

К 60-летию Института электронных управляющих машин им. И.С. Брука

Н.Л. Прохоров, А.К. Ким, Г.А. Егоров

ПАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука», г. Москва, Россия

Аннотация. Рассматриваются основные этапы деятельности Института электронных управляющих машин им. И.С. Брука за 60 лет его существования, включая создание первых в нашей стране малых электронных вычислительных машин, агрегатной системы средств вычислительной техники (АСВТ), системы малых ЭВМ (СМ ЭВМ), современных вычислительных комплексов и систем на базе отечественных микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус».

Ключевые слова: Ключевые слова: ИНЭУМ, автоматические цифровые вычислительные машины М-1 и М-2, концепция управляющих ЭВМ, программное обеспечение СМ ЭВМ, управление в реальном времени.

DOI: 10.14357/20718632180301

Институт электронных управляющих машин (ИНЭУМ) был организован по Постановлению Президиума АН СССР № 413 от 27 июня 1958 года на базе самостоятельной Лаборатории управляющих машин и систем АН СССР (ЛУМС), которая двумя годами ранее выделилась из состава Энергетического института АН СССР им. Г.М. Кржижановского. Организатором и первым директором ИНЭУМ был один из основоположников отечественной вычислительной техники, член-корреспондент АН СССР Исаак Семенович Брук (1902 – 1974), имя которого в настоящее время носит Институт.

Если школа академика С.А. Лебедева складывалась в направлении создания ЭВМ максимальной производительности для каждого поколения элементной базы, то школа И.С. Брука изначально была направлена на класс малых и средних ЭВМ, для которых весьма существенным является низкий показатель соотношения цена/производительность при сбалансированном компромиссе других характеристик.

Начало работы И.С. Брука над цифровыми вычислительными машинами относится к 1948 году, когда он совместно с Б.И. Рамеевым составил отчет о принципах работы цифровой ЭВМ с хранимой программой.

Первое в СССР авторское свидетельство на изобретение цифровой ЭВМ было получено И.С. Бруком и Б.И. Рамеевым с приоритетом, датированным 4 декабря 1948 года. Этот день считается днём Российской информатики. В 1950 – 1951 гг. под руководством И.С. Брука в Лаборатории электросистем Энергетического института АН СССР была разработана автоматическая цифровая вычислительная машина М-1. Основные идеи построения М-1 были сформулированы И.С. Бруком и Н.Я. Матюхиным, тогда молодым инженером, окончившим МЭИ, впоследствии членом-корреспондентом АН СССР. В М-1 были реализованы двухадресная система команд и ряд важнейших решений по выбору логики и схемотехники цифровых ЭВМ, сыгравших весьма значительную роль в дальнейшем развитии отечественной вычисли-

тельной техники. М-1 была введена в эксплуатацию почти одновременно с машиной МЭСМ, разработанной С.А. Лебедевым в Киеве.

Здесь важно отметить, что разработчики М-1 и машины МЭСМ пришли к классическому построению своих цифровых вычислительных машин на основе архитектуры с хранимой программой (называемой сейчас архитектурой фон Неймана) независимо друг от друга и от работ американских ученых (известных в США с 1946 года, но впервые опубликованных в сокращенном виде в 1962 году).

В 1952 г. лабораторией И.С. Брука была разработана машина М-2. Ее разработку выполняла группа выпускников МЭИ, возглавляемая М.А. Карцевым. Работая примерно с такой же скоростью, как и ЭВМ «Стрела», М-2 содержала в 4 раза меньше электронных ламп, потребляла в 7 – 8 раз меньше электроэнергии, занимала в 10 раз меньшую площадь. Эти достижения были обусловлены применением обычных осциллографических электронно-лучевых трубок в качестве элементов оперативной памяти и полупроводниковых диодов в логических схемах. Вероятно впервые в М-2 при ее модернизации в 1953 – 56 гг. М.А. Карцевым была реализована идея укороченных адресов в командах (с переключением областей памяти) и укороченных кодов операций как способа согласования форматов команд и форматов чисел. Эта идея стала предшественницей способов формирования исполнительных адресов в машинах второго и третьего поколений.

Летом 1953 года М-2 была введена в эксплуатацию. На ней проводились расчёты для Института атомной энергии (академик И.В. Курчатов), КБ академика С.П. Королёва, предприятия академика А.Н. Берга, Института теоретической и экспериментальной физики АН СССР (академик А.И. Алиханов), Института проблем механики АН СССР для расчета прочности плотин Куйбышевской и Волжской ГЭС и многих других научных и промышленных организаций. На основе опыта работ по М-1 и М-2 И.С. Брук в 1955 – 56 гг. сформулировал концепцию построения малых ЭВМ, которая отражалась им в термине «малогобаритная машина». Таким образом, им была предвосхищена тенденция, ставшая преобладающей

в 80-х годах, разделения компьютерного рынка с явным выделением двух основных классов – малых и суперЭВМ.

Первой задачей в области создания малых ЭВМ была разработка М-3, проведенная в ЛУМС совместно с ВНИИЭМ (академик А.Г. Иосифьян) в 1956 – 1957 гг. Основные идеи построения М-3 были сформулированы И.С. Бруком, Н.Я. Матюхиным, В.В. Бельнским, Б.М. Каганом, Б.М. Долкартом. М-3 предназначалась для проектных и исследовательских институтов и после её приёмки в 1957 году Государственной комиссией под председательством академика Н.Г. Бруевича выпускалась на заводе им. С. Орджоникидзе в г. Минске. М-3 послужила прототипом для двух промышленных серий ЭВМ – «Минск» и «Раздан».

Созданию ИНЭУМ предшествовала постановка И.С. Бруком в 1957 году научной проблемы «Разработка теории, принципов построения и применения специализированных вычислительных и управляющих машин». Проблемная записка, составленная группой специалистов под руководством И.С. Брука, была опубликована АН СССР в 1958 году в серии «Вопросы советской науки». В записке было показано значение управляющих машин для народного хозяйства, впервые были обоснованы и изложены главные направления фундаментальных и прикладных исследований в области автоматизации производства и управления объектами с помощью специализированных и управляющих машин. Разработка теории и принципов построения вычислительных специализированных и управляющих машин сводилась к исследованиям в области информационного аспекта управления, рассмотрению управляющей машины как элемента электрической цепи, созданию теории и методов осуществления самонастраивающихся систем, разработке новых элементов цифровых машин и логических схем. Были намечены пути применения управляющих машин в энергетике, машиностроении, металлургии, химическом производстве, а также в планировании и статистике народного хозяйства. Эта записка послужила толчком к организации в СССР целого ряда научно-исследовательских институтов и проектно-конструкторских бюро в области со-

здания управляющих машин и систем, с которыми ИНЭУМ в дальнейшем плодотворно сотрудничал.

