

# Михаил Александрович Карцев

*Б. Н. Малиновский*

## **От составителя**

Очерк публикуется по тексту книги Б. Н. Малиновского «История вычислительной техники в лицах»<sup>1</sup> с небольшими изменениями и дополнениями. Изменено форматирование текста в соответствии со стилистикой данного сборника.

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

---

<sup>1</sup> Малиновский Б. Н. История вычислительной техники в лицах. — Киев: фирма «КИТ», ПТОО «А.С.К.», 1995. — 384 с. [http://it-history.ru/images/1/17/Malinovsky\\_history.pdf](http://it-history.ru/images/1/17/Malinovsky_history.pdf)

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.



Михаил Александрович Карцев, 1950-е годы

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 вычислений, 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.

Полный комплект конструкторской документации на УПО летом 1961 года был передан на завод-изготовитель (это был тот же завод, который выпускал машину М-4), а в марте 1962 года это устройство и изготовленный ранее второй комплект ЭУМ М-4 были поставлены под комплексную настройку и стыковку. В разработке устройства первичной обработки принимал участие инженер В. М. Емелин. Вели производство на заводе старший инженер Ю. В. Рогачев, инженеры В. И. Никитин и В. Я. Рожавский. В настройке участвовал старший инженер Е. А. Братальский.

В июле 1962 года совместные испытания ЭУМ М-4 с УПО и экспериментального комплекса были завершены, и началась опытная эксплуатация разрабатываемой системы<sup>2</sup>.

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<sup>3</sup> были проведены в исключительно короткие сроки: в марте 1963 года на за-

---

<sup>2</sup> Основные технические характеристики ЭУМ М-4 см.

[http://it-history.ru/index.php/Вычислительные\\_машины,\\_созданные\\_под\\_руководством\\_М.\\_А.\\_Карцева](http://it-history.ru/index.php/Вычислительные_машины,_созданные_под_руководством_М._А._Карцева).

вод-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 тыс. операций в секунду машина выполняла 220 тыс., 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<sup>4</sup>.



ЭВМ М4-М

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

<sup>3</sup> см. «ЭВМ М-4М» [http://it-history.ru/index.php/Вычислительные\\_машины,\\_созданные\\_под\\_руководством\\_М.\\_А.\\_Карцева](http://it-history.ru/index.php/Вычислительные_машины,_созданные_под_руководством_М._А._Карцева)

<sup>4</sup> Живое свидетельство о работе модификации М-4-2М см. в письме Б. А. Андреева (сноска 10).

5Э79. На базе этих машин были построены многомашинные вычислительные комплексы, объединенные в мощную вычислительную систему, работающую в реальном времени.

В докладе, посвященном 15-летию НИИВК<sup>5</sup>, 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...».*

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. П. Шидловский, Е. В. Гливенко, Ю. Н. Мельник. В работах принимали участие около 30 конструкторов

<sup>5</sup> Карцев М. А. Выступление в 1982 г. на собрании, посвященном 15-летию НИИ вычислительных комплексов // Вопросы радиоэлектроники. — Серия ЭВТ. — Вып. 2. — 1993. — С. 2–10.

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 год).

## 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, являющимися приближенными представлениями функций, либо многомерными векторами. 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<sup>6</sup>) 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-ра техн. наук 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 многопроцессорности в „Эльбрусе“ и отстаивал однопроцессорный вариант максимального быстрого действия. Академик Глушков поддержал оба направления. Оба направления и были одобрены»*<sup>7</sup>. 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-

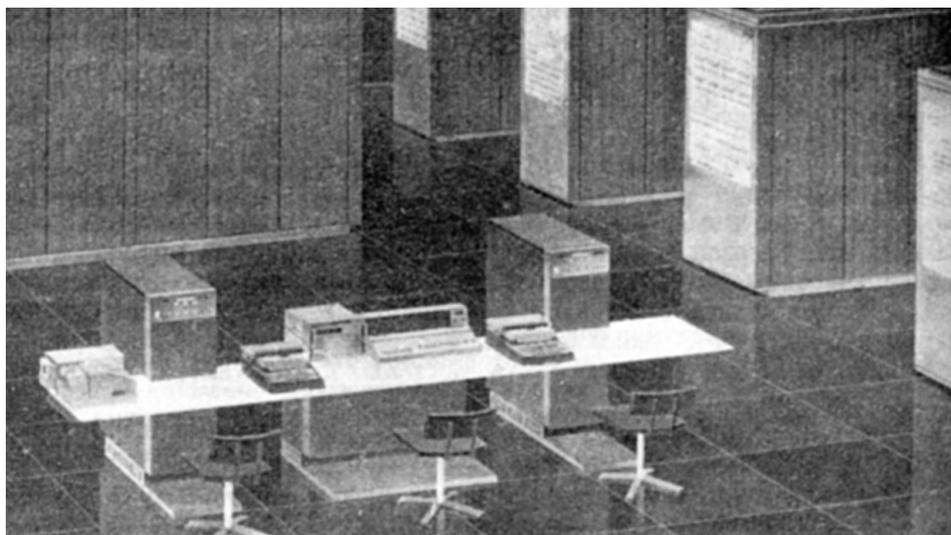
<sup>6</sup> В настоящее время их называют векторными (в отличие от обычных — скалярных и супер-скалярных). — *Прим. сост.*

<sup>7</sup> [К 70-летию со дня рождения М. А. Карцева](#) // Вопросы радиоэлектроники. — 1993. — Вып. 2.

