

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ В ЦНИИ 45 МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ (1960-1990)

Аркадий Бенционович Барский<sup>1</sup>, Юрий Всеволодович Ревич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский испытательный центр (г. Москва) ЦНИИ ВКС Минобороны России, Москва, Российская Федерация, [arkbarsk@mail.ru](mailto:arkbarsk@mail.ru)

<sup>2</sup> Независимый исследователь, Москва, Российская Федерация, [revich@lib.ru](mailto:revich@lib.ru)

**Аннотация** – В период создания первых ЭВМ (начало 1950-х) основными пользователями выступали ракетчики и ученые, работавшие над атомным проектом, но уже со второй половины 1950-х ситуация стала меняться. Главным заказчиком высокопроизводительных вычислительных средств становятся создатели систем воздушно-космической обороны (ВКО): противоракетной обороны (ПРО), предупреждения о ракетном нападении (СПРН), контроля космического пространства (ККП) и других оборонных приложений, связанных с этой тематикой. В течение всех советских лет ЦНИИ 45 МО РФ был головным институтом по научным аспектам темы ВКО: в нем разрабатывались методические основы и программные средства применения ЭВМ для задач ВКО. Многие самые яркие отечественные разработки в области супер-ЭВМ осуществлялись либо по прямому заказу ЦНИИ 45, либо с учетом требований, выдвинутых его специалистами. Значительный вклад специалисты ЦНИИ 45 внесли также в теорию и практику программирования высокопроизводительных вычислительных комплексов и систем реального времени.

**Ключевые слова** – ЦНИИ 45, ПРО, СПРН, воздушно-космическая оборона, программирование военных приложений.

### I. ОБСТОЯТЕЛЬСТВА И ПРИЧИНЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЦНИИ 45

В первой половине 1950-х в связи с развитием средств доставки ядерного оружия с помощью стратегических (межконтинентальных) баллистических ракет возникла задача отражения ракетно-ядерного удара. Осенью 1953 года, после успешных испытаний системы ПВО Московского округа «Беркут» (в дальнейшем получившей название С-25), созданной сотрудниками КБ-1 (ныне ПАО «НПО „Алмаз“») встал вопрос о создании системы противоракетной обороны. Понимая перечисленные особенности, скептически о задаче создании ПРО отзывались многие ведущие конструкторы и академики, среди которых были знаменитые ныне С.П. Королев и М.В. Келдыш, а некоторые потенциальные исполнители (А.А. Расплетин, один из руководителей работ по успешно реализованной ПСО «Беркут», и крупнейший специалист в области радиолокации академик А.Л. Минц) выступили резко против: они понимали, что любая модификация ПРО устареет еще до постановки на боевое дежурство. Характерно, что американцы, проанализировав трудности задачи, поначалу отказались от ПРО вообще, сделав ставку на опережающий удар по пусковым установкам.

Однако, нашелся молодой конструктор Г.В. Кисунько, который взялся за выполнение этой невыполнимой задачи. В итоге, Георгию Васильевичу в течение почти 25-летней работы так не удалось эту задачу выполнить в полном объеме. Тем не менее, создание ПРО, пусть и не в полной мере выполняющей свои функции, позволило СССР достичь паритета в гонке стратегических вооружений в условиях отставания в количестве боеголовок и средств доставки (во время Карибского кризиса в 1962 году преимущество США было примерно 10-20 кратным [1]). В результате работа по созданию ПРО, в совокупности с начатой позднее системой предупреждения о ракетном нападении (СПРН), имела далеко идущие последствия, в том числе и известные внешнеполитические (заключение договора по ПРО от 1972 года, с дальнейшей тенденцией к сокращению ядерных вооружений).

В инициативе Г.В. Кисунько существенным моментом была ориентация на тогда еще мало кому знакомые электронные вычислительные машины. В июле 1953 года, когда начинались работы по экспериментальной ПРО, все построенные к тому времени отечественные ЭВМ либо были экспериментальными образцами (МЭСМ) либо еще не полностью вышли из стадии отладки (БЭСМ, «Стрела» и М-1). Доминировало представление об ЭВМ, как просто об усовершенствованном калькуляторе, «числодробилке». Тем не менее, уже в июне 1957 года на экспериментальных радиолокаторах РЭ-1 и РЭ-2 созданного полигона Сары-Шаган в районе Балхаша, и на Камчатке, в районах падения головных частей баллистических ракет, прошли первые работы по их обнаружению и сопровождению. Успешно проведенные эксперименты открыли реальные возможности решения проблемы их перехвата. Эти работы, как известно, закончились триумфальным перехватом реальной

ракетной боеголовки 4 марта 1961 года. В работе участвовали в том числе и сотрудники вновь созданного института, тогда еще носившего название СВЦ-4.

В дальнейшем работа по созданию ПРО разделилась на решение нескольких относительно автономных задач: собственно противоракетной обороны (ПРО), предупреждения о ракетном нападении (ПРН, СПРН) и контроля космического пространства (ККП). Позднее к ним добавилась противокосмическая оборона (ПКО). Вместе они составляют оборонный комплекс, первоначально носивший название ракетно-космической обороны (РКО), ныне объединенный с противовоздушной (противосамолетной) обороной (ПВО, ПСО) и переименованный в ВКО (воздушно-космическая оборона).

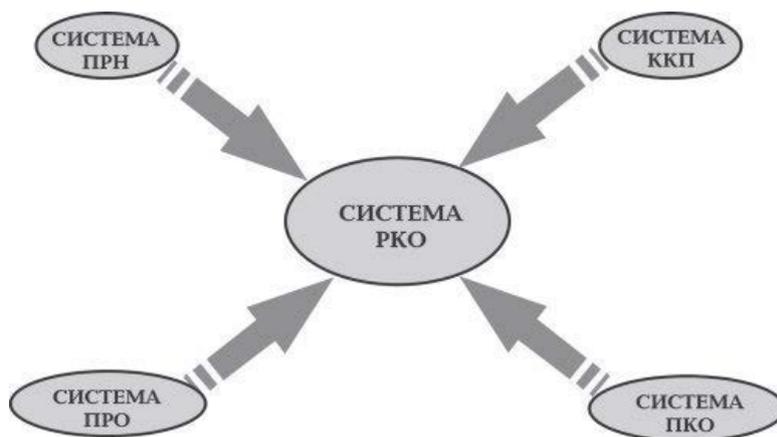


Рис. 1. Представление всех систем РКО в целом [2]

Как указывается в [3, с. 16-17], «уникальность создаваемых систем ПРО, ПРН и ПКО, новизна принимаемых технических решений, высокий уровень автоматизации, значительная территориальная разобщенность средств, ограниченные возможности проведения натурных пусков баллистических ракет, использование различных принципов обнаружения баллистических ракет, а также ряд других факторов поставили перед военной наукой серьезную самостоятельную научно-техническую проблему разработки принципиально новой методологии испытаний и ввода их в эксплуатацию. Остро встал вопрос о создании в Министерстве обороны специального института для решения возникшей проблемы». Руководством страны было принято решение возложить функции заказчика всех работ по системам РКО на 4 Главное управление Министерства обороны (начальник – маршал Кулешов П.Н., затем генерал-полковник Г.Ф. Байдуков). В 1956 году в составе 4 ГУ МО было специально создано 5 управление (с 1987 года – 1 управление, первые начальники – генералы М.Г. Мымрин и М.И. Ненашев) для организации разработки, испытаний и сдачи в эксплуатацию средств и систем ПРО, ПРН, ПКО и ККП.

18 февраля 1960 года во исполнение постановления ЦК КПСС и СМ СССР (от 7 февраля 1960 года) издана директива Министра обороны о формировании Специального вычислительного центра № 4 Министерства обороны (СВЦ-4) для моделирования процессов и проведения вычислительных работ, связанных с разработкой и вводом в действие боевой системы противоракетной обороны Москвы А-35. 22 июня 1960-го начальником СВЦ-4 был назначен полковник Иван Макарович Пенчук, занимавший в то время должность первого заместителя начальника полигона Капустин Яр. Его заместителем по научно-исследовательской работе назначается полковник Николай Пантелеймонович Бусленко, доктор технических наук, профессор, один из ведущих научных сотрудников Вычислительного центра № 1 Министерства обороны (впоследствии 27-й ЦНИИ МО). Территориально СВЦ-4 расположился в бывшем городе Бабушкин (ныне один из районов на северо-востоке Москвы). Интересно то, что занимавший выделенную территорию зенитно-ракетный полк, активно участвовавший в обороне Москвы, был переведен в Украину, а многие его военнослужащие (среди них подполковник в отставке Якубовский В.Д. – бессменный руководитель профсоюзной организации) влились в состав созданного института.