Понятие о специализированных управляющих и вычислительных машинах, сформулированное в проблемной записке применительно к ЭВМ первого поколения, со временем изменило свое первоначальное значение, благодаря огромному прогрессу в области электроники. В то же время сохранило свое значение и получило дальнейшее развитие введенное И.С. Бруком понятие «управляющие ЭВМ», которые отличаются от универсальных ЭВМ характером связи с объектом управления, более высокой надежностью, возможностью работы в реальном масштабе времени, эксплуатацией в неблагоприятных промышленных условиях внешней среды и др.

В 1958 – 1964 гг. в ИНЭУМ была разработана управляющая вычислительная машина М-4 (М4-М, М4-2М), предназначенная для управления в реальном времени комплексом радиолокационных станций, который создавал Радиотехнический институт АН СССР (академик А.Л. Минц) в составе радиоэлектронной системы наблюдения за искусственными спутниками Земли. М-4 была одной из первых отечественных машин, построенных на элементной базе второго поколения. Хотя решение о запуске М-4 (М4-М) в серийное производство было принято в 1962 году после успешных испытаний на действующем макете комплекса радиолокационных станций, главный конструктор М-4 М.А. Карцев настоял на существенной модернизации машины, имея в виду, что благодаря прогрессу в электронной технике за 1958 – 62 гг. можно было резко улучшить характеристики и выпустить машину, на порядок более мощную, чем ЭВМ, выпускавшиеся тогда в СССР. Модернизированная машина М4-2М имела быстродействие 220 тыс. оп./с на программах, записанных в постоянной памяти, объем оперативной памяти – до 16 Кслов (29-разрядных), объем памяти инструкций и констант – до 12 Кслов, (29-разрядных). В таком виде М4-2М выпускалась серийно с 1964 года в течение 15 лет. Затем для нее в 1968 г. были разработаны периферийные машины (М4-3М) для ввода и первичной обработки данных, поступающих от объекта, хране-

ния, документирования и выдачи информации внешним абонентам при одновременной асинхронной работе всех абонентских систем и устройств. Быстродействие комплекса из М4-2М и М4-3М составляло 400 тыс. оп./с.

Руководителем этих разработок М.А. Карцевым был сделан значительный вклад в развитие отечественных цифровых вычислительных и управляющих машин. Свой опыт и представления об архитектуре ЭВМ М.А. Карцев обобщил в монографии «Архитектура цифровых вычислительных машин», изданной в 1978 году, рассмотрев эти вопросы применительно к машинам третьего поколения.

В 1967 году М.А. Карцев предложил новый подход к построению архитектуры и структуры вычислительных систем, использующих параллелизм в вычислениях. Под руководством М.А. Карцева в ИНЭУМ был разработан эскизный проект вычислительной системы М-9 с производительностью 1 млрд. оп./с. В М-9 на матрице 32×32 элементарных вычислителей с общим потоком команд должны были выполняться операции над новым классом операндов: не над числами, а над функциями одной или двух переменных, заданных в дискретных точках. Проект М-9 был богат новыми в то время идеями, многие из которых не реализованы до сих пор. Разработка М-9 в полном объеме не была осуществлена из-за ограничений элементной базы и технологии, существовавших в то время.

В дальнейшем коллектив М.А. Карцева составил ядро Научно-исследовательского института вычислительных комплексов – НИИВК, в настоящее время носящего имя М.А. Карцева, создавшего высокопроизводительные вычислительные комплексы М-10 и М-13, в которых был воплощен ряд решений, предложенных в проекте М-9.

В 1958 – 1961 гг. в ИНЭУМ под руководством И.С. Брука была разработана универсальная ЭВМ М-5, предназначенная для планово-экономических расчетов. М-5 отличалась развитыми возможностями мультипрограммной и многотерминальной работы и, будучи одной из первых отечественных ЭВМ, построенных на технической базе второго поколения, по своей архитектуре и структуре во многом являлась предшественницей ЭВМ третьего по-

коления. Надо отметить, что разработчики М-5 в ИНЭУМ не имели во время разработки каких-либо сведений о существовании ЭВМ с подобными возможностями. Сведения о зарубежных ЭВМ с мультипрограммным режимом работы, появившихся в 1960 - 1961 гг. («Атлас», «Гамма-60» и др.), стали известны у нас значительно позже того, как разработка М-5 была завершена. К сожалению, М-5 не была освоена в серийном производстве, так как Минскому заводу им. С. Орджоникидзе, с которым работал ИНЭУМ по М-5, было поручено в это время организовать производство ЭВМ «Весна».

Важным направлением работ ИНЭУМ в 60-х годах была автоматизация мощных энергоблоков «котел-турбина-генератор» на тепловых электростанциях. Разработанные в ИНЭУМ управляющие машины М-7 были введены в эксплуатацию в 1966 году на блоке 200 Мвт Щекинской ГРЭС и в 1969 году на блоке 800 Мвт Славянской ГРЭС. Системы управления энергоблоками на базе М-7 выполняли функции поддержания нормальных режимов работы блока с оптимизацией их на минимум расхода топлива и выдачей соответствующих уставок на регуляторы, а также сложные логические программы операций пуска и останова энергоблока, анализ сочетаний параметров работы энергоблока с целью обнаружения предаварийных ситуаций, отображение необходимой информации на табло пульта оператора энергоблока. Разработкой и внедрением М-7 руководили Н.Н. Ленев и Н.В. Паутин, бывший директором ИНЭУМ в 1964 – 1967 гг.

В начале 60-х годов руководство страны приняло решение, направленное на «приближение науки к производству». Значительная часть институтов бывшего Отделения технических наук АН СССР была передана в промышленность, в том числе и ведущие институты в области вычислительной техники (ИТМиВТ, ИНЭУМ и другие). Постепенно изменилась тематика этих институтов в ущерб фундаментальным исследованиям и перспективным разработкам. Изменилась мотивация ученых, работавших в этих, теперь промышленных институтах. Это решение привело к значительному ослаблению АН СССР по направлениям науки, связанным с кибернетикой и информа-

тикой. Оно коснулось, прежде всего, Российской Федерации, академическая наука которой отождествлялась с АН СССР. Работы в области кибернетики и информатики стали развиваться в это время в академиях наук союзных республик (Украина, Белоруссия, Эстония, Латвия, Литва, Армения, Грузия, Узбекистан), а также в Сибирском и Дальневосточном отделениях АН СССР, благодаря усилиям их организаторов – академиков М.А. Лаврентьева, С.Л. Соболева, А.А. Воронова.

С середины 60-х годов ИНЭУМ сотрудничал со многими из академических институтов, представляя отраслевую науку как головная организация Минприбора СССР в области вычислительной техники.

