

Многопроцессорная векторная параллельно-конвейерная ЭВМ М-13

Юрий Рогачёв

Как значительное научное и техническое достижение отмечалась специалистами по вычислительной технике в нашей стране и за рубежом архитектура ЭВМ, ориентированная на распараллеливание вычислений при решении сложных задач. Концепция ЭВМ, предложенная М.А. Карцевым, насколько можно судить, – первая в мире концепция полностью параллельной вычислительной системы с распараллеливанием на всех четырёх уровнях (программ, команд, данных, слов). Вклад параллельной архитектуры в повышение производительности вычислений оказался столь весомым, что при использовании несовершенной элементной базы производительность ЭВМ М-13 была от 10 до 50 млн операций в секунду.

Создание многопроцессорных ЭВМ

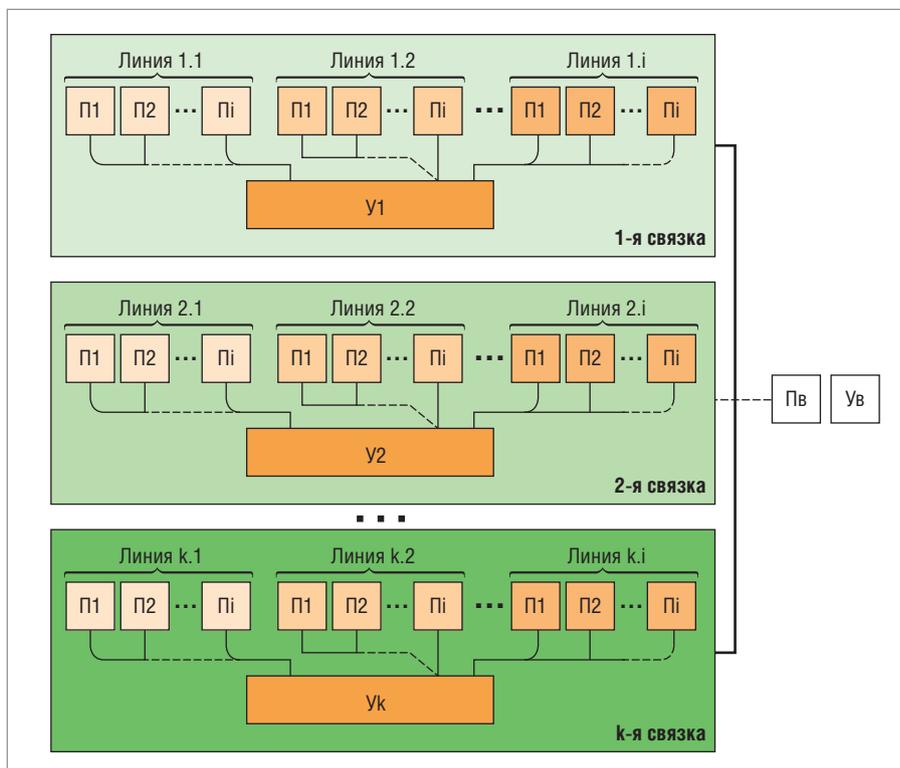
После завершения работ по созданию вычислительных средств для первого этапа построения системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН) предстоял поиск путей значительного повышения быстродействия ЭВМ, необходимого для дальнейшего развития этой системы. В реальных условиях СССР надеяться на быстрое развитие технической базы не приходилось, поэтому главный конструктор М.А. Карцев основное внимание направил на исследование архитектур многопроцессорных вычислительных систем. В результате проведённых исследований в 1967 году он разработал архитектуру многопроцессорной вычислительной системы комбинированного типа (рис. 1) и вычислительного комплекса ВК М-9 с производительностью не менее одного миллиарда операций в секунду [1].

Полностью реализовать проект ВК М-9 не удалось, но освоенные в 1969 году отечественным производством микросхемы «Посол» обеспечили возможность создания многопроцессорной векторно-параллельной ЭВМ М-10, в построении которой использовалась архитектура числовой связки ВК М-9.