По мере развертывания СВЦ-4 круг решаемых им задач стремительно увеличивался и 30 декабря 1961 года в связи со значительным расширением объема научно-исследовательских работ, приказом Министра обороны СССР СВЦ-4 преобразован в Специальный научно-исследовательский институт № 45 Министерства обороны (СНИИ-45 МО). Число «45» возникло потому, что институт был подчинен 5-му Управлению 4-го Главного Управления МО СССР. В дальнейшем название несколько раз

незначительно изменялось, и 29 июня 1989 года институту было присвоено название 45-й Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны (ЦНИИ 45 МО).



Рис. 2. Эмблема ЦНИИ 45 Министерства обороны

В декабре 1997 года ЦНИИ 45 МО РФ был преобразован в Научно-исследовательский центр (г. Москва) Центрального научно-исследовательского института ВКС Министерства обороны, основанного на базе НИИ-2 МО РФ (г. Тверь). Это, несомненно, снизило его статус в соответствии с проводимыми реформами, а также определило временной интервал охвата расцвета института, отраженный в статье. На момент формирования СВЦ-4 численность сотрудников составляла 524 человека, к 1974 году штатная численность института достигла 1278 человек (из них 864 военнослужащих), в сентябре 1986 года она составила 1591 человек (из них 1178 военнослужащих). С 1963 года в институте существовал собственный Ученый совет с весьма представительным составом, в разное время включавшим, кроме ведущих сотрудников института, такие имена, как создатель первых вычислительных машин С.А. Лебедев, конструктор ЭВМ для нужд ПРО В.С. Бурцев, создатель радиолокационных станций для систем РКО А.Л. Минц, Главный конструктор систем «А» и «А-35» Г.В. Кисунько, его основной оппонент – конструктор комплексов ПВО А.А. Расплетин и другие знаменитые ученые и разработчики.

Н.П. Бусленко привлекал в состав сотрудников всё новые кадры. Из Киева приехал И.Н. Коваленко, возглавивший научное направление «Теория массового обслуживания». Проводить консультации, семинары и обучение приезжал его тесть академик АН УССР Б.В. Гнеденко. Вместе они стали учителями молодого В.А. Ивницкого, защитившего, в конце концов, две докторские диссертации по надёжности систем массового обслуживания – по техническим и физико-математическим наукам.

В разгар своей деятельности (1962) Н.П. Бусленко совместно с чл.-корр. АН СССР А.А. Ляпуновым организовали в ЦНИИ 45 Лабораторию самонастраивающихся и самообучающихся систем. То есть, ещё тогда было выбрано направление на применение принципов искусственного интеллекта. Кому, как не математикам-артиллеристам, фронтовикам, более известно, что собой представляют самообучающиеся системы управления! В жарких спорах рождались определения и идеи. Впоследствии Н.П. Бусленко пошёл на повышение: вернулся руководить 27-м Институтом МО, а А.А. Ляпунов отправился строить и развивать СО АН СССР. Тем не менее, лаборатория действовала под руководством Р.Х. Зарипова – автора машинной музыки «Уральские напевы», а затем – О.Ю. Юркевича. Предлагались интересные идеи самоорганизации процесса обработки информации в условиях частичного поражения на основе к-сжатия алгоритмов управления. Был привлечён И.Б. Гутчин, известный как «изобретатель кибернетической черепахи».

Высокому авторитету ЦНИИ 45 способствовала научно-техническая помощь, которую Н.П. Бусленко стремился оказать «внешним» организациям: так, М.Р. Когаловский, входивший в состав творческого костяка Института, впервые разработал для Моссовета и внедрил систему планирования и составления расписания городского пассажирского транспорта (для движения автобусов). Работа оказалась столь высокого качества, что М.Р. Когаловский, защитив диссертацию, стал одним из ведущих сотрудников ЦЭМИ АН СССР.

Много сил Н.П. Бусленко приложил для создания аспирантуры (адъюнктуры), как важнейшего (ныне порушенного) стимулирующего средства научного роста. Для молодых гражданских докторов наук приказом Министра обороны в ЦНИИ 45 были сформированы сектора:

Ю.Г. Дадаев возглавил сектор теории помехоустойчивого кодирования с автоматическим исправлением ошибок;

В.А. Ивницкий возглавил сектор надёжности сложных систем массового обслуживания, к которым относятся практически все системы обороны;

А.Б. Барский возглавил сектор оптимизации параллельных вычислений;  
О.Ю. Юркевич в рамках сектора возглавлял Лабораторию самоорганизации и самообучения.

Чтобы проиллюстрировать масштаб и новизну задач, поставленных перед вновь созданным институтом, далее мы кратко остановимся на основных направлениях работ ЦНИИ 45.

## II. СОЗДАНИЕ ПРОТИВОРАКЕТНОЙ ОБОРОНЫ

Под руководством Г.В. Кисунько в 1953 году были начаты работы по экспериментальной ПРО, получившей название «Система А». В 1961 году, как мы говорили, она завершилась успешным испытанием, в котором принимали участие специалисты ЦНИИ 45. Еще раньше, в 1958 году, началось проектирование расширенной боевой модификации системы, названной «А-35». Сложность задачи, вызывавшая скептицизм академиков, была беспрецедентной: в сравнении с успешно испытанной ПВО, объектом которой были сравнительно медленные и предсказуемые самолеты, боеголовка баллистической ракеты летит со скоростью километры в секунду, а ее отражающая поверхность составляет доли квадратного метра, что примерно на два порядка меньше, чем у самолета. При этом ее необходимо обнаруживать и перехватывать на расстояниях, в сотни раз больших, чем самолеты, и принимать решения об уничтожении за время, в десятки раз меньшее.

Для решения задач обеспечения испытаний и ввода в эксплуатацию боевой системы ПРО в институте первоначально формируются два управления (направления):

- математического обеспечения эксплуатации и испытаний системы противоракетной обороны;
- моделирования боевой работы комплексов и систем противоракетной обороны.

В 1963 г. с целью концентрации усилий на решение поставленной задачи два управления объединяются в одно – «Испытание и ввод в эксплуатацию системы противоракетной обороны». Начальником объединенного управления был назначен полковник (впоследствии генерал-майор) Або Сергеевич Шаракшанэ.

В области ПРО существовало две главных проблемы. Е.В. Гаврилин пишет: «Работы в области противоракетной обороны начинались практически при полном отсутствии серьезных знаний о том, что собой представляет баллистическая цель как объект перехвата и поражения средствами обороны. Этот момент принципиально важен для понимания вклада специалистов и руководства управления в решение стоящих перед ними задач и не только противоракетной обороны. Работать приходилось в обстановке, когда по большинству проблемных вопросов напрочь отсутствовала какая-либо информация. <...> Чтобы получить достаточно объективные и всесторонние оценки характеристик баллистических целей, являющихся возможными объектами борьбы средств отечественной ПРО, необходимо было разработать специальную методологию <...>. В стране была создана строгая система определения и аттестации основных характеристик целей для проектирования средств и систем ПРО, а впоследствии и систем предупреждения о ракетном нападении, с мощной научной поддержкой. Вот уже сорок лет регулярно обновляются исходные данные по характеристикам баллистических целей и способам их боевого применения, так называемые «Белые книги» (молва приписывает авторство этой терминологии Григорию Васильевичу Кисунько)» [2, с. 75].

Для характеристики сложности задачи приведем такой пример: во время испытаний (успеху 4 марта 1961 предшествовало 18 неудачных запусков) обнаружилось, что при больших дальностях полета ракеты после разделения боеголовки и корпуса впереди будет находиться последняя ступень корпуса ракеты-носителя, а не головная часть. Так появилось выражение «парная цель». То есть сложнейшую задачу селекции целей пришлось решать уже в этом простейшем варианте системы, когда ракета-носитель всего одна. Что же говорить о реальной боевой системе, где целей много, и они еще скрыты многочисленными маскирующими ложными целями? Работы по данной проблеме, как самостоятельное направление исследований, развернулись в 45-м институте еще в 1962 году.