В 1965 году ИНЭУМ возглавил работы Минприбора СССР по созданию Агрегатной системы средств вычислительной техники на микроэлектронной базе (АСВТ-М), предназначенной, в первую очередь, для автоматизации технологических процессов в промышленности и автоматизированных систем управления предприятиями и входящей в состав Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

Хотя в эти годы производство отечественных интегральных схем еще находилось в стадии разработки и опытной эксплуатации, уже в 1970 году в ИНЭУМ были разработаны первые в стране управляющие вычислительные комплексы (УВК) третьего поколения. Эти комплексы в совокупности с другими агрегатными комплексами ГСП составили техническую базу автоматизированных систем, которые в большом количестве создавались в СССР в 70-х годах для решения задач автоматизации диспетчерского управления в крупных энергосистемах, управления технологическими процессами, производством и предприятиями в машиностроении, металлургии и других отраслях промышленности, а также для автоматизации научных исследований и экспериментов.

Главным конструктором АСВТ-М был назначен Б.Н. Наумов (1927 – 1988), ставший директором ИНЭУМ в 1967 году (в 1984 году избранный действительным членом АН СССР).

Идеология, структура, принципы унификации моделей УВК, узлов и устройств АСВТ

были разработаны во второй половине 60-х годов совместно ИНЭУМ (Е.Н. Филинов) и НИИУВМ г. Северодонецк (В.В. Резанов).

При определении принципов архитектуры и структуры моделей ЭВМ и УВК, входящих в состав АСВТ, учитывались два принципиальных момента:

- необходимость предусмотреть ряд моделей для нескольких (хотя бы трех) уровней иерархии АСУ на промышленном предприятии, отвечающих требованиям решения разных классов задач (подсистемы централизованного контроля параметров технологических процессов, локального управления отдельными технологическими агрегатами и устройствами, управления технологическим процессом, диспетчерского управления производством, планирования и т.д.);
- возможность создания универсальных управляющих машин и управляющих вычислительных комплексов на элементной базе второго и третьего поколений вместо многочисленных специализированных ЭВМ, разрабатывавшихся в 50-х – начале 60-х годов.

Предпосылки для формирования идеологии АСВТ базировались на предшествующем опыте НИИУВМ, связанном с системой машин СОУ-1 (машины МППИ, УМ-1, КВМ-1), Института кибернетики АН УССР (машины «Днепр», «Днепр 2»), ИНЭУМ (машины М-4, М-5, М-7).

В составе АСВТ были предусмотрены две очереди разработки:

- первая очередь на технической базе второго поколения (АСВТ-Д) включала модели М-1000 (ТНИИСА, г. Тбилиси), М-2000, М-3000 (НИИУВМ, г. Северодонецк);
- вторая очередь на технической базе третьего поколения (АСВТ М) включала модели М-4000/М-4030 (ИНЭУМ совместно с Киевским ПО «Электронмаш»), М-5000 (СКБ Вильнюсского завода счетных машин), М-6000, М-7000 (НИИУВМ), М-400, М-40 (ИНЭУМ).

Для моделей верхнего уровня (М-2000, М-3000, М-4000/М-4030) была выбрана архитектура, которая обеспечивала программную совместимость с моделями ЕС ЭВМ, промышленное производство которых было развернуто в СССР в начале 70-х годов. Проработка сопряжения моделей верхнего уровня АСУП с

управляющими комплексами нижележащих уровней, выполненная в рамках АСВТ, подготовила основу для разнообразных проектов совместного использования ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ в дальнейшем. При разработке программного обеспечения АСВТ был решен вопрос обеспечения совместимости близких архитектур на уровне операционных систем. Как известно, решение разработчиков НИЦЭВТ по выбору архитектуры было связано с альтернативой обеспечения двоичной совместимости семейства ЕС ЭВМ с Системой 360/370 фирмы ИВМ или с Системой 4 фирмы ICL, и это представлялось принципиальным вопросом. Операционная система ДОС АСВТ, разработанная в ИНЭУМ под руководством И.Я. Ландау и В.А. Козмидиади, будучи совместимой для приложений с OS BS-2000 фирмы Сименс (архитектура семейства Simens-4004), работала на аппаратуре М-4030, двоично совместимой с аппаратурой ЕС ЭВМ. Разработкой аппаратуры М-4000/М-4030 в ИНЭУМ руководил В.Г. Захаров.

М-2000 серийно выпускалась Северодонецким приборостроительным заводом, М-3000, М-4030 – Киевским заводом ВУМ. Разработка и освоение производства М-4030 были отмечены Государственной премией Украинской ССР (А.Ф. Незабитовский, С.С. Забара, В.А. Афанасьев, Э.И. Сакаев, В.Н. Харитонов, Ю.М. Ожиганов, А.Г. Мельниченко – Киевский ВУМ и Б.Н. Наумов, И.Я. Ландау – ИНЭУМ).

Для моделей АСВТ-М среднего уровня, относящихся к классу мини-ЭВМ, были выбраны две архитектурные линии. Первую из них представляли модели М-6000 и М-7000, разработанные НИИУВМ под руководством В.В. Резанова и В.М. Костелянского и выпускавшиеся Северодонецким приборостроительным заводом, Киевским заводом ВУМ и Тбилисским заводом УВМ. Эта архитектура была преемственной от мини-ЭВМ «Параметр», у которой базовая система инструкций процессора и структура операционной системы были сходны с архитектурой мини-ЭВМ HP-2116 фирмы Hewlett-Packard. В составе семейства М-6000/М-7000 была разработана большая номенклатура устройств связи с объектом, устройств ввода-вывода, средств внутрисистемных коммуникаций.

Вторую архитектурную линию моделей АСВТ-М среднего уровня представляла М-400 (Н.Н. Ленев), также относившаяся к классу мини-ЭВМ. Архитектура, выбранная для М-400, предусматривала систему команд и способы адресации, обеспечивавшие программную совместимость с семейством мини-ЭВМ PDP-11 фирмы Digital Equipment Corp., наиболее распространенным за рубежом в то время, а также магистральный системный интерфейс ОШ – «Общая шина» (Unibus). К «Общей шине» подключались контроллеры периферийных устройств (внешней памяти, ввода-вывода), а также контроллеры, связывающие центральное вычислительное устройство с устройствами связи с объектом (УСО) из номенклатуры УСО М-6000/М-7000 и с машинами централизованного контроля М-40.

