

## РАЗРАБОТКА ЕРЕВАНСКИМ НИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МАШИН СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ДВУХМАШИННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СВК И ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО МАСШТАБА ВРЕМЕНИ

Гамлет Арутюнович Арутюнян

*ЕрНИИММ, Ереван, Республика Армения, hamhar1945@gmail.com*

**Аннотация** – В докладе представлены воспоминания доктора технических наук, профессора, бывшего начальника комплексного отделения Ереванского НИИ математических машин Гамлета Арутюновича Арутюняна о разработке специализированного двухмашинного вычислительного комплекса СВК и его операционной системы на базе которого были построены комплексы системы автоматизации объектов глобальной АСУ Вооруженных сил СССР.

**Ключевые слова** – специализированный двухмашинный вычислительный комплекс, операционная система реального масштаба времени, режим дублирования вычислений, система передачи данных.

### ВВЕДЕНИЕ

В материалах по истории развития вычислительной техники Советского Союза, программного обеспечения, специализированных вычислительных систем и вычислительных систем военного назначения нет информации о разработанных Ереванским НИИ математических машин (ЕрНИИММ) специализированного двухмашинного вычислительного комплекса СВК, многопроцессорной вычислительной системы «Севан» и операционных систем этих комплексов, которые по многим показателям превосходили отечественные и зарубежные системы аналогичного класса того времени [1, 2, 4, 6]. Не вдаваясь в причины такого упущения, хотел бы заполнить этот пробел, чтобы эти системы заняли достойное место в истории развития вычислительной техники и программного обеспечения СССР. Кроме того, хотел бы представить новым постсоветским поколениям дух того времени, менталитет и отношение к работе советских специалистов, государственный подход к делу и некоторые аспекты процесса разработки автоматизированной системы управления вооруженными силами (АСУ ВС).

По тематике АСУ ВС на ЕрНИИММ были возложены следующие работы:

1. Разработка высоконадежного вычислительного комплекса, на базе которого должны были быть построены комплексы средств автоматизации объектов управления подсистем АСУ ВС;
2. Разработка комплексов средств автоматизации объектов подсистемы управления стратегическими силами военно-воздушных сил (ВВС).

Головной организацией по разработке АСУ ВС был научно-исследовательский институт автоматической аппаратуры (НИИАА), г. Москва. Генеральным конструктором АСУ ВС был академик Владимир Сергеевич Семенихин.

Разработка вычислительных машин, способных удовлетворять высоким требованиям АСУ ВС такого класса по технологиям 70-х годов, была не простой задачей. ЕрНИИММ имел большой опыт разработок вычислительных машин для народного хозяйства (ЭВМ «Арагац», «Раздан», «Раздан-2», «Раздан-3», вычислительного комплекса «Маршрут-1», серии малых ЭВМ «Наири», ЭВМ ЕС 1030). Но в данном случае речь шла о разработке вычислительного комплекса другого класса, работающего в режиме реального времени, круглосуточно, без остановки с высокой достоверностью решения задач. Были, конечно, в стране специализированные вычислительные системы военного назначения, разработанные такими известными предприятиями как ВНИИЭМ, ИТМиВТ, НИИЭВМ, НПО «Агат». Однако, эти системы были предназначены для решения конкретных специализированных задач и не обладали достаточной универсальностью для применения в объектах АСУ ВС. Для АСУ ВС необходимо было разработать новые вычислительные системы. Разработку одной из них поручили ЕрНИИММ.

Заказчиком СВК был Научно-исследовательский институт автоматической аппаратуры. Главным конструктором СВК был Роберт Варткесович Атоян, заместителями главного конструктора были Эдуард Акопович Будагян по архитектуре и программному обеспечению, Григорий Григорьевич Бакарян по аппаратной части.

## I. АРХИТЕКТУРА СВК

Разработка СВК началась 1971 году. В 1973 году проводили заводские испытания и после этого началось серийное производство (опытный завод ЕрНИИММ, Ереванский завод «Электрон», завод в городе Белая Церковь).

СВК должен был работать в реальном масштабе времени, иметь высокую надежность функционирования, достоверность обработки информации, высокую устойчивость вычислительного процесса. Система должна была работать без останова. Ремонтно-восстановительные работы должны были проводиться параллельно без нарушения функционирования системы.

Структурная схема СВК приведена на рис. 1.

