винеру. Это не было случайностью. Академик Колмогоров всегда был внимательным к окружающим его людям. Акушский последовал его совету, и когда в 1946 г. Винер впервые приехал в Советский Союз, оказалось, что он уже заочно знаком с Акушским по его статье. Все свое время он провел в Математическом институте им. В.А. Стеклова АН СССР, беседовал с академиком И.М. Виноградовым, разговаривал с И.Я. Акушским, выступил с лекцией о кибернетике. Приглашение посетить Институт философии АН СССР, где в то время утверждали, что кибернетика лженаука, американский ученый игнорировал.

Еще во время войны Л.А. Люстерник организовал и активно проводил научный семинар по теории вычислений. Ученым секретарем АН СССР в то время был академик

Н.Г. Бруевич. Он, в свою очередь, вел семинар по точной механике. В конце войны семинары объединились. На объединенном семинаре не раз обсуждались вопросы, связанные с развитием вычислительной техники. Говорилось о необходимости организации отдельного института. В них принимал участие и Акушский. Созданная в стране счетно-перфорационная техника была ненадежной и годилась разве что для бухгалтерских работ. Аналоговые вычислительные средства не обеспечивали требований, выдвигаемых наукой и техникой. Идея создания цифровых электронных вычислительных машин уже обсуждалась за рубежом и в стране. Создание нового института отвечало запросам времени. Президент АН СССР академик С.И. Вавилов горячо поддержал идею создания института, выступил со статьей в "Правде" и добился быстрого решения вопроса в правительстве. В 1948 г. в составе Академии был организован Институт точной механики и вычислительной техники - ИТМ и ВТ. В него вошли: из Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР отдел Л.А. Люстерника, в составе которого была лаборатория И.Я. Акушского; из Института машиностроения АН СССР - отдел точной механики, руководимый академиком Н.Г. Бруевичем; из Энергетического института АН СССР отдел чл. корр. АН СССР И.С. Брука и лаборатория профессора Л.И. Гутенмахера. (Отдел Брука, хотя и был включен в состав нового института, но не перешел в него.)

Директором института был назначен академик Бруевич. (Его через год сменил М.А. Лаврентьев. В 1952 г. по предложению Лаврентьева директором ИТМ и ВТ АН СССР назначили С.А. Лебедева.)

Вскоре после создания института наступили годы, когда стал искусственно подогреваться "еврейский вопрос". На одном из совещаний с участием заведующего отделом науки ЦК ВКП(б) Жданова по развитию науки на периферии, Акушский оказался рядом с ним.

- Как работаете? - спросил высокий руководитель.

- Неуютно как-то, - ответил ученый.

- Почему бы вам не развивать свое направление в какой-нибудь республиканской академии? Я могу, если хотите рекомендовать вас президенту АН Казахстана Кунаеву как специалиста, очень нужного для развития вычислительной математики в республике.

Акушский понял это как указание о переезде:

- Благодарю. Я согласен.

Так начался алма-атинский период его деятельности.

В АН Казахстана он организовал лабораторию машинной и вычислительной математики, ставшей затем базой для образования Института математики и механики АН КазССР. Одновременно стал читать курс лекций по вычислительной математике в Казахском государственном университете. Появились аспиранты, из которых впоследствии выросли крупные ученые.

Именно в эти годы (1954-1956) у него возникла идея создания системы счисления, позволяющей ускорить вычислительный процесс в ЭВМ, реализации которой он посвятил всю последующую жизнь. Своими мыслями о новой системе счисления в остаточных классах (СОК) в один из приездов в Москву в 1956 г. он поделился с академиком М.А. Лаврентьевым. Тот сказал, что получил письмо от чехословацкого ученого Л. Свободы, который предлагает нечто подобное. Ознакомившись с присланными материалами, Акушский увидел, что ученый опередил его - речь шла о создании ЭВМ на базе СОК. Это подлило масла в огонь: теперь день и ночь он только и думал о дальнейшем развитии новой теории, и небезуспешно.

Примерно через полгода, снова будучи в Москве, он встретился с министром машиностроения и приборостроения М.А. Лесечко, с которым был знаком раньше. Министр заинтересовался новыми разработками и сразу же предложил:

- Что ты там торчишь! Приезжай в Москву, будешь работать в СКБ-245! Акушский с радостью согласился. В то время это была ведущая в стране конструкторская

организация, занимавшаяся разработкой ЭВМ. Ее первенец - ЭВМ "Стрела" - уже работала.

Президент АН Казахской ССР, узнав о желании ученого возвратиться в Москву, не стал возражать, но захотел сохранить его участие в работе академии. Попросил продолжить руководство аспирантами и проводить консультации по работам в области вычислительной математики и вычислительной техники. В 1970 г. И.Я. Акушского избрали в члены-корреспонденты АН Казахстана.