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.



ЭВМ М-10

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. Главным конструктором 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 «Сгау-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 «Сгау-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 «Сгау-1» (по оценке д-ра техн. наук, профессора Б. А. Головкина<sup>8</sup>).

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 года (статья А. Горохова «Стояние при Пестрялове»). Задача системы — обеспечить военно-политическое руководство страны достоверной информацией о возможной угрозе ракетного нападения и обстановке в космосе, то есть она имеет чисто оборонительный характер. Сейчас на околоземных орбитах находится около 17 тыс. объектов различно-

---

<sup>8</sup> Головкин Б. А. Эволюция параллельных архитектур и машины серии М // Вопросы радиоэлектроники. — Серия ЭВТ. — Вып. 2. — 1993. — С. 18–28

го происхождения, включая действующие и отслужившие свой срок спутники, куски ракетоносителей 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.

К началу 1980 годов ЭВМ М-10<sup>9</sup> обладала наивысшими производительностью (по некоторым оценкам — 20–30 млн операций в секунду), 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<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Основные технические характеристики ЭВМ М-10 см.

[http://it-](http://it-history.ru/index.php/Вычислительные_машины,_созданные_под_руководством_М._А._Карцева)

[history.ru/index.php/Вычислительные\\_машины,\\_созданные\\_под\\_руководством\\_М.\\_А.\\_Карцева](http://it-history.ru/index.php/Вычислительные_машины,_созданные_под_руководством_М._А._Карцева)

<sup>10</sup> Стоит особо подчеркнуть, что М-10 по качеству изготовления далеко обходила современные ей советские машины, включая даже такую раскрученную марку, как «Эльбрус». См. об этом Б. А. Андреев «Опыт внедрения „Эльбрус-1“»

[http://it-history.ru/index.php/Опыт\\_внедрения\\_Эльбрус-1](http://it-history.ru/index.php/Опыт_внедрения_Эльбрус-1)

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 восемь таких шкафов, постоянная память — конденсаторного типа со сменными металлическими перфокартами в качестве носителя информации — занимала также восемь шкафов, большая память (память второго уровня) на сердечниках М-100П2 размещалась в четырех 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 торoidalные 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 (см. сноску 5) в год пятнадцатилетия 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 пятнадцатилетие 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. Плевакова (министр — 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 помогли нам работать, помогли 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 тыс. транзисторов, 180 тыс. полупроводниковых диодов, 12 млн ферритных сердечников. Вычислительный комплекс из трех ЭВМ М-10 содержал 2100 тыс. микросхем, 1200 тыс. транзисторов, 120 млн 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. Ознакомясь 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.



ЭВМ М-13

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 комплектацию, 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/с, пропускная способность мультиплексного канала — 40, 70 или 100 Мбайт/с.

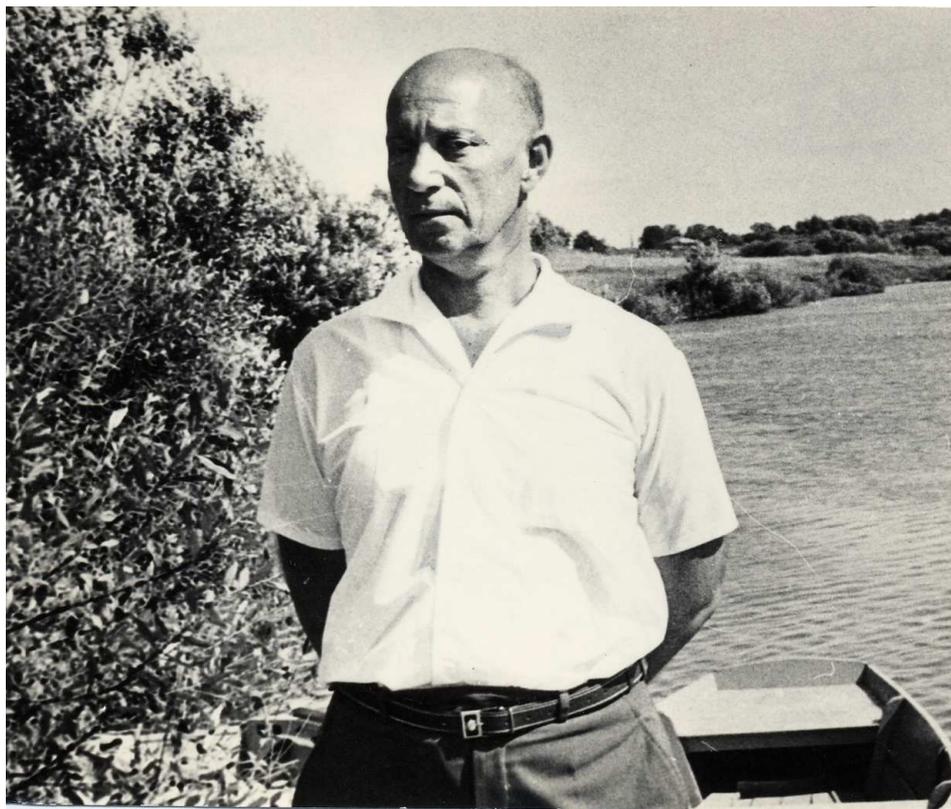
Абонентское сопряжение и специализированная процессорная часть могли комплектоваться еще более гибко.