С дефицитом исходных данных связана и вторая важнейшая проблема, которая в полный рост встала как раз в процессе проведения испытания экспериментальной «Системы А». Вот как описывает ее многолетний начальник ЦНИИ 45 И.М. Пенчуков: «С самого начала создания системы ПРО было ясно, что испытать в натуре такую большую систему как ПРО не представляется возможным. Кроме того, следует отметить, что это была первая большая система, которая в боевом цикле функционировала в автоматическом режиме без вмешательства обслуживающего персонала. То есть возникала проблема проверки правильности функционирования боевых алгоритмов и программ.

Поэтому для оценки характеристик системы и ее боевых возможностей был разработан опытно-теоретический метод испытаний, сочетающий натурные испытания отдельных элементов системы и моделирование системы в целом.

Суть метода заключалась в следующем. По результатам натурных испытаний проводилась оценка характеристик минимального функционального состава средств и подсистем с точностью и достоверностью, необходимой как для оценки самих средств, так и системы в целом, с использованием моделирования.

Для проверки правильности функционирования боевых алгоритмов и программ разрабатывались комплексные испытательные моделирующие стенды (КИМС), работающие в реальном масштабе времени. Перед использованием КИМС'ы калибровались по результатам натурных испытаний. С их использованием проверялись такие характеристики, как пропускная способность системы в целом и ее отдельных стрельбовых комплексов. Для оценки характеристик системы в целом была разработана математическая модель оценки эффективности системы, в качестве исходных данных для которой использовались результаты натурных испытаний и испытаний с применением КИМС'ов.

Такой подход к организации испытаний, разработанные КИМС'ы и модель оценки эффективности, обеспечили возможность оценки результатов испытаний системы с требуемой точностью и достоверностью. В этой работе практически участвовал весь коллектив института» [4, с. 344-345].

В процессе решения этих двух важнейших задач, было поставлено и решено большое количество параллельных задач, возникавших в процессе отладки и испытаний. В результате проделанной работы:

– в октябре 1977 года завершены государственные испытания системы А-35М, она была принята на вооружение. В период с 1980 по 1984 г. выполнены работы по расширению боевых возможностей системы А-35М, которые позволили возложить на нее новые боевые задачи.

– в 1990 году завершены государственные испытания системы ПРО А-135 в совокупности со стрельбовым комплексом «Амур». Система А-135 была поставлена на боевое дежурство в 1995 году, и находится на нем поныне, периодически подвергаясь расширению и модернизации.

### III. СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О РАКЕТНОМ НАПАДЕНИИ

Возможно, СПРН была самой затратной частью общего проекта создания РКО. Она не включала сложных алгоритмов селекции целей, выдачи команд управления противоракетой в реальном времени, управления сложнейшими автоматизированными стрельбовыми комплексами, но алгоритмически и технически задача дальнего обнаружения МБР (предпочтительно, еще на стадии запуска) была не менее сложной. По стоимости построенных РЛС с высочайшими техническими характеристиками СПРН наверняка обогнала все остальные подсистемы проекта. Надо еще учесть, что существенная доля усилий была потрачена зря: часть системы, связанная с дорогостоящими попытками построения двух загоризонтных РЛС «Дуга», так и не была введена в эксплуатацию<sup>1</sup>. В 1970-80-е годы СПРН была дополнена космической системой УС-К с космическими аппаратами на высокоэллиптических орбитах (с апогеем около 40 тыс. км) и наземными пунктами приема и обработки информации. Это позволило полностью исключить факт внезапного ракетного нападения.

Задача построения СПРН возникла в середине 1950-х, несколько позже начала работ по ПРО. В это время Радиотехнический институт АН СССР под руководством А.Л. Минца начал разработку опытной РЛС «Днепр». После ее испытаний и создания усовершенствованного варианта РЛС «Днепр», в ноябре 1962 года было принято решение о создании десяти таких РЛС в районах Мурманска, Риги, Иркутска и Балхаша (как для обнаружения ударов МБР с территории США, акваторий Северной Атлантики и Тихого океана, так и для обеспечения функционирования комплекса ПКО). В это же время в ЦНИИ «Комета» началась разработка космической системы обнаружения стартов МБР с ракетных баз США (УС-К), а в НИИ дальней радиосвязи – средств загоризонтного обнаружения.

И если построение ПРО, столь же непроницаемой для атак противника, как ПВО, как и предупреждалось, оказалось принципиально неразрешимой задачей, то эффективную СПРН удалось построить вполне успешно и поставить на боевое дежурство еще в начале 1970-х, на стадии

---

<sup>1</sup> Частично потому, что «Дуга-1» размещалась недалеко от Чернобыля, и после аварии попала в зону радиоактивного заражения, а устойчивая работа загоризонтных РЛС, как утверждает сам конструктор ЗГРЛС В.А. Алебастров, гарантировалась только в случае одновременной работы двух узлов [2, с. 114]. Но в действительности потому, что с самого начала огромное количество специалистов выступало против дорогостоящего проекта (что характерно, в этом случае Г.В. Кисунько и А.Л. Минц оказались на одной стороне [там же, с. 112]), будучи уверенными, что работать это не будет. И хотя предпринимались беспрецедентные усилия по «доводке», вклад «Дуги» в общую систему ПРН оказался ничтожным. Кое-кто даже считает [3, с. 113; 6, с. 156], что идея загоризонтной радиолокации была актом успешной дезинформации со стороны противника (сами американцы быстро от нее отказались).

использования только наземного эшелона, без подключения спутников. В дальнейшем система только расширилась и совершенствовалась.

На всех этапах работы в создании средств СПРН активно участвовали сотрудники 45-го СНИИ, в первую очередь управления, возглавляемого доктором технических наук, профессором А.С. Шаракшанэ [5]. В частности, разработанные в 45-м СНИИ комплексные испытательные моделирующие стенды (КИМСы) нашли широкое применение при испытаниях систем СПРН.

#### IV. СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Впервые проблема организации контроля за деятельностью государств в космосе была сформулирована в 1961 г. коллективом военных ученых 45-го СНИИ МО во главе с заместителем начальника института по НИР, доктором технических наук, профессором, полковником Н.П. Бусленко.

Исследование темы ККП преследовало цели:

- разработка принципов создания каталога космических объектов и методов его реализации на ЭВМ;
- разработка математических методов и алгоритмов определения орбит для обеспечения службы слежения за космическими объектами и распознавания их целевого назначения.

На основании данных первых исследований 16 ноября 1962 года было выпущено Постановление о создании отечественной Службы контроля космического пространства. В конце 1962 года в 45-м институте создается Управление контроля космического пространства. С начала 1963 г. оно приступило к регулярной практической работе по приему, анализу и обработке орбитальных измерений, поступающих от различных средств и источников. Первоначально наблюдения обрабатывались вручную («графо-аналитическим методом») [3], в течение 1963 года были разработаны алгоритмы слежения за космическими объектами. К середине 1964 г. завершилась разработка эскизного проекта СККП. При его разработке учитывалось техническое описание системы слежения за космическими объектами SPADATS, используемой в США, предоставленное в распоряжение института соответствующими органами [1].

В результате Центр контроля космического пространства (ЦККП) был фактически построен к началу 1970-х, в 1973 он был дополнен системой боевых алгоритмов и программ (иными словами, средствами для сбивания спутников на орбите), и этом же году проведены Государственные испытания ЦККП под председательством командующего Войсками РКО Ю.В. Вотинцева.

В дальнейшем СККП непрерывно совершенствовалась, в основном в сторону повышения достоверности и точности аппаратуры и алгоритмов по распознаванию космических объектов. На различных этапах развития СККП сотрудники института были заняты практически во всех работах, связанных с освоением космоса. С 1963 по 1969 г. они принимали участие в обеспечении пилотируемых полетов отечественных космических кораблей и орбитальных станций, а в период с 1968 по 1974 г. сотрудниками института проведен цикл работ по подготовке советских космонавтов к наблюдениям и распознаванию объектов в космическом пространстве. В 1975 г. сотрудники управления принимали участие в обеспечении совместного полета космических кораблей «Аполлон» и «Союз». Предприняты значительные усилия по определению места падения отечественных ИСЗ «Космос-954» (январь 1978 г.), «Космос-1402» (январь 1983 г.) и американской орбитальной станции «Скайлэб» (июнь 1979 г.).