Создание в рамках АСВТ-М в первой половине 70-х годов производительных интерактивных графических дисплеев, ориентированных на архитектуру ЭВМ с общей шиной, открыли перспективу использования разработок ИНЭУМ в системах автоматизированного проектирования. Характеристики графического комплекса на базе М-400 и экранного графического пульта ЭПГ-400 (В.И. Фукс) обеспечили ЦКБ «Алмаз» (академик Б.В. Бункин) выбор его в качестве основной платформы оснащения предприятий оборонного комплекса автоматизированными рабочими местами (АРМ) проектировщиков. Серийное производство дисплеев ЭПГ-400 было организовано на Львовском ПО им. В.И. Ленина, а комплексирование АРМ на основе М-400 и ЭПГ-400 – на Гомельском заводе ГЗРТО. Это позволило в сжатые сроки начать внедрение АРМ в практику конструирования.

Отдельное место в составе АСВТ-М занимала модель М-5000, также относящаяся к классу мини-ЭВМ. Она была предназначена для замены машин счетно-перфорационного комплекса на машиносчетных станциях ЦСУ СССР, которые в середине 60-х годов устарели морально и физически. Оригинальная архитектура М-5000 учитывала специфику учетно-статистических задач. Разработку и серийный выпуск М-5000 осуществлял вильнюсский завод счетных машин (главный конструктор – А.М. Немейкшис).

Машина централизованного контроля и управления М-40 (Э.В. Кешек, Н.Д. Кабанов), занимавшая нижний уровень в иерархии моделей АСВТ-М, была предназначена для сбора, первичной обработки и регистрации параметров технологических процессов, многоканального двухпозиционного регулирования и вывода информации на цифровые индикаторы и электро-лучевые трубки пультов операторов. В М-40 был принят микропрограммный принцип выполнения программ, записываемых в постоянном запоминающем устройстве (с целью повышения надежности) емкостью 16 Кбайт.

В 1974 году решением Межправительственной комиссии по сотрудничеству социалистических стран в области вычислительной техники (МПК по ВТ) ИНЭУМ был определен головной организацией по созданию системы малых ЭВМ (СМ ЭВМ), а директор ИНЭУМ Б.Н. Наумов назначен генеральным конструктором СМ ЭВМ. В 1983 году Б.Н. Наумов возглавил созданный на базе части подразделений ИНЭУМ Институт проблем информатики АН СССР (ИПИАН). С 1984 года директором ИНЭУМ и генеральным конструктором СМ ЭВМ стал Н.Л. Прохоров. Комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по СМ ЭВМ выполнялся более чем 30 институтами и предприятиями СССР, Болгарии, Венгрии, ГДР, Республики Куба, Польши, Румынии и Чехословакии.

СМ ЭВМ включала в себя набор базовых моделей микро- и мини-ЭВМ: базовый ряд процессоров различной производительности и устройств оперативной памяти; широкую номенклатуру устройств ввода-вывода информации, внешней памяти, отображения информации, связи с объектом, внутримашинной и межмашинной связи. СМ ЭВМ была предназначена для построения:

- управляющих вычислительных комплексов, используемых в системах управления промышленными технологическими процессами и агрегатами,
- измерительно-вычислительных комплексов, используемых в системах автоматизации проектирования,
- комплексов сбора и обработки данных в системах управления объектами промышленной

сферы, а также для выполнения небольших по объему коммерческих и инженерных расчетов.

С середины 70-х годов две международные системы ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ в совокупности, дополняя друг друга, стали технической базой автоматизации управления и обработки информации во всех сферах народного хозяйства стран СЭВ, участвовавших в Соглашении по сотрудничеству в области вычислительной техники.

Авторитет и роль ИНЭУМ как головной организации по СМ ЭВМ, в создании которой участвовали несколько десятков организаций и предприятий сотрудничавших стран, были поддержаны опытом и квалификацией инженерной школы малых ЭВМ И.С. Брука и школы построения систем, машин и агрегатных комплексов, формировавшейся под руководством Б.Н. Наумова. Б.Н. Наумов как генеральный конструктор СМ ЭВМ провел последовательную линию на принятие международных стандартов на интерфейсы аппаратуры и системы программирования СМ ЭВМ, конструктивы, определяющие типоразмеры печатных плат, панелей и стоек, и другие нормативы, обеспечивающие сопряжение устройств разных изготовителей в составе комплекса.

При разработке СМ ЭВМ были приняты несколько общих принципов, среди которых в качестве важнейших следует отметить:

- обеспечение преемственности с выпускавшимися ранее ЭВМ и моделями АСВТ-М: М-400 (СМ3, СМ4, СМ1300, СМ1420), М-5000 (СМ1600), М-6000/М-7000 (СМ1, СМ2, СМ1210, СМ1634), «МИР» (СМ1410);
- построение систем с разделением функций, использующих универсальные и специализированные процессоры СМ ЭВМ;
- широкое применение микропрограммно-го управления для реализации основных функций процессоров и контроллеров;
- применение программируемых контроллеров периферийного оборудования;
- общая для ряда моделей номенклатура периферийного оборудования за счет стандартных интерфейсов периферийных устройств;
- развитая номенклатура адаптеров передачи данных для сопряжения СМ ЭВМ с линиями связи в соответствии с международными стандартами;

- средства сопряжения СМ ЭВМ с ЕС ЭВМ в гетерогенных системах (например, эмуляция терминалов ЕС ЭВМ на СМ ЭВМ и др.);

- построение проблемно-ориентированных комплексов, выпускаемых промышленностью на базе моделей СМ ЭВМ: измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) с аппаратурой КАМАК или АСЭТ ГСП, автоматизированные рабочие места (АРМ) для САПР в машиностроении, радиоэлектронике и строительстве и др.;

- единые для всех средств СМ ЭВМ конструктивы, соответствующие стандартам Международной электротехнической комиссии.

Разработка СМ ЭВМ выполнялась по двум архитектурным линиям.

Первая архитектурная линия включала широкую номенклатуру управляющих вычислительных комплексов на базе микро-ЭВМ семейства СМ1800, построенных по магистрально-модульному принципу (Н.Л. Прохоров, А.Н. Шкамарда, Н.Д. Кабанов, А.Я. Соколов, В.И. Глухов, Ю.В. Нифонтов, В.С. Кравченко, И.И. Бабанов). Первые модели этой линии представляли собой 8-разрядные микроЭВМ (микропроцессор КР580), построенные по магистрально-модульному принципу с внутренним интерфейсом И41 (Multibus).

В 1987 году была завершена разработка и начат серийный выпуск первой 16-разрядной модели этого семейства – СМ1810 (микропроцессор К1810ВМ86). В СМ1810 также использовался интерфейс И41, что позволило использовать в ее составе периферийные модули и устройства, разработанные для СМ1800. Было разработано шесть модификаций СМ1810 общего применения и четыре модификации для работы в промышленных условиях (СМ1814). За разработку систем управления в авиационной промышленности на основе СМ1810 Н.Д. Кабанов, Н.Л. Прохоров и А.Н. Шкамарда были удостоены Премии Совета Министров СССР.