В 1971 году конструкторская документация ЭВМ М-10 была передана Загорскому электромеханическому заводу для освоения её серийным производ-

ством. В 1973 году завод поставил три комплекта серийных образцов ЭВМ М-10 на головной объект заказчика для построения резервируемого вычислительного комплекса. В 1976 году ЭВМ М-10 и вычислительный комплекс на её

основе успешно выдержали государственные испытания. Началось плановое производство ЭВМ этой серии. Всего было изготовлено и находилось в эксплуатации более 70 вычислительных машин.



Условные обозначения: П – процессоры, У – управление связкой, Пв – процессор ввода-вывода, Ув – управление вводом-выводом.

Рис. 1. Многопроцессорная вычислительная система комбинированного типа

Основные принципы построения ЭВМ М-13

К концу 1977 года уже стало ясно, что идея многопроцессорных векторных вычислительных машин стала реальностью, а машины М-10 подтвердили её широкие возможности. Работая над проектом вычислительной машины нового, четвёртого поколения, М.А. Карцев опирался на опыт создания ЭВМ М-10 и вычислительных комплексов на её основе. Этот опыт показывал, что структура новой машины должна быть более гибкой в организации вычислительных систем и в части комплексирования, и в части сопряжения с источниками обрабатываемой информации. Такую задачу поставил перед собой М.А. Карцев, приступая к теоретической проработке вопросов построения серии программно-совместимых многопроцессорных вычислительных систем М-13. К этим работам он привлёк ведущих специалистов НИИВК — учёных, инженеров, конструкторов, программистов. В результате были выработаны основные принципы решения поставленной задачи.

Основные принципы создания специализированной многопроцессорной векторной ЭВМ М-13 состояли в следующем:

- использование однопоточной синхронной базовой операции (наиболее часто встречающаяся в основной решаемой задаче операция, поддерживаемая на аппаратном уровне в арифметическом процессоре ЭВМ);
- аппаратная поддержка параллельного выполнения всех операций управления (управление потоком команд, индексирование и бронирование адресов обращения к памяти, операция над индексными и базовыми регистрами, поиск соответствующих математических и физических адресов, управление ресурсами);
- потактное синхронное централизованное управление (либо за счёт «широкой» команды, либо за счёт опережающего просмотра группы последовательных команд);
- векторизация структуры.

Векторизация структуры состоит в замене арифметического процессора на линию многоформатных арифметических процессоров и в замене обычной памяти на память широкоформатную. При этом многосвязный интерфейс внутренней памяти также становится широкоформатным, вводятся операции

над векторами под масками и операции над масками.

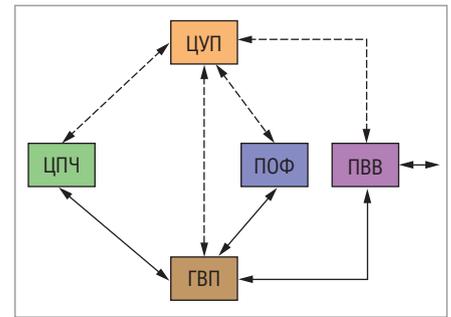
Структура ЭВМ М-13

Линия арифметических процессоров и центральное управление составляют **центральную процессорную часть (ЦПЧ)** ЭВМ М-13. Специализированная процессорная часть ЭВМ М-13 — **процессор обработки функций (ПОФ)** — состоит из линии специальных арифметических процессоров, выполняющих каждый за один такт базовую операцию сигнальной обработки — произведение двух комплексных чисел, при этом эквивалентное быстродействие линии таких специализированных комплексных процессоров будет на порядок превышать быстродействие линии обычных арифметических процессоров.

Следующая часть ЭВМ М-13 — **подсистема ввода-вывода (ПВВ)** — содержит мультиплексный канал, интерфейсы связи и сопрягающие процессоры, которые обеспечивают микропрограммное формирование широкого диапазона интерфейсов для абонентов реального времени и формирование вектора входной информации с форматом, соответствующим формату интерфейса внутренней памяти.

Специальный скалярный процессор — **центральный управляющий процессор (ЦУП)** — выполняет функции центрального управления в ЭВМ М-13. На рис. 2 с помощью пунктирных линий показаны управляющие интерфейсы, связывающие ЦУП с другими подсистемами М-13. А с помощью сплошных линий показаны широкоформатные информационные интерфейсы, связывающие **главную внутреннюю память (ГВП)** с остальными подсистемами.