В 1979 г. впервые в стране организована сеть оптических и оптико-электронных средств наблюдения за высокоорбитальными КО. В течение последних лет эта подсистема регулярно и с высокой эффективностью привлекается практически ко всем специальным работам по обеспечению запусков и в аварийных режимах полета. Таковы, очень кратко изложенные, основные задачи, которые выполнял коллектив 45-го ЦНИИ, начиная с 1960-х.

#### V. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА В ЦНИИ 45

Задача подбора, формулирования требований и испытаний средств вычислительной техники, пригодных для выполнения описанных выше задач, была напрямую поставлена перед коллективом института с первых лет его существования. Из вышеизложенного понятно, что для указанных целей необходима электронная вычислительная техника наивысшей производительности. Поэтому ЦНИИ 45 долгое время был, без преувеличения, основным локомотивом развития отечественной вычислительной техники, по крайней мере, в части высокопроизводительных ЭВМ и вычислительных комплексов (называемых ныне «суперкомпьютерами»). В условиях тотальной недооценки роли вычислительной техники для всего народного хозяйства со стороны властей (которые до самого конца, кажется, так и

продолжали воспринимать компьютер, как просто очень быструю «числодробилку»), многие военные, занятые в области РКО, оценили возможности новых вычислительных устройств еще до того, как ЭВМ стали общеизвестными. Мы уже говорили, что Г.В. Кисунько заложил электронную вычислительную технику в основу своего проекта ПРО еще тогда, когда и проекта, как такового, не существовало, и ЭВМ еще только выходили из пеленок.

Неудивительно, что уже первый серийный компьютер «Стрела» широко использовался еще в ВЦ-1 для расчета запусков первых спутников и МБР [6, с. 121]. А фактически следующими после первых советских ЭВМ, в ИТМ и ВТ в 1956 году под руководством В.С. Бурцева были созданы машины М-40 и М-50, специально предназначенные для работы в составе «Системы А». Полупроводниковая М-50 была и первой ЭВМ, поставленной в СНИИ-45 в 1962 году (демонтирована только в 1973 году). Конечно, машинного времени не хватало, и встала задача разработки систем общего и специального математического обеспечения для повышения эффективности использования ЭВМ при решении задач по тематическим направлениям института. Прежде всего был организован пакетный режим решения задач на М-50, повысивший культуру программирования, обеспечивший максимальную загрузку оборудования и резко сокративший время отладки программ. Весьма важным оказалось создание операционных систем и трансляторов с языков высокого уровня (тогда это называлось «автоматизацией программирования»). Среди выполненных работ были создание семейства трансляторов с языка Алгол-60 на ЭВМ М-50, 5Э926, 5Э51; разработка систем символьного программирования СИСП и АЛОТ; реализация на 5Э51 операционных систем ОСС-51, ОСП-51, СКОП. Непосредственные разработки велись под руководством и при участии В.В. Пивоварова.

В середине 1960-х В.А. Мельниковым, под непосредственным руководством С.А. Лебедева, была разработана замечательная полупроводниковая машина с плавающей запятой под шифром 5Э92, вобравшая все мировые достижения и предложения в области архитектуры и операционных систем того времени. ЭВМ 5Э92, получившая впоследствии «гражданское» наименование БЭСМ-6, стала основой ряда модификаций и послужила стране по крайней мере 30 лет. Она осталась актуальной и сегодня в качестве возможной (по мнению А.Б. Барского) основы микропроцессора *RISC*-архитектуры. Представленный макет этой машины, на котором уже выполнялись работы, совпал по времени с началом разработки В.С. Бурцевым двухпроцессорного ВК (традиционно называется ЭВМ) 5Э926, содержащего «большую» машину М-500 и «малую» М-100. Вскоре была создана более «продвинутой» версия её, 5Э51, с плавающей запятой. Объединение этих ЭВМ в многомашинный комплекс со взаимным обменом информацией через общее поле внешних накопителей позволило провести на них ряд крупных исследований и разработок, которые были внедрены в ряде войсковых частей и учреждений войск ПВО страны.

В ноябре 1976 г. была сдана в эксплуатацию ЭВМ ЕС-1030, а 19 апреля 1980 г. вместо демонтированной ЭВМ 5Э926 была установлена БЭСМ-6. Как видим, в своей работе специалисты института ориентировались в основном на чисто отечественные модели. В 1978 году институт был определен головным исполнителем по научно-методическому обеспечению ввода системы ПРО А-135, для чего предусматривалось создание научно-исследовательского испытательно-моделирующего центра. Кроме одной мощной ЭВМ ЕС-1060, центр в два этапа (в 1981 и 1985 гг.) был оснащен многопроцессорными вычислительными комплексами (МВК) «Эльбрус-1-К2» и более совершенным четырехпроцессорным «Эльбрус-2». Отметим, что центральный процессор «Эльбрус-1-К2» полностью совместим с БЭСМ-6 на уровне команд пользователя, но работает быстрее.

К концу 1985 г. лабораторно-вычислительная база ЦНИИ 45 включала: многопроцессорный вычислительный комплекс «Эльбрус-1»; многопроцессорный вычислительный комплекс «Эльбрус-1-К2»; ЭВМ БЭСМ-6; ЭВМ ЕС-1060; ЭВМ ЕС-1030; ЭВМ 5Э51; две ЭВМ М-6000, с общим быстродействием более 55 миллионов операций в секунду. В конце 1980-х – начале 1990-х ЦНИИ 45 стал снабжаться персональными компьютерами, что заставило переосмыслить построение лабораторно-вычислительной базы. К началу 2000-х вычислительно-моделирующая база включала в себя сотни ПЭВМ и рабочих станций, объединенных в десятки сегментов по решаемым задачам и связанных по информации в единую сеть. В ее составе имелись и современные ПЭВМ, и мощные серверы, и многопроцессорные рабочие станции, и вычислительные комплексы «Эльбрус-90 микро».

Таким образом, уже изначально для комплектации ВЦ ЦНИИ 45 использовалось всё доступное, конечно, с приоритетом новых разработок, начиная с «два с половиной»-адресной М-50. Это вызвало внутренний конфликт. Начальник 4 отдела Виктор Максимович Бахарев, ответственный за разработку требований, сопровождение и испытание перспективных вычислительных средств ПРО, категорически потребовал, чтобы комплектация ВЦ ЦНИИ 45 согласовывалась с руководимым им отделом. И тогда, когда задачи испытаний сконцентрировались вокруг разработки комплексных испытательных моделирующих стендов (КИМС), ВЦ, на базе которого образовалось 5 научное управление, возглавил

Ю.С. Шувалов – ученик и бывший подчинённый В.М. Бахарева, поддержанный А.С. Шаракшанэ. Дело в том, что А.С. Шаракшанэ остро осознавал необходимость создания Моделирующего Центра не только для разработки моделей в составе КИМС, но и для частных испытаний. Комиссия под руководством А.С. Шаракшанэ обосновала строительство такого Центра, который и поныне представляет остатки когда-то мощного и представительного ЦНИИ 45 МО РФ, вместившие большую часть управлений сегодняшнего НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ ВКС МО РФ.

Другая часть – бывшее 5 научное управление (носящее ныне наименование 3 управления), занимает пристройку, связанную с интересной историей кратковременной дружбы и сотрудничества ЦНИИ 45 со специалистами США в области космических исследований. До сих пор она наполнена прекрасными двух-мониторными ПЭВМ, рабочими станциями и серверами, оставшимися в наследство.

Один из стимулирующих моментов этой дружбы основан на следующей легенде. Не совсем штатно закончила трудовую жизнь советская орбитальная станция «Мир». Её приземление не было рассчитано должным образом и предсказано американцами в некотором районе мирового океана в северном полушарии. Ответственный сотрудник ЦНИИ 45 д.т.н. А.И. Назаренко рассчитал место приземления в горах Южной Америки. Там, в Андах, и были найдены фрагменты...