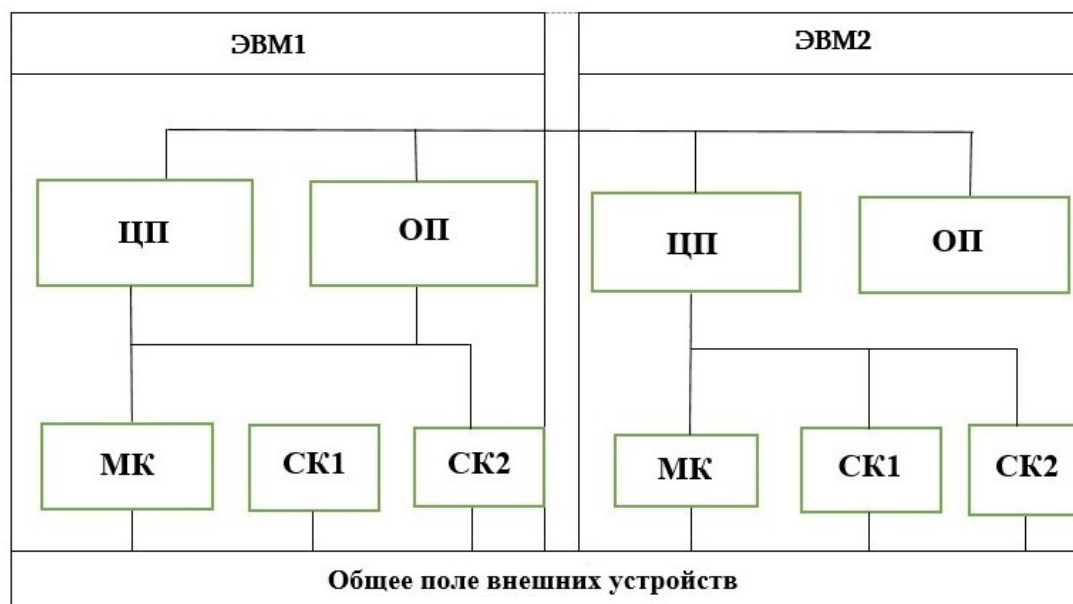


Рис. 1. Структурная схема СВК (ЦП – центральный процессор, МК – мультиплексный канал, СК – селекторный канал, ОП – оперативная память)

Каждый процессор имел доступ к оперативной памяти соседней машины. Внешние устройства имели переключатели на два канала, обеспечивающие доступ со стороны обеих машин.

Аппаратная часть СВК были реализованы на платах с размером  $140 \times 150$  мм на микросхемах типа «Посол» серии 217. Конструктивно процессоры, каналы, оперативная и внешняя память представляли собой отдельные стойки. С целью повышения быстродействия процессоры и каналы имели аппаратную систему управления.

Системные характеристики СВК (быстродействие процессора, каналов ввода-вывода, объемы оперативной и внешней памяти) соответствовали уровню технологии того времени и были достаточно скромными по сравнению с сегодняшним уровнем (таблица 1).

Таблица 1 Системные характеристики СВК

Быстродействие процессора	50 000 оп/сек
Объем оперативной памяти	512 Кбт
Объем внешней памяти (магнитный барабан)	144 Кбт $\times$ 8 (БН-206)
Коэффициент готовности	0,9997

Советские технологии производства микросхем, составляющих элементную базу вычислительной техники, уступали американским по многим показателям. Такие характеристики, как уровень интеграции, быстродействие, надежность, потребляемая мощность у американских микросхем были выше.

При разработке архитектуры и операционной системы СВК мы не могли позволить себе переписывать схемы и алгоритмы работы ЭВМ IBM 360, которая в те годы была одной из самых известных машин во

всем мире. IBM 360 была предназначена для работы в вычислительных центрах и не удовлетворяла требованиям военных систем. Из внешних устройств ЕС ЭВМ взяли алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ), перфокарточные устройства и магнитные ленты. Процессор, селекторный и мультиплексный каналы, оперативную и внешнюю памяти на магнитном барабане были собственными разработками. Рабочие места, на которых должны были работать военные операторы, разрабатывали предприятия-разработчики конкретных подсистем видов войск на основе базовых решений НИИАА.

Особенностями архитектуры СВК были: развитая система межпроцессорной связи, общее поле оперативной, внешней памяти и внешних устройств. Процессоры могли осуществлять взаимный контроль работоспособности, и при аварийных ситуациях произвести рестарт соседней машины, а в одномашинном режиме – рестарт своей машины.