Проект ЭВМ М-13 предусматривал три базовые модели: М-13/10 (малая модель), М-13/20 (средняя модель), М13/30 (большая модель), а также ряд их модификаций, различающихся комплектностью устройств памяти, дополнительных внешних устройств и др. Системы и устройства М-13 создавались на единой элементной, конструктивной и технологической базе, объединялись общими структурными решениями и относились к четвёртому поколению вычислительных средств. Все модели строились по модульному принципу, используя одну и ту же номенклатуру элементов, ячеек и блоков. Переход от малой модели к средней и большой вёлся путём увеличения количества кон-



Условные обозначения: ЦУП — центральный управляющий процессор; ЦПЧ — центральная процессорная часть; ПОФ — процессор обработки функций; ПВВ — подсистема ввода-вывода; ГВП — главная внутренняя память.

Рис. 2. Структура ЭВМ М-13

структивно самостоятельных единиц устройств (модулей).

Программная совместимость систем М-13 обуславливалась единым для всех моделей (исполнений) машинным языком и единым математическим обеспечением, поддерживающим режим работы в реальном масштабе времени и диалоговый режим разделения времени с предоставлением мониторов для создания, трансляции и отладки программ на машинно-ориентированных (АВТОКОД М-13), проблемно-ориентированных (АЛГОЛ-60, ФОРТРАН, КОБОЛ) и универсальных (АЛГОЛ-68) языках.

В части элементной, конструктивной и технологической базы в системе М-13 использовались наиболее прогрессивные технические решения, но при этом ориентированные исключительно на уровень, достигнутый отечественной промышленностью в 1978 году. В логических узлах М-13 использовались микросхемы типа ТТЛ серий 133, 130, 530, а для запоминающих устройств — микросхемы полупроводниковой памяти широкого применения.

В 1980 году НИИВК была поручена разработка вычислительного комплекса с использованием ЭВМ М-13. Главным конструктором был утверждён М.А. Карцев. Был определён и состав заместителей главного конструктора: Ю.В. Рогачёв, Л.Я. Миллер, А.Ю. Карасик, Л.В. Иванов, Р.П. Шидловский, А.А. Крупский, Е.И. Цибуль.

Состав ЭВМ М-13

В состав ЭВМ М-13 вошли следующие устройства:

Векторное арифметико-логическое устройство (АЛУ). В зависимости от комплектации в состав М-13 могли входить 1, 2 или 4 шкафа АЛУ. Один шкаф

содержит 4 процессора. Каждый процессор производит операции над одной, двумя или четырьмя парами соответственно 32-, 16- или 8-разрядных операндов. В АЛУ была реализована уникальная система аппаратного контроля, автоматически обнаруживающая любой неисправный блок. АЛУ разработано под руководством В.А. Брика.

Главная оперативная память (ОПГ) разработана под руководством А.А. Крупского, **главная постоянная память (ППГ)** разработана под руководством Р.П. Шидловского, **полупроводниковая оперативная память второго уровня (ОПП)** разработана под руководством Л.В. Иванова.

Центральное устройство редактирования (ЦУР) уплотняет массивы под маской, формирует однородные векторы информации для дальнейшей обработки. Благодаря широкому параллелизму в ЦУР достигнута высокая производительность редактирования информации. В самой большой модели М-13, основной формат которой составляет 64 байта, на частоте 3,3 МГц пиковая производительность редактирования составляет 600 млн оп./с над однобайтовыми операндами. Введение мощной системы редактирования массивов позволяет существенно повысить реальную производительность ЭВМ М-13. Разработчики ЦУР – М.С. Белков и Е.А. Братальский.

Центральное устройство управления (ЦУУ) содержит булевский процессор для управления потоками команд и для маскирования при векторной обработке, а также процессор для адресной модификации с производительностью 3 млн оп./с для управления адресным пространством.

Центральный управляющий процессор (ЦУП) обеспечивает аппаратную поддержку операционной системы и аппаратную поддержку виртуальной памяти и управления процессами. Он связан управляющими интерфейсами со всеми процессорами машины.

Устройство управления кодовыми шинами (УКШ) содержит таблицы виртуальной (математической) памяти. Связывает широкоформатными шинами все устройства машины с внутренней памятью. Руководство разработкой устройств ЦУУ, ЦУП и УКШ осуществлял Л.Я. Миллер.