В связи с комплектацией ВЦ ЦНИИ 45, следует остановиться на применении в РКО машин ЕС ЭВМ.

Всё более явно, но тайно обнаруживалось мнение военных и гражданских специалистов о том, что проект ЕС ЭВМ явился продуманной акцией «вероятного противника» по уводу развития вычислительной техники СССР с истинного пути в тупик. Игра в угоду алчности «выездных» ответственных чиновников. Навязывалось восхищение ОС *IBM*, как восьмым чудом света, хотя на советской электронной реализации, весьма отличной технологически от образца, полностью воссоздать (скопировать) все её режимы так и не удалось. Опытные программисты знают, и это закон: возможно использование только идеи, копирование чужой программы невозможно, задачу надо программировать заново, чтобы не завязнуть. Зато были задействованы огромные производственные мощности и время не только страны, но и всего «социалистического лагеря». Так как ничего более доступного не было, серия ЭВМ странной, трудно развиваемой архитектуры, конечно же, получила самое широкое распространение. Более того, испытания МВК «Эльбрус-1» предполагали сравнение производительности процессора «Эльбрус» с производительностью самого мощного представителя ЕС ЭВМ, выполненного на той же элементной базе. Предполагалось выяснить преимущества реализации в проекте «Эльбрус» средств аппаратной поддержки языка высокого уровня. Это, конечно же, и было продемонстрировано на испытаниях.

Здесь снова следует подтвердить мнение авторов: советский ряд ЭВМ должен был быть создан на основе простой и бесхитростной в исполнении, действительно универсальной одноадресной ЭВМ БЭСМ-6, воплотившей талант академика С.А. Лебедева, и её модификаций. К моменту появления идеи ЕС ЭВМ, БЭСМ-6 и её модификации уже хорошо показали себя как в военных, так и гражданских применениях. Её ОС включала возможности эффективной реализации всех режимов эксплуатации и мультипрограммирования. (Тогда был опубликован перевод перспективных теоретических исследований *IBM* – условный проект *STRETCH*, воплотивший обязательные черты архитектур будущего: например, мультипрограммирование, динамическое распределение памяти и проч. Авторы БЭСМ-6 более глубоко восприняли и воплотили тогдашние веяния и не ошиблись.) Были предусмотрены средства переменной комплектации (например, кэш «через») для ускоренных вычислений. Пакет прикладных программ включал развитые средства поддержки моделирования (например, систему *Simula*). Хотя все старания привели к эквивалентной реальной производительности порядка не более 700 тыс. оп/сек. (предполагался миллион) на использованной элементной базе. Это известно по результатам эксплуатации на ВЦ ЦНИИ 45.

Отметим, что уже в процессе завершения работ по «Эльбрусу-1», сотрудники и разработчики ПСО (полигон Капустин-Яр) категорически отказались модернизировать свои вычислительные средства в связи с большим парком наработанных программ для БЭСМ-6 и её специальной модификации АС-6. Пришлось в составе МВК «Эльбрус-1» предусмотреть два процессора (не эмулятора!) СВС (конструктор М.В. Тяпкин) архитектуры БЭСМ-6.

Вместе с тем, некоторая «военная» польза от кооперативной разработки ЕС ЭВМ была: в проекте «Эльбрус» использовались болгарские внешние устройства и венгерские мониторы. Под руководством А.С. Шаракшанэ разрабатывалась АСУ МТО (Материально-технического обеспечения) ПРО. Туда, в соответствии с не главной оперативной ролью этой системы, предлагался комплекс более дешёвых машин из этой серии с максимально развитой версией ОС для предполагаемого режима эксплуатации. Впоследствии АСУ МТО была создана на базе комплекса персональных (зарубежных) ЭВМ (ПВМ),

реализующего управление вычислительным процессом, ранее предложенное для комплекса машин ЕС ЭВМ.

#### VI. УЧАСТИЕ ЦНИИ 45 В РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Институт косвенно (военно-научная организация не должна непосредственно заниматься разработками), но действительно и обосновано участвовал во многих разработках передовых вычислительных средств (в частности, многомашинных и многопроцессорных комплексов): формулировал требования к ним, на абстрактном уровне предлагал технические решения, разрабатывал методы испытаний и повышения надежности вычислительного процесса в реальном времени. Военно-научное сопровождение разработки новой вычислительной техники для применения в РКО формально стало одной из приоритетных задач института с начала 70-х гг. За время существования данного направления исследований в институте был выполнен большой объем работ по военно-научному сопровождению разработки, модернизации и доработки ряда ЭВМ и многопроцессорных вычислительных комплексов: М-10, М-13 (НИИВК), «Эльбрус-М14», «Эльбрус-1», «Эльбрус-2», «Эльбрус-КБ», «Эльбрус-3-1», «Эльбрус-3», «Эльбрус-90», «Эльбрус-91», МКП (ИТМ и ВТ). Сотрудники института активно участвовали в этих разработках, в частности, в разработке и доводке 5Э92б и БЭСМ-6 [7].

Научно-исследовательские и испытательные работы в области перспективных вычислительных средств для системы обороны непосредственно связаны с деятельностью 4 отдела ЦНИИ 45 под руководством доктора технических наук, профессора, лауреата Государственной премии полковника Виктора Максимовича Бахарева.

В.М. Бахарев скрупулёзно подбирал сотрудников-«помощников» (по его выражению), ответственных по направлениям, не стеснясь в отказе. В разное время яркие, результативные, талантливые учёные, в основном ещё молодые, гордились «попаданием» в его команду. Как правило, научный рост молодых сотрудников обеспечивался высоким авторитетом В.М. Бахарева, но главное – он был настоящим научным руководителем при решении актуальных задач отдела.

(Характерный диалог:

– Виктор Максимович, придумайте мне, пожалуйста, какую-нибудь задачу!

– Задачи не придумывают, задачи существуют!)

Среди замечательных людей, прошедших «обучение» под руководством В.М. Бахарева, следует выделить Юрия Сергеевича Шувалова (см. выше), добившегося уважения и поддержки самого А.С. Шаракшанэ! («А вы советовались с капитаном Шуваловым?!») – грозный оклик солидного офицера.) Ю.С. Шувалов по представлению А.С. Шаракшанэ и по праву занял должность начальника научного управления вычислительных средств и моделирования, включившего ВЦ в свой состав. После демобилизации В.М. Бахарева и последовавшей вскоре деградации 4 отдела, многие активные сотрудники нашли приют под крылышком Ю.С. Шувалова и его зама В.В. Пивоварова. Здесь концентрация исследований и испытаний с новой силой проявилась в рамках 49 отдела И.А. Пиргача.

Арнольд Янович Харкевич, к.т.н., как и Ю.С. Шувалов, по-видимому, основное время службы, несмотря на пертурбации разного рода, верно исполнял обязанности начальника ведущей лаборатории, ответственной за подготовку, обеспечение и проведение испытаний вычислительных средств. Он настолько болел душой за дело, что это порой вызывало мнительную обиду на недоверие у его подчинённых. Но это немедленно отвергалось всей сутью человеческой природы Арнольда Яновича: ведь он был инициатором и душой большинства туристических и спортивных мероприятий и отдела, и Института.

Игорь Михайлович Саввин – к.т.н., лауреат Государственной премии, действительный образец военного интеллигента, всем своим видом, речью, эрудицией и поведением излучавший порядочность. Не зря он, по принятым правилам военной науки и по поручению В.М. Бахарева, «сопровождал» разработки глубоко интеллигентного конструктора М.А. Карцева при демонстрации обоими взаимного дружеского расположения. Позднее И.М. Пенчуков пригласил Игоря Михайловича в свой 46-й Институт на должность начальника отдела, охватывающего тематику в области стандартизации – начиная от микропроцессоров и заканчивая искусственным интеллектом. Это к нему в отдел ушёл В.М. Бахарев после увольнения из армии. До того И.М. Саввин не только не порывал с 4 отделом ЦНИИ 45, но был инициатором многих совместных работ. После увольнения из армии И.М. Саввин возглавил отдел надёжности в НИИ ВК им. М.А. Карцева. В этом служении памяти Конструктора ЭВМ он и закончил жизнь.