Обращение к оперативной памяти соседней машины производилось установкой префикса в старшем разряде физического адреса оперативной памяти. Эти возможности были очень важными для организации и управления вычислительного процесса и режимами работы двухмашинного вычислительного комплекса.

## II. ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА СВК

Операционная система организовала вычислительный процесс в двух режимах:

- режим дублирования вычислений;
- одномашинный режим.

Режим дублирования вычислений являлся основным режимом работы СВК. Программное обеспечение и информационные базы были дублированы в оперативной и во внешней памяти обеих машин. Общее поле оперативной памяти и внешних устройств позволило поддерживать работоспособность систем в широком диапазоне различных аварийных ситуаций.

В режиме дублирования обе машины работали параллельно, решали одни и те же задачи, результаты решения сравнивались на точках вывода информации на внешние устройства. Для управления работой комплекса был выбран децентрализованный принцип. Машины имели одинаковый приоритет, операционные системы работали одновременно в двух машинах. Синхронизация работы производилась при формировании и завершении процессов, при выводе информации на внешние устройства. Во избежание конфликтов при параллельной работе операционных систем в двух машинах использовались критические секции и семафорные механизмы.

Одномашинный режим можно было организовать с дублированием внешней памяти и без него. Переходы из режима в режим производились без нарушения непрерывности вычислительного процесса.

Операционная система СВК обеспечивала высокую устойчивость вычислительного процесса к различным типам аварийных ситуаций (сбои, отказы, программные ошибки, ошибки в данных и т.д.). На экране монитора системного оператора непрерывно отображались текущие состояния технических средств и каналов передачи данных. Многоуровневая система восстановительных процедур обеспечивала работу комплекса без останова. При искажении информации в оперативной памяти или внешней памяти одной из машин, восстановление производилось автоматически, используя правильную информацию во второй машине. В одномашинном режиме при невозможности восстановления информации после сбоя в процессоре и оперативной памяти выполнялись процедуры автоматического рестарта системы с частичным и полным обновлением информации. Система могла остановиться только при тяжёлых отказах одновременно в двух машинах, и когда системные ресурсы для работоспособной конфигурации были полностью исчерпаны. Вероятность такого события была очень мала и СВК практически не останавливался.

Объекты АСУ находились на разных территориях и взаимодействовали между собой через глобальную сеть передачи данных. В операционной системе СВК было разработано сетевое программное обеспечение, реализующее протоколы системы передачи данных, включающее многоуровневую систему буферизации сообщений, приоритетное обслуживание очередей, средства обнаружения и предотвращения перегрузок.

На объектах верхнего звена подсистем СВК обеспечивал взаимодействие с двухмашинным вычислительным комплексом на базе ЭВМ ЕС-1030 (ВК-1010). Взаимосвязь двух вычислительных комплексов обеспечивалась четырьмя устройствами («Адаптер канал-канал»). Протокол взаимодействия и программное обеспечение со стороны СВК разработали специалисты НИИАА, со стороны ЕС ЭВМ – специалисты НИЦЭВТ.

Обслуживание очередей к ресурсам и процессору было организовано по принципу приоритета. Очереди были разделены на четыре приоритетных класса.

Классические схемы формирования процессов и принципы распределения ресурсов оказались не эффективными для обработки интенсивных потоков сообщений, поступающих по каналам связи. Были придуманы и реализованы принципы группирования однотипных заявок и их групповой обработки. Было введено понятие «резидентные процессы». Задача после завершения обработки текущих заявок переводилась в состояние ожидания появления новых запросов. Их можно было активировать периодически или по мере накопления новых запросов.

СВК имел свой язык программирования типа ассемблер – Автокод СВК. Операторы Автокода были на русском языке. Были разработаны транслятор с языка Автокод (разработчик – НИИМАРС) и система отладки и подготовки программного обеспечения. Отладочные средства позволяли производить отладку программ как с рабочих мест отдельного объекта, так и удаленную отладку через вычислительную сеть.

Для комплексной отладки операционной системы и проведения испытания была разработана имитационная среда с различными уровнями тестовых задач.

Многие методы и алгоритмы организации и управления вычислительным процессом в одномашинном и двухмашинном режимах работы СВК, обеспечения отказоустойчивости системы, система буферизации, групповая обработка потока сообщений, контроль нагрузки и предотвращения перегрузок, локальный и дистанционный контроль за функционированием системы и состоянием технических средств, дистанционная отладка программного обеспечения и многое другое в то время были новыми в теории и практике вычислительной техники, вычислительных сетей и программирования. Прошли годы, в литературе начали появляться описания многих из этих методов. Объем работы и напряженность графика были настолько высокими, что новые методы, решения и алгоритмы, которые мы разработали и применяли, не успевали своевременно опубликовывать и оформлять авторские права. Просто времени на это не было. Считали, что важно было сделать работу, а оформление как-нибудь потом.