Устройство абонентского сопряжения (УАС) содержало программируемые сопрягающие процессоры, которые позволяют подключать к машине как стан-

дартные, так и специализированные устройства, входящие в состав управляемых объектов. В УАС было от четырех до 128 одинаковых сопрягающих процессоров с программируемым абонентским интерфейсом, что очень технологично решало проблему сопряжения машины с разнообразными и уникальными интерфейсами абонентов реального времени, в том числе и радиолокационных станций. Разработкой УАС руководил В.А. Кислинский.

Мультиплексный канал (МПК) входит в состав подсистемы ввода-вывода.

МПК предназначен для сопряжения подсистемы ввода-вывода с центральным управляющим процессором и внутренней памятью и реализует такие функции операционной системы, как запуск обменных операций в каналах, диспетчеризация работы каналов, организация виртуальной и относительной адресации, измерение параметров обменных операций и обработка прерываний от каналов.

МПК выполняет также мультиплексирование обмена данных между устройствами абонентского сопряжения и внутренней памятью ЭВМ М-13, а также осуществляет преобразование форматов при обмене данными. МПК состоит из интерпретаторов канальных программ, формирователя адресных требований и мультиплексора данных. Руководил разработкой Ю.Н. Мельник.

Процессор обработки функций (ПОФ), другое название **процессор когерентной обработки (ПКО)** представляет собой специализированный векторно-конвейерный вычислитель. Эта специализированная процессорная часть содержит набор линий специализированных арифметических устройств, предназначенных для параллельной обработки функций комплексных чисел. Она может выполнять быстрое преобразование Фурье, вычисление корреляционных функций, проверку гипотез и т.п. В качестве базовой операции используется операция произведения двух комплексных чисел (двухточечное преобразование Фурье), которая выполняется за один машинный такт. Разработкой руководил В.М. Златников.

Базовое программное обеспечение ЭВМ М-13 включает многофункциональную систему, поддерживающую пакетный режим, режим разделения времени, режим реального времени, систему программирования и отладки на ассемблере и систему технического обслуживания. Был также разработан

структурно-ориентированный язык высокого уровня МАК13. Руководил разработкой программного обеспечения ЭВМ М-13 А.Ю. Карасик.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭВМ М-13

Конструктивную основу ЭВМ М-13 составляют четыре основные конструкции: ячейка, блок, секция, шкаф (рис. 3–5). Общее руководство разработкой конструкций осуществлял Е.И. Цибуль.