Юрий Георгиевич Дадаев, согласно распределению ролей, проводившимся В.М. Бахаревым, «смолоду» был назначен на актуальнейшее в то время направление обеспечения надёжности

вычислительных средств – кодирование данных, способствующее выявлению и автоматическому исправлению (!) ошибок. Его результаты [8] обрели мировую известность. Одним из первых в ЦНИИ 45 он защитил докторскую диссертацию по данной тематике. Его талант и организаторские способности нашли применение в должности начальника отдела НИИ Проблем кибернетики АН СССР. Под руководством Главного конструктора В.А. Мельникова отдел Ю.Г. Дадаева исследовал возможности эффективного применения революционного проекта того времени – «Электроника ССБИС». Конкретной целью являлась векторизация популярных численных методов. Вхождение Ю.Г. Дадаева в Совет по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР позволило ему, совместно с В.А. Мельниковым, осуществлять редактирование сборника «Вопросы кибернетики», посposпособствовавшего становлению многих молодых учёных и поддержке смелых проектов. Так, этот сборник обеспечил известность и обсуждение проекта потоковой (*data flow*) ВС, разрабатывавшегося в 49 отделе ЦНИИ 45.

Одной из первых НИР, выполняемых в ЦНИИ 45, в основном – в рамках 4 отдела, в начале 1960-х, стало экспериментальное программирование управляющих программ разрабатываемой системы ПРО на разрабатываемую же ЭВМ 5Э92. Макет ЭВМ был уже почти разработан в ИТМ и ВТ под руководством В.А. Мельникова – ученика академика С.А. Лебедева, и поражал малыми для того времени размерами. В составе конструкторского коллектива были М.В. Тяпкин, В.Н. Лаут, А.Н. Томилин, Л.Н. Королёв. Предполагалось, согласно ТЗ, что производительность машины составляет 1 млн оп/сек. Но в результате экспериментального программирования выяснилась необходимость достижения в боевом цикле (даже исключая весьма трудоёмкую задачу целераспределения) производительности не менее 2 млн. оп/сек. Это уже тогда, с учётом возможностей элементной базы, доказало необходимость построения управляющих многопроцессорных вычислительных систем (ВС).

Поэтому, как говорилось выше, В.С. Бурцев и приступил к разработке двухпроцессорной системы 5Э92б, состоящей из большого процессора М-500 и малого М-100. Разработки велись на той же полупроводниковой базе. Предполагалось, что двухадресные команды М-500 обеспечат более высокую производительность, чем 5Э92. М100 при той же архитектуре обеспечивала резервирование, аппаратный контроль и весьма развитый обмен по направлениям и объектам в режиме мультипрограммирования. Эти достоинства системы 5Э92б определили её, обоснованный В.М. Бахаревым, выбор военными в качестве управляющей системы ПРО. 5Э92б была выполнена с фиксированной запятой. Вскоре была разработана модификация 5Э51 с плавающей запятой, для которой под руководством В.В. Пивоварова был сделан транслятор с Алгола. Здесь уместно сделать важное замечание насчёт адресности ЭВМ.

Дело в том, что сущим бичом конструктора ЭВМ всегда было и остаётся существенное рассогласование технологических возможностей построения быстродействующих операционных устройств компьютера и соответствующих устройств памяти. Так, в МВК «Эльбрус-2» при длительности одного такта выполнения арифметической операции, одно бесконфликтное обращение к оперативной памяти производится за 50 тактов! Конструктивно это привело не только к активному использованию сверхоперативной кэш-памяти, но и к стремлению организации вычислений на стеке, реализующем бесскобочную запись алгоритма. При этом автоматически минимизируется количество обращений к памяти. Одноадресные машины, к которым относится 5Э92, впоследствии ставшая БЭСМ-6, с развитыми возможностями как раз и позволяют транслятору или опытному программисту максимально реализовать технологию вычислений на стеке, минимизировав количество считываний и записи.

«Интеллектуальная» машина 5Э92 обрела широкое признание при решении научных и производственных задач и получила название БЭСМ-6, на деле продолжив ряд замечательных машин С.А. Лебедева. Эта машина также была установлена в ВЦ ЦНИИ 45, заменив устаревшую к тому времени 5Э92б (хотя и разработанную одновременно). Разработке ряда МВК «Эльбрус» предшествовали научные исследования и обоснования, в которых сотрудники 4 отдела ЦНИИ 45 принимали непосредственное и самое действенное участие.

Сама идея многопроцессорных ВС на общей оперативной (разделяемой) памяти была предложена С. Креем и реализована в системе CDC-6600. Сообщением о том информация и ограничивалась. Эффективность применения принципа многопроцессорности в интересах ПРО, с учётом эксклюзивности и приоритета, должна была рассматриваться впервые и «с нуля». Здесь В.М. Бахарев стал теоретиком, В.С. Бурцев – главным конструктором, а Г.С. Марченко, начальник отдела вычислительных средств ПРО в 4 ГУ МО СССР, обеспечил признание проекта и его выполнение. Эти три человека «подарили» стране разработку, на долгое время покрывшую требования к вычислительным средствам систем обороны.

В основе идеи В.М. Бахарева лежало утверждение, что применение нескольких процессоров способно сгладить пиковую нагрузку на отдельный процессор и тем самым снизить требования к производительности всей системы. Другим важным качеством МВК является самоконтроль и

обеспечение скользящего резервирования. Это служит существенному повышению надёжности функционирования МВК в составе системы обороны.

Для подтверждения и закрепления успеха В.М. Бахарев сформулировал и поставил задачу своему подчинённому А.Б. Барскому по более глубокому проведению теоретических исследований и моделированию управляющих задач боевого цикла ПРО, выполняемых на многопроцессорной ВС. Так появились методы точного решения задач параллельного программирования, как класса задач исследования операций, а также «быстрые», достаточно точные диспетчеры [9]. Это легло в основу докторской диссертации А.Б. Барского, поддержанной В.М. Бахारेвым.

Далее исследования были продолжены для выдачи предложений по поддержке эффективной архитектуры многопроцессорных ВС при реализации многоканального обслуживания больших массивов данных об управляемых объектах по принципу «одна программа – много потоков данных». Этот принцип известен как *SPMD*-технология, *Simple Program – Multiple Data*.

Параллельно с МВК «Эльбрус-2» в ИТМ и ВТ им. С.А. Лебедева шли разработки модульного векторно-конвейерного процессора МКП конструктора А.А. Соколова. Специализированный процессор должен был входить в состав МВК «Эльбрус» и предназначался для первичной обработки радиолокационной и сигнальной информации. Умножение выполнялось на 16 уровнях конвейера, деление – на 32 уровнях. Одновременно выполнялось до 4 потоков команд. Разработку сопровождал ЦНИИ 45, но она не была закончена, о чём впоследствии весьма сожалел В.С. Бурцев.

Стратегическая оборонная инициатива (СОИ) президента США Р. Рейгана стала мощным водоразделом в развитии вычислительной техники России. В.М. Бахарев посчитал, что для успешного противостояния, стационарные вычислительные установки должны обладать производительностью 1012 оп/сек., а бортовые средства – 109 оп/сек.

«Мы пойдём другим путём!» – провозгласил (спустя столетие) последний генсек М.С. Горбачёв, и выдвинул лозунг (опираясь на мифическую «подмосковную инициативу») о создании «10-миллиардной» вычислительной системы. Лозунг о том, вывешенный в фойе, торжественно встречал посетителей ИТМ и ВТ, возглавляемом в то время В.С. Бурцевым.

Проект, названный МВК «Эльбрус-3», реализовался главным конструктором чл.-корреспондентом Б.А. Бабаяном, одним из немногих, получившим в то время звание «заслуженный конструктор». В основу проекта был положен процессор *VLIW*-архитектуры (*Very Long Instructing World*, «длинное командное слово»). Каждая его команда содержала инструкции на начало выполнения в данном такте 7 конвейерным исполнительным устройствам разной специализации. МВК должен был содержать 16 таких процессоров. При длительности такта 10 нс, *пиковая* производительность одного процессора составляла 700 млн оп/сек., а всей установки – аж 11,2 млрд оп/сек.! Таким образом, «на бумаге» вновь Советский Союз «догнал и перегнал» (да ещё как!).

Однако реально... «Ну давайте считать, что два-то ИУ (одного процессора) в каждом такте загрузить можно!» – просил Б.А. Бабаян, докладывая о проекте на НТС ответственного отдела И.А. Пиргача ЦНИИ 45. «Это надо смотреть по задачам» – был дан справедливый ответ.