В СКБ-245 его назначили сначала старшим научным сотрудником, а затем заведующим лабораторией математического отдела. Вначале Акушский участвовал в разработке ЭВМ с использованием обычной позиционной системы счисления. Но все его симпатии были уже на стороне системы счисления в остатках, он продолжал ее разработку и усовершенствование, надеясь создать на ее основе ЭВМ.

На математическом конгрессе в Ленинграде в 1961 году он встретился со Свободой. Долго беседовали, обсуждая содержание своих докладов. На этот раз Акушский почувствовал, что значительно опередил чехословацкого ученого. Тот, очевидно, тоже понял это и вместо намеченного в тезисах доклада сделал другой - о троичной системе счисления. (Позднее на математическом конгрессе в Испании Свобода выступил с докладом, представленным на ленинградский конгресс.)

В 1957 г. коллектив разработчиков СКБ-245 в составе Ю.Я. Базилевского, Б.И. Рамеева, Ю.А. Шрейдера и И.Я. Акушского начал работы по созданию ЭВМ в системе остаточных классов (СОК). Работа не очень клеилась, поскольку лишь Акушский твердо верил в замечательные свойства СОК. И когда в 1960 г. пригласили возглавить аналогичную разработку в Научно-исследовательском институте дальней радиосвязи, директором которого был только что назначен Ф.В. Лукин, он не колеблясь согласился. Вместе с ним на новое место перешел Д.И. Юдицкий.

Для ЭВМ в СОК была задана рекордная производительность - 1,25 млн. операций в секунду. Напомним, что в то время производительность ЭВМ определялась десятками тысяч операций в секунду.

ЭВМ была создана в короткие сроки и стала успешно использоваться в системе ПВО страны. Она выпускается промышленностью и используется до сих пор, получив вторую жизнь после перевода на интегральную элементную базу.

В Чехословакии же под руководством Л. Свободы была создана ЭВМ "Эпос" с использованием СОК, но она имела невысокое быстродействие и практически не использовалась.

Академик Лебедев высоко ценил и поддерживал Акушского. Как-то, увидев его, сказал:

- Я бы делал высокопроизводительную ЭВМ иначе, но не всем надо работать одинаково. Дай вам Бог успеха!

Когда Лукина перевели в Зеленоградский научный центр электронной техники Министерства электронной промышленности, он перетянул туда, в только что организованный Вычислительный центр, Юдицкого и Акушского. Первый был назначен директором, второй - его заместителем по научной части. Начали разрабатывать ЭВМ в СОК с использованием магнитострикционных линий задержки, но теперь уже на 20 млн. операций в секунду. К сожалению, довести дело до конца не удалось. Хотя экспериментальный образец ЭВМ был почти готов, дальнейшая работа по созданию машины со смертью Ф.В. Лукина затормозилась...

Именно в это время (начало 70-х гг.) я познакомился с Израилем Яковлевичем, поскольку обратился к нему и Д.И. Юдицкому с предложением создать в Институте кибернетики АН Украины отраслевую лабораторию Министерства электронной промышленности с целью использовать научный потенциал института в интересах

министерства. Лаборатория была создана, и я имел возможность несколько лет общаться с Акушским.

Наши совместные работы послужили основой для развертывания в Зеленограде работ по созданию мини- и микро-ЭВМ.

Запомнились внимание, которое уделял Израиль Яковлевич нашим работам, его такт, огромный багаж знаний в области компьютерной науки и техники.

Очень тепло отзываются об Акушском его ученики и соратники. В.М. Трояновский, в настоящее время доцент Московского государственного института электронной техники, написал мне: "Вспоминать об Израиле Яковлевиче Акушском и легко, и сложно. Легко, потому что его образ навсегда остался светлым в моей памяти, всех тех кто хоть какое-то время общался с ним. Сложно - из-за того, что свежа боль утраты, и мои частные впечатления, конечно же, не могут осветить всю многогранность этого Человека. Я познакомился с Израилем Яковлевичем в 1971 г., когда перешел на работу в Зеленоград - старшим научным сотрудником как раз в тот институт, где он был заместителем директора по научной работе. Для меня он был тогда просто "зам. директора" и большим ученым - как-никак чл.-корр. АН, правда, не союзной, а Казахской академии, хотя на казаха он явно не походил - и это была загадка, разъяснившаяся лишь со временем. Мои друзья объяснили, что ученый-то он настоящий, в чем я вскоре имел повод убедиться. Буквально через месяц после моего поступления на работу у Акушского был юбилей (60 лет со дня рождения и 40 лет научной деятельности). Юбилей этот отмечался на уровне всего Зеленограда, - торжественное заседание проходило в МИЭТе (единственный ВУЗ города, И.Я. работал там по совместительству, заведую кафедрой вычислительной математики, им основанной и "поставленной на ноги"). В фойе активного зала целый стенд занимала выставка научных трудов - книги, статьи в журналах, сборниках, академических изданиях, авторские свидетельства, патенты, в том числе зарубежные.