В 1990 году была завершена разработка 32-разрядного вычислительного комплекса СМ1820 на базе микропроцессора Intel 80386.

Всего в 1977 – 1990 гг. было разработано и выпускалось 26 модификаций семейства СМ1800. В составе этой линии СМ ЭВМ была разработана широкая номенклатура внешних

устройств, устройств связи с объектом, сетевых средств, адаптеров различных интерфейсов (С2, RS422, ИЛПС, ВITBUS, ИРПР и др.).

Во всех разработках семейства СМ1800 был принят и реализован принцип магистрально-модульной архитектуры, что позволило обеспечить практически непрерывно процесс эволюционного развития всех модулей семейства как в части повышения производительности, так и в части удовлетворения функциональным требованиям области применения.

Системное программное обеспечение семейства СМ1800 включало в себя инструментальные операционные системы (ДОС1810, БОС1810), исполнительные операционные системы реального времени (ОС СФП, БОС1810), операционные системы общего назначения (Микрос-86, Демос, МДОС).

Возможность использования достаточно широкой номенклатуры серийно-выпускаемых технических и программных средств семейства СМ1800 позволяла удовлетворить требования таких областей применения, как АСУТП, АСНИ, ГПС, системы обработки экономической и текстовой информации и др. Серийное производство микроЭВМ семейства СМ1800 осуществлялось Киевским ПО «Электронмаш», ПО «Орловский завод УВМ им. К.Н. Руднева» и Тбилисским ПО «Элва».

Вторая архитектурная линия СМ ЭВМ была представлена рядом программно совместимых моделей мини-ЭВМ разной производительности. Младшие модели этой линии включали 16-разрядные ЭВМ (СМ3, СМ4, СМ1300, СМ1420) на базе системного интерфейса «Общая шина» (ОШ) (А.Н. Кабалевский, В.П. Сёмик, Ю.Н. Глухов, Б.Я. Фельдман).

Развитием СМ1420 являлся вычислительный комплекс СМ1425, в котором был применен 22-разрядный магистральный параллельный системный интерфейс МПИ и который имел более развитые архитектурные возможности (Л.М. Плахов, Г.А. Егоров, В.С. Громов, В.И. Панфёров).

Особое место в этой архитектурной линии занимали 32-разрядные мини-ЭВМ семейства СМ1700 с интерфейсом ОШ и СМ1702 с интерфейсом МПИ. Архитектура этого семейства обеспечивала поддержку виртуальной памяти, программную и аппаратную совместимость с

16-разрядными моделями мини-ЭВМ, а также развитую систему диагностирования (Н.Л. Прохоров, В.В. Родионов, В.И. Фролов, Г.А. Егоров, Л.М. Плахов, М.А. Островский).

Программное обеспечение СМ ЭВМ этой линии было представлено широким набором операционных систем и их окружением, включая сетевое программное обеспечение для создания локальных и распределённых сетей ЭВМ, системы управления базами данных, диагностические и тестовые системы, базовое программное обеспечение АРМ, пакеты прикладных программ различного назначения. Тем самым обеспечивалось использование СМ ЭВМ в различных областях применения: автоматизация научных исследований; управление технологическими процессами; системы распределенной обработки данных; информационные системы; системы сбора и обработки данных и др. Основные разработчики программного обеспечения СМ ЭВМ – И.Я. Ландау, В.П. Сёмик, Г.А. Егоров, Г.П. Васильев, Г.П. Остапенко, Г.Я. Илюшин, Г.В. Вигдорчик, Л.Н. Столяр, В.Д. Праченко, М.Н. Беляков, М.Б. Немировский, Л.Ф. Штильман.

Все модели второй архитектурной линии серийно изготавливались на заводах ПО «Электронмаш» (г. Киев), заводе «Энергоприбор» (г. Москва) и ЛПО «Сигма» (г. Вильнюс), которые принимали самое непосредственное участие и во всех стадиях разработки.

Большое место в номенклатуре СМ ЭВМ занимали контроллеры и периферийные устройства, а также спецпроцессоры, обеспечивающие значительное повышение производительности ЭВМ для конкретного класса решаемых задач. Здесь, прежде всего, необходимо отметить спецпроцессор для быстрых преобразований Фурье (СПФ СМ), разработанный совместно с Институтом радиотехники и электроники АН СССР и использовавшийся для обработки радиолокационных изображений поверхности планеты Венера (Б.Я. Фельдман). Для этого крупномасштабного исследования, проведенного АН СССР под руководством академика В.А. Котельникова, требовались вычислительные мощности, эквивалентные суперЭВМ, которыми ИРЭ АН СССР не располагал. Задачу удалось решить с помощью мини-ЭВМ, расширенной спецпроцессором Фурье.

Отдельно необходимо отметить процессор логического моделирования, который являлся специализированным вычислителем для ускоренного моделирования цифровых схем (Б.Г. Сергеев). Область применения этого спецпроцессора – системы автоматизированного проектирования СБИС. Оригинальная потоковая (конвейерная) архитектура спецпроцессора обеспечивала ускорение моделирования по сравнению с ЭВМ общего назначения в среднем в 1000 раз.

Значительные результаты были достигнуты в работах по созданию запоминающих устройств на цилиндрических магнитных доменах, проводимых под руководством В.К. Раева. Результаты этих работ оказали существенное влияние на развитие в стране фундаментальной науки о микроструктуре доменных границ и диверсифицированной технологии создания накопителей информации на магнитных доменах микронных и субмикронных размеров.

ИВК, созданные на базе СМ ЭВМ, средств КАМАК или АСЭТ, были ориентированы на автоматизацию сложных экспериментов в реальном времени в различных областях науки и техники. Гибкость и модульность средств СМ ЭВМ, наличие развитых средств сопряжения между ЭВМ и экспериментом в стандарте КАМАК или АСЭТ, наличие проблемно-ориентированных системных и прикладных программных средств СМ ЭВМ обеспечили широкое использование ИВК в системах автоматизации научных исследований, в первую очередь в институтах АН СССР.

Появление СМ ЭВМ позволило принципиально повысить эффективность и массовость применений автоматизированных рабочих мест в САПР. Возможности универсального, базового графического и прикладного программного обеспечения, систем управления базами данных сделали реальностью диалоговый режим проектирования, получение результатов проектирования в удобной форме, возможность ввода, редактирования и вывода графических изображений, схем и чертежей. В состав АРМов входили периферийные графические устройства, разрабатываемые по поручениям ВПК предприятиями Минрадиопрома, Мина-

виапрома, Миноборонпрома, Минсредмаша и ряда других ведомств для применения в областях радиоэлектроники (АРМ-Р), машиностроения (АРМ-М), строительства (АРМ-С), экономики (АРМ-Э) и др. Реализованный принцип программно-аппаратной совместимости всех средств СМ ЭВМ обеспечил безболезненное для пользователей и последовательное наращивание производительности АРМ включением в его состав разрабатываемых в институте процессоров СМ3, СМ4, СМ1420, СМ1700 и графических векторных и цветных растровых дисплеев ЭПГ-СМ и ЭПГ-3 (В.И. Фукс).