Действительно, трудно выдумать заведомо бессмысленный тест, загружающий все 7 специализированных конвейерных ИУ в каждом такте на протяжении достаточно длинной программы. Ведь каждый «живой» математический алгоритм представляет собой параллельно-последовательную связную структуру, выполнение которой не может, словно горох, быть распределено поровну между параллельными процессорами, да ещё разной специализации. С точки зрения программиста, программа «Эльбруса-3» выглядела весьма «дырявой», не только плотно не загружающей все ИУ в каждом такте, но обильно содержащей т.н. *NOP*'ы – *no operation*, т.е. пропуски незагруженных тактов из-за связности данных, формируемых на конвейерах.

С тех пор и стало актуальным отличие реальной производительности, показываемой на контрольных задачах пользователя или испытателя, от рекламной пиковой производительности ВС странной архитектуры, служащей успешному маркетингу и прочему очковтирательству.

Чтобы скрыть неприглядный вид программы МВК «Эльбрус-3» и последующих моделей «Эльбрус» на основе *VLIW*-архитектуры, а также чтобы сократить объём памяти, занимаемой «дырявой» программой, практикуется плотная упаковка и кодирование программных слов при трансляции. Преобразование «упакованной» программы в длинные командные слова – декодирование – производится при выполнении. В связи с этим, сегодня используется понятие *EPIC*-архитектуры (*Explicitly Parallel Instruction Computing* – система команд с явным параллелизмом) – архитектуры, «управляемой в каждом

такте машины». Динамическая аппаратная распаковка длинных командных слов перед их выполнением требует существенных предварительных усилий конвейера обработки команд процессора.

МВК «Эльбрус-3» был выполнен (заводских испытаний не было в связи с «перестройкой») по микроэлектронной технологии, реализующей плотность 300000 вентилях на кристалл. В это же время первый процессор *Pentium* реализовал 3100000 вентилях на кристалл. Использование в последующем в ряде микропроцессоров «Эльбрус» даже не очень передовых зарубежных технологий обусловило технологический «санкционный» провал российской вычислительной техники сегодня.

Возможный путь выхода из кризиса заключается в реализации RISC-архитектуры (архитектуры с ограниченным количеством команд) микропроцессора на базе архитектуры БЭСМ-6 при возрождении последних советских технологических достижений. Это вряд ли возможно. Следует воспользоваться мнением академика В.С. Бурцева о том, что погоня за микроминиатюризацией, т.е. за сверхмалыми габаритами даже встраиваемых и бортовых вычислительных средств, сама по себе не является обязательной. Известны зарубежные модели многокристалльных микропроцессоров. Комплектация чипов в соответствии с требованиями стандартизации и унификации во многом нивелирует размеры отдельных микропроцессоров и других элементов в их составе.

Основная линия разработок в области управляющих вычислительных средств ПРО, сопровождаемая научными исследованиями, выполняемыми в ЦНИИ 45, несомненно определялась и определяется ныне многопроцессорными вычислительными комплексами «Эльбрус». Хотя сейчас упор делается на микропроцессорные вычислительные системы. «Эль-90 микро» открыл ряд микропроцессоров, выполненных на микроэлектронных технологиях.

Одновременно в НИИ ВК, руководимом М.А. Карцевым (сегодня НИИВК им. М.А. Карцева), велись разработки ряда ЭВМ М-9 – М-14. В основе базовой архитектуры была частично использована идея векторной обработки «один поток команд – много потоков данных». Михаил Александрович Карцев, не желая участвовать в межконструкторских схватках за лидерство в разработке универсальных вычислительных средств, утверждал, что он делает универсальный спецпроцессор для обработки радиолокационной информации.

Действительно, для оптимизации обработки сигнальной информации, при в целом стандартной системе команд, поддерживалась возможность одновременного выполнения одной операции над 64-разрядными словами при их делении на два полслова, 4 четверти слова, 8 «восьмушек» слова. Архитектура М.А. Карцева была тщательно исследована, обоснована и применена замечательными системными программистами Е.В. Гливленко, Б.А. Головкиным, В.Г. Макеевым. Это послужило утверждению того факта, что именно программирование задач определяет оптимальную архитектуру, а не наоборот.

Полностью векторная архитектура для сопроцессора (интеллектуального терминала), как спецпроцессора, выполняющего векторные операции в составе программы, выполняемой на «главной» ЭВМ, была реализована в ВС ПС-2000 и ПС-2100, разработанных в ИПУ АН СССР (конструкторы И.В. Прангишвили, С.Я. Виленкин, И.Л. Медведев и др.). Спецпроцессор, содержащий 64 микропроцессора, выполняющих общую команду по разным данным (распределяемый вектор), обеспечивал пиковую производительность в 200 млн оп/сек, что в конце 70-х годов явилось триумфом. При этом микропроцессор иностранного производства в основе установки обеспечивал 3 млн. оп/сек. Система команд микропроцессора могла микропрограммно развиваться пользователем для специального использования.

В.В. Игнатущенко из того же ИПУ пошёл по пути универсализации и структуризации, предложив и разработав (Предприятие «Импульс», Северодонецк) экспериментальные, пока усечённые, образцы многопроцессорных ВС на общем решающем поле – ПС-3000 и ПС-3100. Промышленное производство также базировалось на микропроцессорах. Предлагаемое структурирование обеспечивало в будущем, кроме эффективного программирования, возможность применения микропроцессоров, выполненных на существенно отсталой отечественной микроэлектронной технологии. (Лозунг ИПУ: «Хорошие машины на плохой элементной базе!»).

ЦНИИ 45 непосредственно не вёл исследований, связанных с применением ПС-2000 и ПС-3000 в ПРО. Однако «военная» направленность разработок ИПУ АН СССР была очевидной, а научные связи, консультации и активное участие в научных мероприятиях ИПУ были продуктивными.

Следует упомянуть вычислительную систему 5Э73, разрабатываемую в г. Зеленоград, которую также творчески и критически сопровождал ЦНИИ 45. В основе операций лежала СОК – система в остаточных классах, доведённая до возможной практической реализации И.Я. Акушским и Д.И. Юдицким. Разработка не была закончена, так как институт Министерства электронной промышленности, где шла

эта разработка, должен был заниматься отстающей элементной базой, а не архитектурами вычислительных средств. Кроме того, была признана неэффективность СОК при выполнении основного числа арифметических и логических операций, согласно смесям Гибсона. Следует лишь отметить, что в 5Э73 впервые в стране использовалось длинное командное слово для трёх параллельно работающих исполнительных устройств.

Известно, что в СОК ранее была разработана ВС 5Э71, но достоверная информация о её военном применении отсутствует. Можно предположить, что на ней была эффективно использована *SPMD*-технология.

Говоря об отставании элементной базы, следует упомянуть, что в стране известны первые эксперименты по выращиванию кристаллов арсенида галлия на борту космического корабля в условиях невесомости. Однако столь дорогие проекты сегодня экономически недоступны.

В конце 70-х, начале 80-х годов обрёл всемирную актуальность так называемый «японский вызов», касающийся предложений по созданию вычислительных средств сверхвысокой производительности. Предлагалось в одной установке объединять десятки и сотни тысяч микропроцессоров по «поточковой» архитектуре *data flow*. Второе предложение касалось необходимости активного использования быстродействующих нейросетевых технологий для решения задач высокой сложности вместо трудоёмких «вычислительных» методов. Оба направления стали бурно развиваться в стране и, тем более, определили планы направления исследований ЦНИИ 45.

Главной «изюминкой» технологии *data flow* является то, что в команде программы вместо адресов операндов первоначально фигурируют пустые места. В динамике правильного выполнения программы эти места заполняются, и команде, в текст которой поступили все операнды, присваивается статус готовой к выполнению. Множество процессоров-вычислителей выполняют «готовые» команды, реализуя параллельный процесс в соответствии с их количеством и параллельными свойствами алгоритма.

Однако столь простая идея столкнулась с трудностями её схемотехнической реализации, обнажившей издержки скрытой диспетчеризации и, главное – весьма сложной и «медленной» системы взаимного обмена данными.