И выступающие, и президиум цвели улыбками. Были и стихотворные поздравления, и подарки в разных стилях, и просто много хороших, добрых слов. Часть этих подарков я потом видел в кабинете И.Я., когда стал бывать в его доме. Особенно хороша была шкатулка с цветным портретом и росписью "под Хохлому", преподнесенная вместе со стихотворным поздравлением от коллектива ВЦ. Рассказывали, что этот подарок готовился втайне от И.Я. по черно-белой фотографии и устному описанию героя, но мастер из Хохломы сумел воссоздать почти живой образ - видимо, столько тепла и человеческой доброты передавал даже рассказ об Акушском!

Позднее я несколько раз бывал в доме Израиля Яковлевича, познакомился с его женой Галиной Петровной, живо интересовавшейся всеми учениками и соратниками мужа. Своих детей у них не было, и ко всей молодежи, появлявшейся в доме, они относились с родительским вниманием и заботой.

...Но не все складывалось так радужно, хотя ряд технических решений удалось запатентовать в таких ведущих странах по вычислительной технике, как Великобритания, США, Япония. Когда И.Я. уже работал в Зеленограде, в США нашлась фирма, готовая к сотрудничеству по созданию машины, "начиненной" идеями И.Я. и новейшей электронной базой США. Уже велись предварительные переговоры. К.А. Валиев, директор НИИ молекулярной электроники, готовился к развертыванию работ с новейшими микросхемами из США, как вдруг И.Я. вызвали в "компетентные органы", где без каких-либо объяснений заявили, что "научный центр Зеленограда не будет повышать интеллектуальный потенциал Запада!", - и все работы были прекращены. К сожалению, это был не единичный случай, когда грубость, невежество, интриги преграждали дорогу блестящей технической мысли и научно-техническому прогрессу, носителем которых был И.Я. Акушский.

...Израиль Яковлевич тяжело переживал смерть Ф.В. Лукина и прекращение работ по новой машине. Хотя он добился возможности изготавливать опытный образец в Днепропетровске (это был родной город Акушского, и в этом он видел доброе предназначение), теперь его не поддержал директор своего же института. Он решил уйти на пенсию - "крыша" АН позволяла работать и дома, идей ему было не занимать, да и учениками он не был обделен, - за свою жизнь воспитал около 90 ученых, причем свыше 10 из них защитили докторские диссертации!

Однако все эти тревожения не прошли бесследно, - у Акушского случился инсульт, он попал в больницу, а потом долгое время вынужден был ходить с палочкой. Я неоднократно навещал его в тот период, мы прогуливались вблизи дома, который стоит прямо рядом с массивом коттеджей своеобразного поселка художников, позже признанного одной из заповедных зон Москвы. Он с удовольствием гулял по тенистым улочкам и много рассказывал о создании Зеленограда, с большим теплом отзывался о Лукине, Валиеве, Малинине, считая их действительными "отцами города", хорошими организаторами и учеными, сдержанно отзывался о Ф.Г. Старосе. Для многих ученых и руководителей среднего возраста (в конце 70-х - начале 80-х гг.) Акушский был научным руководителем, оппонентом или коллегой, часто в его доме раздавались звонки из Алматы, Тбилиси, Баку, Киева, Новосибирска, Молодые сотрудники и ученые почтительно называли его между собой "дедом".

Среди проблем эффективности работы ЭВМ и передачи информации Акушский выделял теперь, помимо быстрогодействия, еще и проблему сжатия данных. Здесь его ученикам также удалось разработать ряд удачных решений. Так, с помощью одного из них телеметрическая информация со спутников была сжата в 6 раз. Я как-то спросил, не являются ли работы по сжатию продолжением работ в СОК? "Нет, - ответил он. - Это совершенно самостоятельное направление. Просто у меня много интересов". И это действительно приходилось наблюдать. Например, уже в 70-е гг. у него в деталях обсуждалась проблема безденежных расчетов с помощью кредитных карточек и имевшейся тогда ВТ, с опробованием такой системы в Зеленограде. Подбирались разработчики и исполнители, подготавливалось решение организационных вопросов. Он умел находить общий язык и взаимопонимание на любом уровне - от рядового инженера до ученых из Президиума АН СССР. Характерно также, что у него, беспартийного, были самые лучшие взаимоотношения с горкомом партии в Зеленограде и первыми руководителями города.