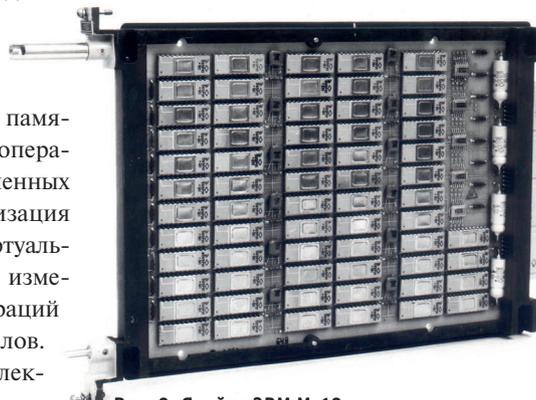


Рис. 3. Ячейка ЭВМ М-13

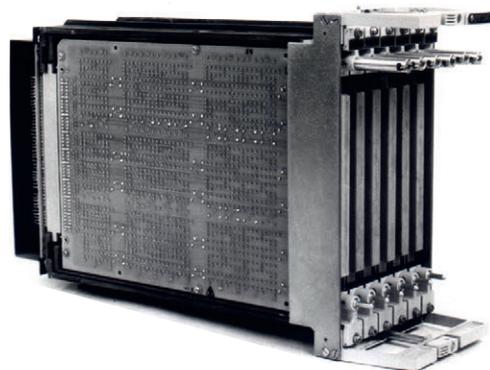
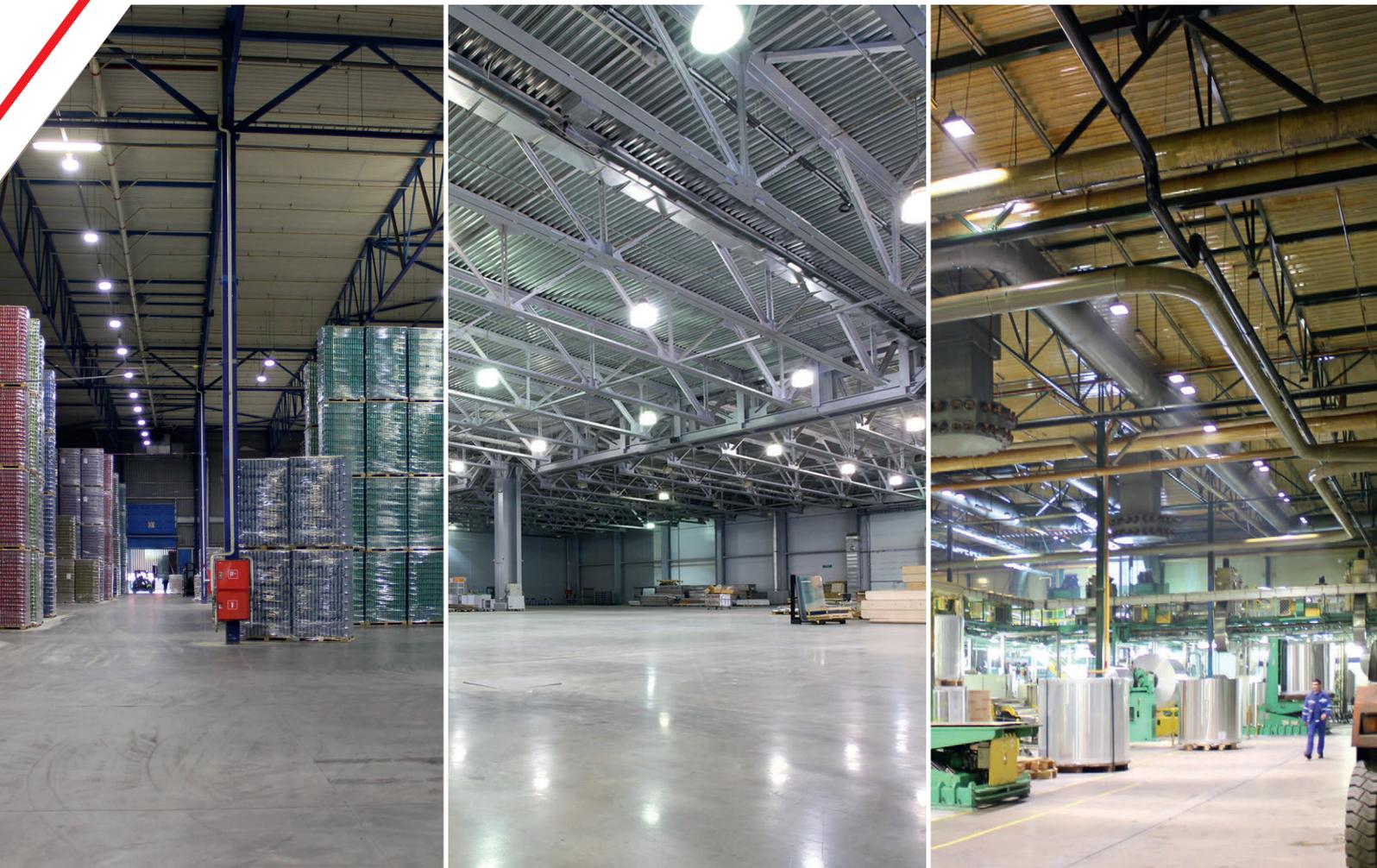


Рис. 4. Блок с ячейками ЭВМ М-13



Рис. 5. Типовой шкаф ЭВМ М-13



Применяются для освещения

складских комплексов / технических зон / производственных помещений / АЗС / спортивных комплексов

Преимущества

- Высокий световой поток (до 12 000 лм)
- Широкий диапазон рабочих температур $-40...+50^{\circ}\text{C}$
- Степень защиты IP66
- Универсальное крепление с возможностью настройки
- Широкая номенклатура вариантов исполнения
- Высокие экономичность и эффективность
- Гарантия 3 года





Рис. 6. Общий вид ЭВМ М-13

При монтаже ячеек и блоков использовались многослойные печатные платы с техническими характеристиками:

- общее число слоёв – 9,
- число сигнальных слоёв – 4,
- число отверстий сквозной металлизации – 1500,
- шаг трассировки – 1,25 мм.