А.Б. Барский предложил компромиссное решение: исходная программа в традиционной трёхадресной форме (адресация не столь существенна), интерпретировалась не как программа окончательного выполнения алгоритма, а как программа коммутации устройств решающего поля (в терминологии В.В. Игнатушенко) для выполнения заданного алгоритма. Используя язык *Simula-67*, В.В. Шилов провёл моделирование на БЭСМ-6, установленной в ВЦ ЦНИИ 45, и определил параметры эффективности распараллеливания ряда задач, а также принципы трансляции на ВС потоковой архитектуры. А.Н. Русаков, Б.И. Хвоин и другие члены сформировавшейся группы предложили оригинальные схемотехнические решения. Проект, разработанный в 49 отделе И.А. Пиргача, был активно поддержан В.В. Пивоваровым. Доктор технических наук, профессор Ю.Г. Дадаев обеспечил, как говорилось выше, обсуждение и печать научно-технических предложений группы в редактируемых им, совместно с В.А. Мельниковым, сборниках «Вопросы кибернетики» Научного Совета по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР [10-14]. Однако на той стадии опытной реализации, где потребовалось финансирование, работы были прекращены.

В новое время, когда ЦНИИ 45 выродился в НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ ВКС МО РФ, А.Б. Барским совместно с Д.И. Мельником была предпринята попытка реанимировать проект *data flow* в виде макета на ВК «Сивуч-1», разработанном И.А. Пиргачом, В.М. Григоренко, Н.А. Шаменковым. ВК объединяет 36 микропроцессоров «Эльбрус» по сетевой технологии Ethernet. Проект был выполнен и опубликован. Непреодолимым препятствием на пути внедрения на этот раз оказалось отсутствие молодых кадров.

Предложение об использовании нейросетевых технологий также было немедленно подхвачено в стенах ЦНИИ 45. П.А. Бондарев приступил к созданию генетических алгоритмов обработки радиолокационной информации.

Тогда же, по инициативе 46 Института МО РФ, в рамках одной из комплексных тем НИР, при МИРЭА была организована группа изучения текущего состояния вопроса о принципах и применении искусственных нейронных сетей. Преподавателями были ведущие специалисты в этой области. В процессе обучения обнаружился тревожный факт: тот, ставший классическим, уровень представления о нейронных сетях, не мог быть применён к алгоритмам управления средствами ПРО в боевом цикле реального времени.

А.Б. Барский разработал теорию логической нейронной сети, реализующей модель ассоциативных вычислений и в большей степени адекватной процессам мышления мозга. На основе такой сети удалось

построить ассоциативные, адаптивные, быстродействующие алгоритмы управления боевым циклом ПРО [15] и решить другие задачи: управление качеством и надёжностью интеллектуальной системы обороны, повышение её кибербезопасности, компьютерное зрение, обобщение и аппроксимация результатов испытаний и др. Предложения «кричат и просят» экспериментирования, моделирования, вопреки разрушительной сути «реформы науки и образования», напроочь перекрывшей приток молодых исследователей.

Одновременно возникла проблема построения спецпроцессора-нейрокомпьютера. Под управлением Ю.И. Борисова («Модуль») в ЦНИИ 45 была организована группа под научным руководством А.Б. Барского, задачей которой был выбор, с рассмотрением и зарубежных образцов, того микропроцессора, который может быть положен в основу нейрокомпьютера для задач обороны. В результате моделирования предполагаемой загрузки оказалось, что в качестве нейрокомпьютера целесообразно взять микропроцессор «Эль-90 микро» – первый микропроцессор, открывший ряд микропроцессоров «Эльбрус» и ВС на их базе. В дальнейшем было подтверждено, что архитектура «длинное командное слово» в усечённом виде весьма эффективна при реализации спецпроцессора-нейрокомпьютера.

Переход на высокопроизводительные микропроцессорные системы в 1990-е годы также произошел по инициативе ЦНИИ 45. В начале 1995 г. в адрес Комитета по военно-технической политике было направлено письмо за подписью начальника института Г.С. Батыря с предложением о прекращении разработки МВК «Эльбрус-3» на старой элементной базе и переориентации использования выделяемых средств на постановку работы по созданию отечественных рабочих станций на основе микропроцессоров. Были разработаны и утверждены технические задания на новые микропроцессорные вычислительные комплексы «Эльбрус-90 микро» и «Эльбрус-3М».

В заключение отметим роль Всеволода Сергеевича Бурцева в развитии отечественной вычислительной техники в соответствии с тематикой ЦНИИ 45. В.С. Бурцеву довелось создать практически весь ряд вычислительных средств, систем и комплексов, лежащих в основе ПРО, ПКО, СПРН и ККП, представляющих основу тематики ЦНИИ 45, включая малую машину 5Э26 – управляющий элемент ряда мобильных средств ближнего перехвата. Академик В.С. Бурцев предупреждал об излишнем увлечении зарубежными микроэлектронными технологиями в интересах кибербезопасности.

После «директорства» в ИТМ и ВТ он возглавил Вычислительный центр коллективного пользования (ВЦКП АН СССР), ставший затем Институтом высокопроизводительных вычислительных систем (ИВВС РАН), в кооперации с более чем 30 организациями, пытающимися заложить основы оптической «световой» элементной базы. На этой элементной базе В.С. Бурцев намеревался воспроизвести высокопараллельную структуру *Connection Machine*. Однако последний несостоявшийся его проект базировался на технологии *data flow*. К сожалению, создать практически приемлемую систему логических элементов по «световой» технологии, для революционного броска в области сверхвысокой производительности вычислительных средств, не удалось.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Norris R.S., Kristensen H.M. Global nuclear stockpiles, 1945-2006 // Bulletin of the Atomic Scientists. 2006. Vol. 62. № 4. Pp. 64-66.
2. Гаврилин Е.В. Эпоха «классической» ракетно-космической обороны. М.: ЗАО «РИЦ «Техносфера», 2008. 168 с.
3. Сорок пять – сорок пятому. Автор-составитель Ю.Н. Третьяков. М.: Знание, 2005. 784 с.
4. Пенчуков И.М. Становление военной науки РКО // в сб.: Рубежи обороны – в космосе и на земле. Автор-составитель Н.Г. Завалий. М.: Вече, 2003. С. 342-352.
5. Шаракшанэ А.С. Военная наука в испытаниях вооружения войск ракетно-космической обороны // в сб.: Рубежи обороны – в космосе и на земле. Автор-составитель Н.Г. Завалий. М.: Вече, 2003. С. 359-366.
6. История информационных технологий в СССР. Знаменитые проекты: компьютеры, связь, микроэлектроника. Под общей редакцией Ю.В. Ревича. М.: Книма (ИП Бреге Е.В.), 2016. 416 с.
7. Барский А.Б. История российских суперкомпьютеров специального назначения: свидетельства и размышления // Информационные технологии. 2012. № 9. Приложение. 32 с.
8. Дадаев Ю.Г. Арифметические коды, исправляющие ошибки. М.: Советское радио, 1969. 168 с.
9. Барский А.Б. Планирование параллельных вычислительных процессов. М.: Машиностроение, 1980. 191 с.
10. Барский А.Б. Поточковая обработка информации в ВС на асинхронном решающем поле // Вопросы кибернетики. Вып. 97. Проблемы организации высокопроизводительных ЭВМ. М.: АН СССР, 1984. С. 119-141.

11. Барский А.Б. Структура и архитектура потоковой вычислительной системы // Вопросы кибернетики. Вып. 117. Эффективное использование высокопроизводительных ЭВМ. М.: АН СССР, 1985. С. 136-151.
12. Русаков А.Н., Хвоин Б.И., Шилов В.В. Организация сбалансированной работы потоковой вычислительной системы // Там же. С. 152-158.
13. Барский А.Б., Русаков А.Н., Хвоин Б.И. Возможности достижения высокой скорости коммутации и внутрисистемного обмена в вычислительной системе, управляемой потоком данных // Вопросы кибернетики. Вып. 128. Разработка и использование суперЭВМ. М.: АН СССР, 1987. С. 130-145.
14. Шилов В.В. Имитационная модель потоковой вычислительной системы // Там же. С. 145-162.
15. Барский А.Б. Нейросетевые технологии интеллектуальной обороны. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2022. 174 с.