А что касается СОК, он и сам не переставал учиться. Как-то ему сообщили, что, выступая в Новосибирске, академик Глушков отметил, что СОК открывает путь в сверхвысокие диапазоны чисел. И Акушский нашел случай связаться с Глушковым и поблагодарить его за эти слова. Как рассказывал И.Я., Глушков сказал - это вас надо благодарить за создание и пропаганду теории СОК. Но Израиль Яковлевич не раз повторял: "И как я сам не увидел этих применений СОКа?" В общем, он загорелся идеей работы в сверхвысоких диапазонах чисел, а в таких случаях он умел увлекать и других. Видимо, в это время я вновь попал в его поле зрения в качестве научно-технического "потенциала". Мне было предложено заниматься числами Мерсенна, и хотя я до этого занимался применением ЭВМ лишь для АСУТП, изящество математического аппарата СОК увлекло, так что я включился в эту работу, после чего наши контакты с И.Я. стали еще более частыми. К сожалению, большего, чем разработка необходимого программного инструментария, мне достичь не удалось - задача "не поддавалась", хотя и были перепробованы несколько подходов. И хотя числа из диапазона 10^{50} легко обрабатывались в СОК на рядовых мини- и микро-ЭВМ, рабочие алгоритмы требовали слишком большого перебора. А Акушский находил все новые и новые задачи для диапазона сверхбольших чисел. Это были и числа Ферма, и совершенные нечетные числа.

С горечью констатируя, что отечественная ВТ все больше отстает от зарубежной не только по количеству, но и по темпам развития, что он и другие ученые бессильны помочь здесь государственной машине, Акушский в последние годы жизни считал, что единственный участок научного фронта, где он может осуществить прорыв, это "чистая наука" для сверхвысоких диапазонов чисел. Он хотел написать монографию по вычислительной теории чисел - к сожалению, этому не дано было свершиться. Он работал практически до последних дней. Уже в конце 1991-го - начале 1992 г. я видел у него на столе гранки проблемной статьи о применении СОК в сверхвысоких диапазонах чисел. К сожалению, эту работу, это своеобразное научное завещание я так и не смог до сих пор найти опубликованной.

Умер И.Я. Акушский как-то очень неожиданно. 2-го апреля 1992 г., встав ночью с постели, он упал и ударился ногой и головой. Вызвали "скорую", отвезли в больницу. Днем его еще навестила жена, и вроде чувствовал он себя удовлетворительно. В конце дня сказал, что устал и хочет спать. А ночью ему стало плохо, вызвали дежурного врача, назначили срочную операцию, но травма головы оказалась смертельной, и его не спасли. На похороны съехались десятки его учеников, близких, знакомых. Похоронили его в семейном склепе на кладбище центрального крематория Москвы."

Имя И.Я. Акушского навсегда утвердилось как имя основоположника нетрадиционной компьютерной арифметики.

На созданных под его руководством в начале 60-х годов специализированных вычислительных устройствах впервые в СССР и в мире была достигнута производительность более 1,0 млн. операций в секунду и надежность в тысячи часов. На основе остаточных классов им разработаны методы проведения вычислений в супербольших диапазонах с числами в сотни тысяч разрядов. Это определило подходы к решению ряда вычислительных задач теории чисел, оставшихся нерешенными со времен Эйлера, Гаусса, Ферма.

Он занимался также математической теорией вычетов, ее вычислительными приложениями в компьютерной параллельной арифметике, распространением этой теории на область многомерных алгебраических объектов, вопросами надежности спецвычислителей, помехозащищенными кодами, методами организации вычислений на номографических принципах для оптоэлектроники.

Израиль Яковлевич опубликовал свыше 200 трудов, получивших широкую известность в стране и за рубежом (в том числе 12 монографий); имеет более 90 изобретений, многие из которых запатентованы в США, Японии, ФРГ. Учениками, последователями его являются свыше 80 кандидатов и 10 докторов наук.

Приложение 7

ЭУМ М-4

Система счисления - двоичная, с фиксированной запятой, 23 разряда. Скорость работы - 50 тыс. операций сложения или вычитания в секунду; 15 тыс. операций умножения в секунду; 5,2 тыс. операций деления или извлечения квадратного корня в секунду; средняя скорость в режиме универсального счета - 10-15 тыс. операций в секунду.

Объем внутренней памяти: оперативная память - 1024 24-разрядных чисел; постоянная память - 1024 23-разрядных чисел. Ввод информации - с перфоленты со скоростью 45-50 чисел в секунду.

Вывод информации - на устройство БП-20 со скоростью 42 слова в секунду. В качестве элементной базы использовались транзисторы П14, П15, П16, П203, диоды Д2, Д9, Д12 и некоторые другие. Оперативная и постоянная памяти строились на ферритовых сердечниках, в качестве генераторов тока в этих ЗУ использовались радиолампы (всего около 100 штук).

Главный конструктор машины М.А. Карцев, старший конструктор В.В. Бе-лы некий.