С 1974 по 1990 год по разработкам ИНЭУМ было выпущено более 60 тысяч вычислительных и управляющих комплексов СМ ЭВМ, а также измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) и автоматизированных рабочих мест (АРМ) на базе СМ ЭВМ.

Важно подчеркнуть, что индустрия СМ ЭВМ включала в себя развитую по всей стране инфраструктуру технического обслуживания и обучения. Средства СМ ЭВМ явились массовой школой для многих десятков тысяч специалистов, которые приобщились к миру компьютерных технологий.

В 2006 году произошёл процесс интеграции и объединения деятельности ИНЭУМ и ЗАО «МЦСТ», известного в нашей стране разработчика отечественных микропроцессоров и высокопроизводительных комплексов серии «Эльбрус». Основная деятельность Института в настоящее время направлена на исследования, разработку и реализацию промышленных технологий двойного применения в области высокопроизводительных вычислительных комплексов и систем на основе отечественных микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус».

Другим направлением является создание компьютеризированных ультразвуковых медицинских диагностических систем, обеспечивающих 2D и 3D визуализацию биологических объектов, а также ключевых компонентов для экзопротезов с управлением на основе импульсов головного мозга.

Разрабатываемые в Институте базовые технологии применяются для построения управляющих и информационных систем в промышленной сфере, энергетике, здравоохранении,

образовании и других отраслях. К последним разработкам Института, выполненным в рамках Федеральных государственных программ, следует отнести:

- персональный компьютер «Монокуб-РС» на базе микропроцессора «Эльбрус-2С+»;
- автоматизированное рабочее место «Эльбрус 401-РС» на базе четырехъядерного микропроцессора «Эльбрус-4С»;
- четырехпроцессорный сервер «Эльбрус-4.4» на базе микропроцессора «Эльбрус-4С» с производительностью до 200 Гфлопс;
- вычислительный кластер на базе сервера «Эльбрус-4.4» для создания высокопроизводительных суперЭВМ терафлопсной производительности;
- четырехпроцессорный сервер баз данных «Эльбрус-4.4 БД» на базе микропроцессора «Эльбрус-4С»;
- защищенный ноутбук «ПАРМ» на базе микропроцессора МЦСТ R1000;
- материнские платы «Монокуб» и «МПУ-АТХ» для использования во встраиваемых системах;
- автоматизированное рабочее место «СМ1820МВУ-116.05» на базе микропроцессора «Эльбрус-4С» для создания типовых рабочих мест операторов на атомных и тепловых электростанциях;
- пульт оператора «СМ1820МВУ-116.06» на базе микропроцессора «Эльбрус-4С» для создания типовых рабочих мест операторов на атомных и тепловых электростанциях;
- управляющий вычислительный комплекс «СМ1820МВУ-118» на базе микропроцессоров «Эльбрус-4С» для использования в качестве сетевых серверов и информационно-измерительных систем на атомных и тепловых электростанциях;
- контроллеры семейства СМ1820МКП на базе архитектуры Мисго-РС для создания распределенных многоканальных АСУТП;
- компьютеризированный многофункциональный эхоэнцефалодоплерограф ЭхЭдг-КОМПЛЕКС-М ультразвуковой диагностики для широкого применения;
- бионические интеллектуальные роботизированные протезы (БИНК, КИМ-21, КИМ-10 и др.), обеспечивающие наиболее полное вос-

становление функций нижних конечностей, утраченных вследствие ампутации, а также неинвазивные методы нейроинтерфейсов;

- различные процессорные модули для встраиваемых применений.

В заключение хотелось бы поздравить с 60-летием ИНЭУМ им. И.С. Брука всех коллег в России и за рубежом, принимавших участие в работах Института по созданию средств вычислительной техники.

Литература

1. Прохоров Н.Л., Филинов Е.Н. Исаак Семёнович Брук и его школа: труды международного симпозиума «Компьютеры в Европе; прошлое, настоящее и будущее». Киев, 1998.
2. Исаак Семёнович Брук. Член-корреспондент АН СССР. К 100-летию со дня рождения // Информационные технологии и вычислительные системы. 2002. №2.
3. Егоров Г.А., Красовский В.Е. Руководители Института электронных управляющих машин // История науки и техники. 2008. №5. С. 19–25.
4. Прохоров Н.Л., Ким А.К., Егоров Г.А. Творческий путь И.С. Брука. К 115-летию со дня рождения // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. №2.
5. Малые ЭВМ и их применение / Ю.А. Дедов, М.А. Островский, К.В. Песелев и др.; Под общей ред. Б.Н. Наумова. М.: Статистика, 1980. 231 с.
6. Система обработки экономической информации для малых ЭВМ / Н.Д. Кабанов, М.Р. Ковтун, Б.В. Лукьянов и др. М.: Финансы и статистика, 1981. 184 с.
7. Васильев Г.П., Егоров Г.А., Щербина Н.Н. Программное обеспечение сетей СМ ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1983. 87 с.
8. Семик В.П., Фридман А.Л., Горский В.Е. Диалоговая многотерминальная система для СМ ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1983. 159 с.
9. Вигдорчик Г.В., Воробьев А.Ю., Праченко В.Д. Основы программирования на Ассемблере для СМ ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1983. 160 с.
10. Наумов Б.Н. Микро- и мини-ЭВМ. Настоящее и будущее. М.: Знание, 1983. 64 с.
11. Микро-ЭВМ СМ1800. Архитектура, программирование, применение / А.В. Гиглавый, Н.Д. Кабанов, Н.Л. Прохоров и др. М.: Финансы и статистика, 1984. 136 с.
12. Операционная система СМ ЭВМ РАФОС / Л.И. Валикова, Г.В. Вигдорчик и др. М.: Финансы и статистика, 1984.
13. Праченко В.Д., Самборский А.Г., Чумаков М.В. Дисковая операционная система коллективного пользования. М.: Финансы и статистика, 1985. 206 с.
14. СМ ЭВМ: комплексирование и применение / Г.А. Егоров, К.В. Песелев, В.В. Родионов и др.; Под ред. Н.Л. Прохорова. М.: Финансы и статистика, 1986. 304 с.
15. Столяр Л.Н., Шапошников В.А. Средства проверки работоспособности оборудования СМ ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1986. 159 с.