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.

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



М. А. Карцев, 1970-е годы

*«...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 бессоннице. 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 убеленные сединами и умуд-*

---

*ренные 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!“».*<sup>11</sup>

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 года — 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 о Ю. В. Рогачеве<sup>12</sup>). 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 канд. техн. наук Р. П. Шидловского, канд. техн. наук А. А. Крупского, канд. техн. наук 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.

---

<sup>11</sup> Неточная цитата из песни Б. Окуджавы: «Когда-нибудь мы вспомним это, и не поверится самим. А нынче нам нужна одна победа, одна на всех. Мы за ценой не постоим!» — *Ред.*

<sup>12</sup> [http://it-history.ru/index.php/Рогачев\\_Юрий\\_Васильевич](http://it-history.ru/index.php/Рогачев_Юрий_Васильевич)

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 года до 1981 года, 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, № 2, с. 309–312), трудах XV международной конференции по явлениям в ионизирован-

ных газах (Минск, июль 1981 года), доложена на европейской конференции в Москве осенью 1981 года.

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» (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 млрд операций в секунду.

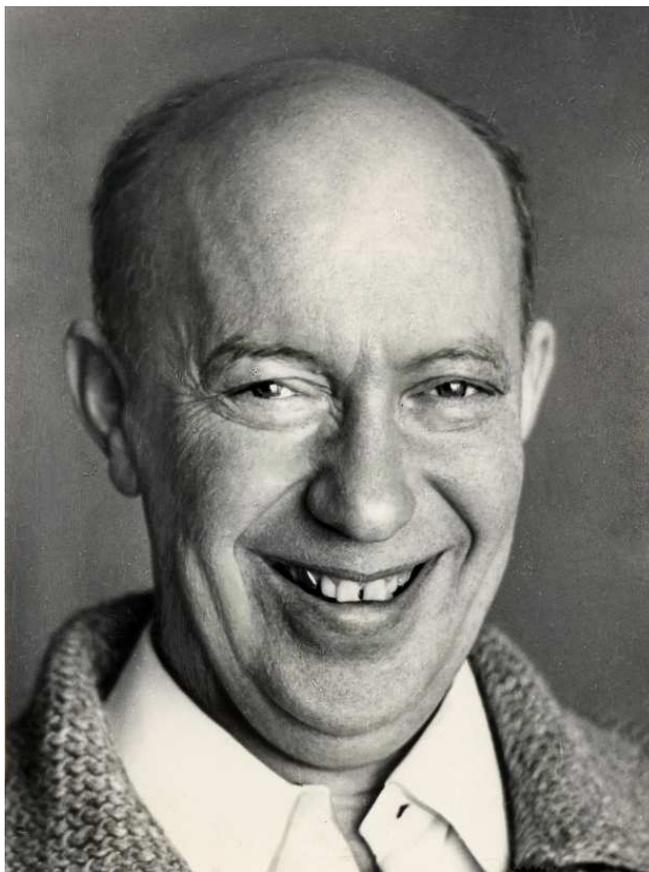
М. А. Карцев — автор фундаментальных теоретических работ по вычислительной технике (5 монографий, 55 статей и отчетов, 16 изобретений). Книги «Арифметические устройства электронных цифровых машин» (русское издание — 1958 год, позднее переиздавалась за рубежом), «Арифметика цифровых машин» (1969) заложили основы теории арифметических устройств; их выводы вошли в учебники. В последних монографиях «Архитектура цифровых вычислительных машин» и «Вычислительные системы и синхронная арифметика» (1978) 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), орденом Трудового Красного Знамени (1971), орденом «Знак почета» (1966) и

медалью «За доблестный труд». В 1967 году ему была присуждена Государственная премия СССР.

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



М. А. Карцев, 1980-е годы

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 эпиграф, 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 прибежать к столу, — сказал Джон, обращаясь к собакам, — было не так просто. Но дело того стоило. Тетушка тотчас уехала". Прочитав эпиграф, 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 знает, 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 интел-

лигентности, 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.



Памятник М. А. Карцеву на Новокузнецком кладбище в Москве

По особому отец относился к „Педагогической поэме“ Макаренки. 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 при-

шлось 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»<sup>13</sup>, посвященном 70-летию со дня рождения М. А. Карцева, д-р техн. наук Л. В. Иванов справедливо написал: «...Он относился к той немногочисленной категории людей, которые составляют цвет нации и без которых нация не может существовать».

---

<sup>13</sup> См. сноску 7