Участники разработки: ст. научи, сотрудник, д.ф.-м.н. А.Л. Брудно, научный сотрудник, к.ф.-м.н. Е.В. Гливенко, научный сотрудник, к.ф.-м.н. Д.М. Гроб-ман, ст. научи, сотрудник, к.т.н. Ю.В. Поляк; ведущие инженеры Г.И. Танетов, Н.А. Дорохова, Л.В. Иванов, Р.П. Шидловский, Е.Н. Филинов; инженеры: Ю.Н. Глухов, А.Н. Чернов, Л.Я. Чумаков, Ю.В. Рогачев, И.З. Блох, Р.П. Макарова, В.П. Кузнецов, Е.С. Шерихов; конструкторы: Е.И. Цибуль, Ю.И. Ларионов, В.Ф. Сититков, Ю.А. Шмульян.

На различных этапах разработки и настройки принимало участие от 10 до 40 человек научных сотрудников, инженеров, конструкторов, техников и лаборантов ИНЭУМ.

Приложение 8

ЭВМ М-4М

Разрядность - 29 двоичных разряда. Объем внутренней памяти: постоянная память - 819-16384 слова, оперативная память - 4096-16384 слова. Быстродействие - 220 тыс. операций в секунду. Скорость ввода-вывода при межмашинном обмене - 3125 29-разрядных слов в секунду или 6250 14-разрядных слов в секунду. Ввод с перфоленты - 500 строк в секунду. Вывод на печать (БП-20) - 10-12 строк в секунду.

Приложение 9

ЭВМ М-10

Среднее быстродействие - 5 млн. операций в секунду. Быстродействие на малом формате (16 разрядов) - около 10 млн. операций в секунду. Общий объем внутренней памяти - 5 млн. байт.

Первый уровень - оперативная 0,5 млн. байт; постоянная 0,5 млн. байт.

Второй уровень - 4 млн. байт. Пропускная способность мультиплексного канала - более 6 млн. байт в сек. (при одновременной работе 24 дуплексных направлений связи). Емкость буферной памяти мультиплексного канала - более 64 тыс. байт.

Система прерывания программ - 72-канальная, с 5 уровнями приоритетов.

Показатели надежности: коэффициент готовности - не менее 0,975, время (среднее) безотказной работы - не менее 90 часов.

Степень унификации: коэффициент повторяемости - 346, коэффициент применяемости - 46%. Обеспечивается одновременная работа 8 пользователей на восьми математических пультах.

Математическое обеспечение машины М-10 включает: операционную систему, обеспечивающую разделение времени и оборудования, диалоговый режим одновременной отладки до 8 независимых программ и мультипрограммный режим автоматического прохождения до 8 независимых задач; систему программирования, включающую машинно-ориентированный язык АВТОКОД и проблемно-ориентированный язык АЛГОЛ-60, соответствующие трансляторы и

средства отладки; библиотеку типовых и стандартных программ; диагностические программы; программы контроля функционирования (тесты).

Основные особенности машины:

Машина М-10 содержит две линии арифметических процессоров. За один машинный такт одновременно выполняются операции с фиксированной и плавающей запятой, а также целочисленные операции: - над 16 парами 16-разрядных чисел; - над 8 парами 32-разрядных чисел; - над 4 парами 64-разрядных чисел; - над 2 парами 128-разрядных чисел.

Предусмотрены также векторные операции. Например, за 1 такт может быть произведено вычисление скалярного произведения векторов (в каждой линии процессоров - сумма произведений до 8 пар 16-разрядных или до 4 пар 32-разрядных чисел и, если необходимо, суммирование с результатом аналогичной операции, выполненной в предыдущем такте).

Одновременно с получением результатов основных операций в обеих линиях арифметических процессоров вырабатываются до 5 строк булевых переменных (признаки переполнения, признаки равенства результатов нулю, знаки результатов и т.д.). Специальный процессор, работающий одновременно с арифметическими процессорами, может выполнять логические операции над строками булевых переменных. В свою очередь, строки булевых переменных могут использоваться как маски для линий арифметических процессоров.

Адресация памяти осуществляется в 2 ступени: сначала формируется математический адрес путем суммирования содержимого базового регистра с 22-разрядным смещением: затем с помощью аппарата дискрипторных таблиц математический номер листа (старшие разряды математического адреса) подменяются физическим номером листа, при этом получается физический адрес. В качестве базовых и индексных используются 16 специальных регистров. Каждый пользователь имеет доступ к виртуальной памяти в 8 мегабайт, адресуемый с точностью до полуслова. К аппарату формирования физических адресов имеет доступ только операционная система; с этим аппаратом совмещен также аппарат защиты памяти.

Организация оперативной памяти позволяет за одно обращение выбирать от 2 до 64 байт одновременно, начиная от произвольного адреса.

Приложение 10

ЭВМ М-13

СТРУКТУРА

1.Центральная процессорная часть:

Арифметические процессоры (4,8 или 16);

Восемь блоков оперативной памяти;

Два блока постоянной памяти;

Один блок оперативной памяти второго уровня;

Центральный коммутатор;

Центральное управление;

Мультиплексный канал.