16. Операционная система ОС РВ СМ ЭВМ / Г.А. Егоров, В.Л. Кароль, И.С. Мостов и др. М.: Финансы и статистика, 1987. 271 с.
17. Элементы и устройства на ЦМД: Справочник / А.М. Балбашов, Ф.В. Лисовский, В.К. Раев и др.; Под ред. Н.Н. Евтихиева, Б.Н. Наумова. М.: Радио и связь, 1987, 488 с.
18. Прохоров Н.Л. Вычислительный комплекс СМ1700. Архитектура, программное обеспечение и применение // Сб. «Прикладная информатика», № 14. М.: Финансы и статистика, 1987, 24 с.
19. Операционная система МОС ВП для СМ1700 / Г.П. Остапенко, А.В. Аксенов, А.А. Нестеров и др. М.: Финансы и статистика, 1988.
20. Операционная система ОС РВМ СМ ЭВМ: Справ. изд. / Г.А. Егоров, В.Л. Кароль, И.С. Мостов и др.; Под ред. Г.А. Егорова. М.: Финансы и статистика, 1990. 303 с.
21. Малые ЭВМ высокой производительности. Архитектура и программирование / Г.П. Васильев, Г.А. Егоров, В.С. Зонис и др.; Под ред. Н.Л. Прохорова. М.: Радио и связь, 1990. 256 с.
22. Беляков М.И., Рабовер Ю.И., Фридман А.Л. Мобильная операционная система: Справочник. М.: Радио и связь, 1991. 208 с.
23. Микро-ЭВМ. Универсальные машины семейства СМ1800 / Н.Д. Кабанов, А.Н. Шкамарда, В.С. Кра-
вченко и др.; Под ред. Л.Н. Преснухина. М.: Высшая школа, 1988. 158 с.
24. Прохоров Н.Л., Песелев К.В. Малые ЭВМ. Перспектива развития вычислительной техники. Кн. 5. М.: Высшая школа, 1989. 158 с.
25. Управляющие вычислительные комплексы / Н.Л. Прохоров, Г.А. Егоров, В.Е. Красовский и др.; Под ред. Н.Л. Прохорова. М.: Финансы и статистика, 2003. 352с.
26. Управляющие вычислительные комплексы для промышленной автоматизации: Учебн. пособие / Н.Л. Прохоров, Г.А. Егоров, В.Е. Красовский и др.; Под ред. Прохорова Н.Л., В.В. Сюзева. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 372 с.
27. Ким А.К., Перекатов В.И., Ермаков С.Г. Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства «Эльбрус». СПб.: Питер, 2013. 272 с.
28. Прохоров Н.Л., Знайко Г.Г., Красовский В.Е. Новое поколение технических средств реабилитации // Приборы. 2016. № 7. С. 1–10.
29. Знайко Г.Г., Прохоров Н.Л., Красовский В.Е. Опыт проектирования и внедрения компьютеризированной ультразвуковой медицинской техники // Информационные технологии. 2016. № 10. С. 791–800.

Прохоров Николай Леонидович. ПАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука» (ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука»), г. Москва, Россия. Научный руководитель, доктор технических наук, профессор. Количество печатных работ: более 230 (в т.ч. 10 монографий). Область научных интересов: управляющие вычислительные комплексы, системы управления. E-mail: prokhorov_n@ineum.ru.

Ким Александр Кирилович. ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука», г. Москва, Россия. Генеральный директор, кандидат технических наук. Количество научных работ: более 75 (в т.ч. 1 монография). Область научных интересов: микропроцессоры, высокопроизводительные серверы и вычислительные комплексы. E-mail: kim_a@ineum.ru

Егоров Геннадий Алексеевич. ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука», г. Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор технических наук, старший научный сотрудник. Постоянный член Совета Виртуального компьютерного музея. Количество научных работ: более 100 (в т.ч. 9 монографий). Область научных интересов: системное программное обеспечение, управляющие вычислительные комплексы. E-mail: egorov.gennadiy@gmail.com

To the 60th anniversary of the I.S. Brook Institute of Electronic Control Computers

N.L. Prokhorov, A.K. Kim, G.A. Egorov

Scientific director, PJSC «Brook INEUM», Moscow, Russia

The main stages in development of the Institute of Electronic Control Computers during sixty years of its existence are considered in this paper. The basic models of controlling computer systems, developed at the institute are presented. Creating and large-scale industrial production of small-computer system SM EVM have founded the technological base of automation control and information processing in various branches of industry of the country.

Keywords: INEUM – Institute of Electronic Control Computers, automatic digital M-1, M-2 computers, the concept of the controlling computer, control computers, small-computer system (SM EVM), software of the SM EVM, real-time control.