Была разработана и введена в эксплуатацию система автоматизированного проектирования МПП для логических ячеек и объединительных МПП для блоков. Дополнительно была разработана и введена в эксплуатацию подсистема автоматизированного выпуска конструкторской документации на ячейки и блоки. Обе системы объединялись в комплексе САПР. Руководил разработкой этого комплекса Н.Е. Геништа.

Машинные носители с программами трассировок обеспечивали изготовле-

ние МПП на станках с программным управлением.

Разработка конструкторской документации на ЭВМ М-13 была завершена в 1981 году. В 1982 году опытный завод НИИДАР изготовил и поставил в НИИВК все устройства экспериментального образца машины. Дальнейшее производство не начиналось ни в 1982, ни в 1983 годах.

В 1984 году, уже после смерти главного конструктора М.А. Карцева, к серийному производству ЭВМ М-13 был привлечён Загорский электромеханический завод, который оперативно включился в работы по освоению производства этой машины. В 1985 году был изготовлен и успешно прошёл заводские испытания на соответствие требованиям технических условий головной образец ЭВМ М-13. Началось серийное производство и поставка машин с приёмкой заказчика на объекты Министерства обороны. В 1988 году заверши-

лась поставка первой серии из шести ЭВМ М-13 (рис. 6) для построения резервируемого вычислительного комплекса.

В 1991 году ЭВМ М-13 успешно выдержала государственные испытания.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭВМ М-13

Эффективная производительность центральной процессорной части ЭВМ М-13 составляла от 10 до 50 млн оп./с, в зависимости от исполнения.

Объём внутренней памяти – 8,5; 17 или 34 Мбайт.

Пропускная способность центрального коммутатора (УКШ) – 800, 1600 или 3200 Мбайт/с.

Пропускная способность мультиплексного канала – 40, 70 или 100 Мбайт/с.

Максимальное эквивалентное быстроедействие специализированной процессорной части (ПОФ) может достигать 2,4 млрд операций в секунду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первая серия из шести машин ЭВМ М-13 была поставлена на головную радиолокационную станцию нового поколения «Дарьял-У». В 1991 году ЭВМ М-13 в составе объекта успешно выдержала совместные испытания.

Производство ЭВМ М-13 продолжалось для комплектования вычислительных комплексов следующих РЛС «Дарьял-У». Было изготовлено 18 комплектов этих машин. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. М.А. Карцев. Вопросы построения многопроцессорных вычислительных систем // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 1970. Вып. 5–6. – С. 3–19.



Рогачёв Юрий Васильевич

18 августа 2015 года исполняется 90 лет Рогачёву Юрию Васильевичу.

Юрий Васильевич Рогачёв – один из ведущих специалистов в области вычислительной техники, кандидат технических наук, лауреат Государственной премии СССР.

Весь жизненный путь Ю.В. Рогачёва связан с развитием и внедрением средств отечественной электронно-вычислительной техники. Неоценим его вклад в создание, внедрение в производство и сопровождение на объектах эксплуатации ряда высокопроизводительных ЭВМ, от М-1 до М-13, и комплексов на их основе. Научные решения и высокий технический уровень этих вычислительных средств способствовали реализа-

ции национальной программы по созданию оборонного комплекса страны.

Юрий Васильевич прошёл путь от техника-электромеханика до главного инженера, директора, главного конструктора института, председателя Совета директоров ОАО «НИИВК им. М.А. Карцева» (с 1997 по 2015 гг.).

Ю.В. Рогачёв награждён орденами Отечественной войны, Трудового Красного Знамени, «Знак Почёта», знаком «Почётный радист», многими медалями, в том числе «За победу над Японией», медалью М.А. Карцева.

В 2015 году к 70-летию Победы институт выпустил книгу «Жажда жизни» о творческом и жизненном пути Юрия Васильевича Рогачёва. ■

ADVANTIX

Мы ценим время
наших клиентов



✓ Промышленные компьютеры AdvantiX доступны в день оформления заказа со склада компании ПРОСОФТ в Москве, потому что мы ценим ваше время.

WWW.ADVANTIX-PC.RU

PROSOFT[®]

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ADVANTIX

МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru



Реклама