2.Аппаратные средства поддержки операционной системы:

Центральный управляющий процессор;

Таблицы виртуальной трехуровневой памяти и средства поиска.

3.Абонентское сопряжение:

Стандартизованное электрическое сопряжение;

Программируемый интерфейс;

Сопрягающие процессоры (от 4 до 128).

4.Специализированная процессорная часть:

Контроллер технического управления;

Управляющая память гипотез;

Процессоры когерентной обработки (от 4 до 80).

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Исполнение М13

М1300

М1301

М1302

1. ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЦЕССОРНАЯ ЧАСТЬ

А) Быстродействие, оп/с	12x10 ⁶	24x10 ⁶	48x10 ⁶
Б) Емкость внутренней памяти, Мбайт	8,5	17	34
В) Суммарная пропускная способность центрального коммутатора, Мбайт/с	800	1600	3200
Г) Пропускная способность мультиплексного канала, Мбайт/с	40	70	100

2. АБОНЕНТСКОЕ СОПРЯЖЕНИЕ

А) Число сопрягающих процессоров		8, 16...128	
Б) Максимальное быстродействие, оп/с		350x10 ⁶	

3. СПЕЦИАЛИЗОВАННАЯ ПРОЦЕССОРНАЯ ЧАСТЬ

А) Пропускная способность контроллера технического управления, Мбайт/с	50	100	200
Б) Емкость управляющей памяти гипотез, Мбайт		4,8,12...128	
В) Максимальное эквивалентное быстродействие, оп/с		2,4x10 ⁹	

СОСТАВ

	М13 Возможные комплекты шкафов	Исполнение М13		
		М1300	М1301	М1302
1. ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЦЕССОРНАЯ ЧАСТЬ				
А) Арифметическое устройство (АЛУ)	1,2,4	1	2	2
Б) Оперативная память главная (ОПГ)	4,8,16	4	8	8
В) Постоянная память главная (ППГ)	2,4,8	2	4	4
Г) Оперативная память большая, полупроводниковая (ОПП)	1,2,4	1	2	2
Д) Центральное устройство редактирования (ЦУР)	2	2	2	2
Е) Центральное устройство управления (ЦУУ)	2	2	2	2
Ж) Мультиплексный канал (МПК)	1	1	1	1
2. АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ				
а) Центральный управляющий процессор (ЦУП)	1	1	1	1
б) Устройство управления кодовыми шинами (УКШ)	1	1	1	9
3. АБОНЕНТСКОЕ СОПРЯЖЕНИЕ				
а) Устройство абонентского сопряжения (УАС)	1,2...16	1	1	9
4. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ПРОЦЕССОРНАЯ ЧАСТЬ				
а) Устройство контроллера технического управления (КТУ)	1	-	-	1
б) Устройство управляющей памяти гипотез (УПГ)	1,2...32	-	-	6
в) Устройство процессоров когерентной обработки (ПКО)	1,2...20	-	-	10

КОМПЛЕКТЫ: Внешних устройств, монтажные, ЗИП, КИП, оборудования систем охлаждения, программного обеспечения. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

М1300 М1301 М1302

1. ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЦЕССОРНАЯ ЧАСТЬ

а) Быстродействие (106 оп/с)	12	24	24
б) емкость оперативной памяти первого уровня (Мбайт)	0,25	0,5	0,5
в) емкость постоянной памяти первого уровня (Мбайт)	0,25	0,5	0,5
г) Емкость оперативной памяти второго уровня (Мбайт)	8	16	16
д) Формат шин (байт)	16	32	32
е) Пропускная способность мультиплексного канала, Мбайт/с	40	70	70
2. АБОНЕНТСКОЕ СОПРЯЖЕНИЕ			
а) Число сопрягающих процессоров	8	8	72
3. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ПРОЦЕССОРНАЯ ЧАСТЬ			
а) Пропускная способность контроллера технического управления (Мбайт/с)	-	-	100
б) Емкость управляющей памяти гипотез (Мбайт)	-	-	24
в) Число процессоров когерентной обработки	-	-	40
г) Эквивалентное суммарное быстродействие процессоров когерентной обработки (оп/с)	-	-	1,2x10 ⁹
4. ВНЕШНЯЯ ПАМЯТЬ			
- на сменных магнитных дисках (Мбайт)	200	200	200
- на магнитной ленте (Мбайт)	42	42	42
5. ЗАНИМАЕМАЯ ПЛОЩАДЬ (м2)*	36	54	144
6. ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ**			
по сети 3x400 Гц, 220 В (КВА)	50	75	150
по сети 3x50 Гц, 380/220 В (КВА)	25	25	25
7. РАСЧЕТНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ (н/ч)	237200	330800	617236
* Без комплекта внешних устройств.			
** Без двигателей системы охлаждения.			