DOI: 10.14357/20718632180301

References

1. Prokhorov, N.L., and E.N. Filinov. 1998. Isaak Semenovich Bruk i ego shkola [Isaak Semenovich Brook and his school]. Trudy Mezhdunarodnogo Simpoziuma «Komp'yutery v Evrope: proshloe, nastoyashchee i budushchee». [Symposium International «Computers in Europe: the past, the present and the future»] Kiev.
2. Isaak Semenovich Bruk. Chlen-korrespondent AN SSSR. K 100-letiyu so dnya rozhdeniya [Isaak Semenovich Brook. Corresponding member of Academy of Sciences of the USSR. To the 100th anniversary of birth]. 2002. Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy [Information technologies and computing systems]. No. 2.
3. Egorov, G.A., and V.E. Krasovsky 2008. Rukovoditeli Instituta elektronnykh upravlyayushchikh mashin [The leadership of the Institute of Electronic Control Computers]. Istoriya nauki i tekhniki [History of science and technology] 5:19–25.
4. Prokhorov, N.L., A.K. Kim, and G.A. Egorov. 2017. Tvorcheskii put' I.S. Bruka. K 115-letiyu so dnya rozhdeniya [Creative way of the corresponding member of Academy of Sciences of the USSR I. S. Brook. To the 115 anniversary from the date of the birth]. Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy [Information technologies and computing systems]. No. 2.
5. Dedov, Yu.A., M.A. Ostrovsky, K.V. Peselev, et al. / Pod obshchei red. B.N. Naumova/ 1980. Malye EVM i ikh primeneniye [Small computers and their application]. Moscow: Statistics. 231 p.
6. Kabanov, N.D., M.R. Kovtun, B.V. Luk'yanov, et al. 1981. Sistema obrabotki ekonomicheskoi informatsii dlya malykh EVM [System processing of economic information for small computers]. Moscow: Finance and statistics. 184 p.
7. Vasil'ev, G.P., G.A. Egorov, and N.N. Shcherbina. 1983. Programmnoe obespechenie setei SM EVM [Software of computer networks of SM EVM]. Moscow: Finance and statistics. 87 p.
8. Semik, V.P., A.L. Fridman, V.E. Gorsky. 1983. Dialogovaya mnogoterminalnaya sistema dlya SM EVM [Box multi-station system for SM EVM]. Moscow: Finance and statistics. 159 p.
9. Vigdorichik, G.V., A.Yu. Vorob'ev, and V.D. Prachenko. 1983. Osnovy programmirovaniya na Assemblere dlya SM EVM [The basics of programming in Assembly language SM EVM]. Moscow: Finance and statistics. 160 p.
10. Naumov, B.N. 1983. Mikro- i mini-EVM. Nastoyashchee i budushchee [Micro- and mini-computers. The present and the future]. Moscow: Knowledge. 64 p.
11. Giglavyi, A.V., N.D. Kabanov, N.L. Prokhorov, et al. 1984. Mikro-EVM SM1800. Arkhitektura, programmirovaniye, primeneniye [Micro-computers SM1800. Architecture, programming, application]. Moscow: Finance and statistics. 136 p.
12. Valikova, L.L., G.V. Vigdorichik, et al. 1984. Operatsionnaya sistema SM EVM RAFOS [Operating system (OS) RAFOS for SM EVM]. Moscow: Finance and statistics.
13. Prachenko, V.D., A.G. Samborsky, and M.V. Chumakov. 1985. Diskovaya operatsionnaya sistema kollektivnogo pol'zovaniya [Disk operating system for collective use]. Moscow: Finance and statistics. 206 p.
14. Egorov, G.A., K.V. Peselev, V.V. Rodionov, et al. / Pod red. N.L. Prokhorova. 1986. SM EVM: kompleksirovaniye i primeneniye [SM EVM: integration and application]. Moscow: Finance and statistics. 304 p.
15. Stolyar, L.N., and V.A. Shaposhnikov. 1986. Sredstva proverki rabotosposobnosti oborudovaniya SM EVM [Validation of the hardware of SM EVM]. Moscow: Finance and statistics. 159 p.
16. Egorov, G.A., V.L. Karol', I.S. Mostov, et al. 1987. Operatsionnaya sistema OS RV SM EVM [Operating system OS RV for SM EVM]. Moscow: Finance and statistics. 271 p.
17. Balbashov, A.M., F.V. Lisovsky, V.K. Raev, et al. / Pod red. N.N. Evtikhieva, B.N. Naumova. 1987. Elementy i ustroystva na TsMD: Spravochnik [Elements and devices on CMD]. Moscow: Radio and communication. 488 p.
18. Prokhorov, N.L. 1987. Vychislitel'nyi kompleks SM1700. Arkhitektura, programmnoe obespecheniye i primeneniye [Computer system SM1700. Architecture, software and application]. Sb. «Prikladnaya informatika» [Collection «Applied Informatics»]. No. 14. Moscow: Finance and statistics. 24 p.
19. Ostapenko, G.P., A.V. Aksenov, A.A. Nesterov, et al. 1988. Operatsionnaya sistema MOS VP dlya SM1700 [Operating system MOS VP for SM1700]. Moscow: Finance and statistics.
20. Egorov, G.A., V.L. Karol', I.S. Mostov, et al. / Pod red. G.A. Egorova. 1990. Operatsionnaya sistema OS RVM SM EVM: Sprav. izd. [Operating system OS RVM for SM EVM]. Moscow: Finance and statistics. 303 c.
21. Vasil'ev, G.P., G.A. Egorov, V.S. Zonis, et al. / Pod red. N.L. Prokhorova. 1990. Malye EVM vysokoi proizvoditel'nosti. Arkhitektura i programmirovaniye [Mini-computers of high performance. Architecture and programming]. Moscow: Radio and communication, 256 p.
22. Belyakov, M.I., Yu.I. Rabover, and A.L. Fridman. 1991. Mobil'naya operatsionnaya sistema: Spravochnik [Mobile operating system]. Moscow: Radio and communication. 208 p.
23. Kabanov, N.D., A.N. Shkamarda, V.S. Kravchenko, et al. / Pod red. L.N. Presnukhina. 1988. Mikro-EVM. Universal'nye mashiny semeystva SM1800 [Micro-computers. Universal computers of SM1800 family]. Moscow: High school, 158 p.
24. Prokhorov, N.L., and K.V. Peselev. 1989. Malye EVM. Perspektiva razvitiya vychislitel'noi tekhniki. Kn. 5 [Small computers. The prospect of development of computer technology]. Moscow: High school, 158 p.
25. Prokhorov, N.L., G.A. Egorov, V.E. Krasovsky, et al. / Pod red. N.L. Prokhorova. 2003. Upravlyayushchie vychislitel'nye komplekсы [Computer control systems]. Moscow: Finance and statistics. 352c.
26. Prokhorov, N.L., G.A. Egorov, V.E. Krasovsky, et al. / Pod red. Prokhorova N.L., V.V. Syuzeva. 2012. Upravlyayushchie vychislitel'nye komplekсы dlya promyshlennoi avtomatizatsii: Uchebn. posobie [Computer control systems for industrial automation]. Moscow: Bauman MSTU. 372 p.

27. Kim, A.K., V.I. Perekatov, and S.G. Ermakov. 2013. Mikroprotssory i vychislitel'nye komplekсы semeistva «El'brus» [Microprocessors and computer systems of the family «Elbrus»]. St. Petersburg: Peter. 272 p.
28. Prokhorov, N.L., G.G. Znaiko, and V.E. Krasovsky. 2016. Novoe pokolenie tekhnicheskikh sredstv reabilitatsii [The new generation of technical means for medical rehabilitation]. Pribory [Devices] 7:1–10.
29. Znaiko, G.G., Prokhorov, N.L., and V.E. Krasovsky. 2016. Opyt proektirovaniya i vnedreniya komp'yuterizirovannoi ul'trazvukovoi meditsinskoj tekhniki [The experience of design and introduction into service of the computerised ultrasound-based medical equipment]. Informatsionnye tekhnologii [Information technologies] 10:791–800.

N.L. Prokhorov. Scientific director, PJSC «Brook INEUM», 24 Vavilova st., Moscow, Russia. Dr., Professor. Number of scientific works: more than 230 (including 10 monographs). Area of scientific interests: the operating computer systems, control systems. E-mail: prokhorov_n@ineum.ru.

A.K. Kim. Director general, «Brook INEUM», 24 Vavilova st., Moscow, Russia. PhD. Number of scientific works: more than 75 (including 1 monograph). Area of scientific interests: microprocessors, high-performance servers and computing systems. E-mail: kim_a@ineum.ru.

G.A. Egorov. Chief researcher, PJSC «Brook INEUM», 24 Vavilova st., Moscow, Russia. Dr., Senior researcher. Number of scientific works: more than 100 (including 9 monographs). Area of scientific interests: system software, the operating computer systems. E-mail: egorov.gennadiy@gmail.com.