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА

- реальный масштаб времени (РМВ), режим разделения времени (РВ), пакетная обработка;
- 4 задания РМВ, 16 заданий РВ;
- многосеансовое выполнение до 256 заданий;
- устранение последствий сбоев и резервирование.

СИСТЕМА ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ОТЛАДКИ

- ассемблеры, Т-язык;
- алгоритмический язык высокого уровня, ориентированный на векторные вычисления;
- интерактивный режим отладки заданий РВ и РМВ в понятиях используемого языка.

ФАЙЛОВАЯ СИСТЕМА

СИСТЕМА ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ

БИБЛИОТЕКА ТИПОВЫХ ПРОГРАММ

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Приложение 11

Ю.В. Рогачев. Биографическая справка

Рогачев Юрий Васильевич родился 18 августа 1925 года в Калининской области. В январе 1943 года был призван в Советскую Армию и направлен на Дальний Восток. В 1945 году принимал участие в войне с Японией. В 1946 году окончил курсы военных радиотехников и до 1950 года занимался обслуживанием и ремонтом радиоаппаратуры в войсках. После демобилизации в июне 1950 года поступил на работу к И.С. Бруку в лабораторию электросистем Энергетического института АН СССР им. Г.М. Кржижановского. Принимал участие в работах по созданию одной из первых ЭВМ - машины М-1. В 1952 году поступил учиться на радиотехнический факультет Московского энергетического института (МЭИ). После окончания МЭИ в марте 1958 года вернулся (по распределению) в тот же коллектив, ставший к этому времени самостоятельной организацией - Институтом электронных управляющих машин (ИНЭУМ). Работал инженером, старшим инженером, старшим конструктором, руководителем лаборатории. Принимал участие под руководством М.А. Карцева в создании машин М-4 и М-4М.

Разработка системы логических элементов, внедренная в одну из первых серийных транзисторных ЭВМ М-4М, явилась основой кандидатской диссертации, которую Ю.В. Рогачев успешно защитил в 1967 году.

С 1967 года - главный инженер созданного на базе отдела спецразработок ИНЭУМа Научно-исследовательского института вычислительных комплексов (НИИВК). Принимал участие в создании вычислительных машин М-10, М-10М, М-13 и построении вычислительных комплексов на их основе в качестве заместителя главного конструктора, а с 1983 года - в качестве главного конструктора. В 1977 году за разработку машины М-10 в составе коллектива присуждена Государственная премия СССР.

С 1983 года - директор Научно-исследовательского института вычислительных комплексов. Награжден орденами Отечественной войны, Трудового Красного Знамени, Знак почета. В настоящее время пенсионер. Передал автору многочисленные архивные документы (копии), освещающие жизнь и творчество М.А. Карцева.

Приложение 15

Вычислительная машина "Сетунь" Московского Государственного университета

Общая характеристика машины

Вычислительная машина "Сетунь" представляет собой автоматическую цифровую машину, предназначенную для решения научно-технических задач. Это одноадресная машина последовательного действия с фиксированным положением запятой.

Особенностью машины в математическом отношении является использование троичной системы счисления с коэффициентами 1, 0, -1.

В инженерном отношении машина примечательна тем, что в качестве основного элемента схем в ней применен магнитный усилитель с питанием импульсами тока. Такой усилитель состоит из нелинейного трансформатора с миниатюрным ферритовым сердечником и германиевого диода. Необходимые для реализации троичного счета три устойчивых состояния получаются с помощью пары усилителей. Общее число усилителей в машине - около четырех тысяч. Электронные лампы использованы в машине для генерирования импульсов тока, питающих магнитные усилители, и импульсов записи на магнитный барабан. Полупроводниковые триоды применены в схемах, обслуживающих матрицу запоминающего устройства на ферритовых сердечниках и в усилителях сигналов, считываемых с магнитного барабана.

Внутренние устройства машины работают на частоте 200 кГц, выполняя основные команды со следующими затратами времени: сложение - 180 мксек, умножение - 325 мксек, передача управления - 100 мксек.

Длина слова в арифметическом устройстве машины - 18 троичных разрядов. Команда кодируется полусловом, т.е. девятью разрядами. В запоминающем устройстве каждая пара полуслов, составляющая полное слово, и каждое полуслово в отдельности наделены независимыми адресами. Число, представленное полусловом, воспринимается арифметическим устройством как 18-разрядное с нулями в младших разрядах.

Оперативное запоминающее устройство машины, выполненное на ферритовых сердечниках, обладает емкостью в 162 полуслова.

Запоминающее устройство на магнитном барабане вмещает 2268 полуслов. Обмен между барабаном и оперативным запоминающим устройством производится группами по 54 полуслова. Предполагается ввести дополнительное запоминающее устройство на магнитной ленте и увеличить емкость барабана до

4374 полуслов.

Ввод данных в машину производится с пятипозиционной бумажной перфоленты посредством фотоэлектрического считывающего устройства, а вывод на перфоленку и печать результатов - на стандартном рулонном телетайпе. Ввод и вывод информации осуществляется также группами по 54 полуслова.

В арифметическом устройстве машины "Сетунь" 18-разрядное троичное слово рассматривается как число, в котором запятая расположена между вторым и третьи разрядами. Это число можно выразить формулой:

$$\sqrt{x} = \sum_{N=-16}^{+1} a_n \cdot 3^n \quad \alpha_n=1;0;-1$$

Диапазон чисел в арифметическом устройстве составляет $-4,5 \leq x \leq +4,5$ при абсолютной погрешности $|\Delta x| < 0,5 \cdot 3^{-16}$.

Число считается нормализованным, если оно заключено в интервале $0,5 \times 1,5$ или равно нулю. Порядок нормализованного числа изображается пятью старшими разрядами полуслова, хранящегося в запоминающем устройстве по отдельному адресу.

Девять разрядов полуслова, представляющего команду, распределены следующим образом: пять первых разрядов составляют адрес, три разряда - код операции, девятый разряд - признак модификации адреса. Если в этом разряде стоит 0, то команда выполняется без изменения адреса, если 1, то к адресу прибавляется число, находящееся в регистре модификации, если -1, то это число вычитается из адреса. Особое значение имеет младший (пятый) разряд адреса: у адреса полного слова в этом разряде -1, у адреса старшего полуслова 0, у адреса младшего полуслова 1.

В командах, относящихся к магнитному барабану или к устройствам ввода и вывода, первый разряд указывает, какая треть матрицы должна использоваться для записи (считывания) передаваемой информации. Остальные четыре разряда адресной части команды либо обозначают номер зоны на барабане, либо используются для конкретизации команды: ввод или вывод.

В функциональном отношении машина разделяется на шесть устройств:

- 1) арифметическое устройство;
- 2) устройство управления;
- 3) оперативное запоминающее устройство;
- 4) устройство ввода;
- 5) устройство вывода;
- 6) запоминающее устройство на магнитном барабане.

Преимущества троичной системы счисления

Главное преимущество троичного представления чисел перед принятым в современных компьютерах двоичной состоит не в иллюзорной экономности троичного кода, а в том, что с тремя цифрами возможен натуральный код чисел со знаком, а с двумя невозможен. Несвершенство двоичной арифметики и реализующих ее цифровых машин обусловлено именно тем, что двоичным кодом естественно представимы либо только неотрицательные числа, либо только неположительные, а для представления всей необходимой для арифметики совокупности - положительных, отрицательных и нуля - приходится пользоваться искусственными приемами типа прямого, обратного или дополнительного кода, системой с отрицательным основанием или с цифрами +1, -1 и другими ухищрениями.

В троичном коде с цифрами +1, 0, -1 имеет место естественное представление чисел со знаком (так называемая симметричная, уравновешенная или сбалансированная система), и "двоичных" проблем, не имеющих удовлетворительного решения, просто нет. Это преимущество присуще всякой системе с нечетным числом цифр, но троичная система самая простая из них и доступна для технической реализации.

Арифметические операции в троичной симметричной системе практически не сложнее двоичных, а если учесть, что в случае чисел со знаком двоичная арифметика использует искусственные коды, то окажется, что троичная даже проще. Операция сложения всякой цифры с нулем дает в результате эту же цифру. Сложение +1 с -1 дает нуль. И только сумма двух +1 или двух -1 формируется путем переноса в следующий разряд цифры того же знака, что и слагаемые и установки в текущем разряде цифры противоположного знака. Пример:

$$\begin{array}{r} 111011101010 \\ + \\ \underline{111011110100} \\ 101110011110 \end{array}$$

В трехвходном троичном сумматоре перенос в следующий разряд возникает в 8 ситуациях из 27, а в двоичном - в 4 из 8. В троичном сумматоре с четырьмя входами перенос также происходит только в соседний разряд.

Операция умножения еще проще: умножение на нуль дает нуль, умножение на 1 повторяет множимое, умножение на -1 инвертирует множимое (заменяет 1 на -1, а -1 на 1). Инвертирование есть операция изменения знака числа.

Следует учесть, что комбинационный троичный сумматор осуществляет сложение чисел со знаком, а вычитание выполняется им при инвертировании одного из слагаемых. Соответственно троичный счетчик автоматически является реверсивным.

Важным достоинством троичного симметричного представления чисел является то, что усечение длины числа в нем равносильно правильному округлению. Способы округления, используемые в двоичных машинах, как известно, не обеспечивают этого.

Н.П. Брусенцов