В научной школе академика Семенихина действовало правило защиты диссертации только после завершения работ, когда на практике доказаны ценности результатов исследования. Следуя этому правилу, я защитил кандидатскую диссертацию, после многократных испытаний и внедрения операционной системы СВК на предприятиях соисполнителей в 1978 году, а докторскую диссертацию в 1989 году, после принятия на вооружение многопроцессорного вычислительного комплекса «Севан».

### III. ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА СВК В ЗОНЕ ОСОБОГО ВНИМАНИЯ

СВК был базовым вычислительным комплексом объектов управления подсистем АСУ ВС. Неудачи, провалы и задержки в разработке СВК и операционной системы могли бы непосредственно влиять на процесс разработки КСА объектов подсистем АСУ ВС. Поэтому эти работы были в центре внимания, и за выполнением графика работ строго следили главные конструктора подсистем, Генеральный конструктор, Министерство радиопромышленности СССР, военные представители Министерства обороны, Генеральный штаб и оборонный отдел ЦК КПСС. Общие концепции, принципы функционирования СВК и операционной системы многократно докладывались и оценивались экспертами на совещаниях самых высоких уровней. Возникавшие вопросы решались оперативно, не прощались задержки и провалы.

Апогей этих событий пришелся на январь 1978 года. В отделе оборонной промышленности ЦК КПСС рассмотрели состояние дел по разработке АСУ ВС. На совещании доложили, что операционная система СВК работает неустойчиво, имеются ошибки, и она задерживает процесс разработки функционального программного обеспечения объектов подсистем. Заведующий отделом Иван Дмитриевич Сербин предложил отправить в Ереван высококвалифицированных программистов из других предприятий, чтобы ускорить процесс отладки операционной системы. Генеральный конструктор В.С. Семенихин объяснил, что подключение новых людей на этапе завершения работ не ускорит процесс, а наоборот, может привести к задержкам. В этой ситуации срок завершения работ зависит от Гамлета Арутюняна. На что Сербин ответил: «Как можно было допустить, чтобы обороноспособность страны зависела от Гамлета, который еще должен решить, быть или не быть нашей системе». Он поручил министру радиопромышленности СССР П.С. Плешакову организовать совещание в Ереване с участием экспертов, опытных специалистов, разобраться в проблемах задержки операционной системы и подготовки АСУ ВС к испытаниям на объектах заказчика.

Совещание проводил П.С. Плешаков, участвовали В.С. Семенихин, Н.В. Горшков, В.В. Пржиялковский, К.Н. Трофимов, М.С. Логинов, военные представители, эксперты, и другие официальные лица. В совещании участвовал председатель Совета Министров Армянской ССР Ф.Т. Саркисян.

Атмосфера на совещании была довольно напряжённая. Было запланировано, чтобы Роберт Вардкесович Атоян, как главный конструктор, представил аппаратную часть СВК, а Э.А. Будагян, А.Х. Палян, Л.Л. Абрамян и Г.А. Арутюнян – операционную систему. Докладчиков часто прерывали, чувствовалось, что участники совещания нервничают и недовольны выступлениями. По всей видимости, список и уровень представления обсуждаемых вопросов для такого ранга совещания были составлены неудачно. Я должен был выступить последним, и у меня было время подумать и сориентироваться, что хотят услышать и обсудить высокопоставленные руководители.

Своё вступление я начал с того, что не буду говорить о принципах работы операционной системы, о конкретных алгоритмах управления вычислительным комплексом, считая, что эти вопросы не для уровня министров и высокопоставленных руководителей; эти вопросы мы будем обсуждать с экспертами в более спокойной рабочей обстановке. Я представил результаты недавно проведённых в Москве на стенде НИИАА испытаний, представил данные о состоянии участвовавших в испытаниях трех вычислительных комплексов и их операционных систем: СВК (разработчик ЕрНИИММ), двухмашинного вычислительного комплекса (разработчик НИИАА), предназначенного для коммутационных центров телекоммуникационной сети и ВК 1010 – для решения расчетных задач на объектах высших звеньев подсистем (разработчик НИЦЭВТ). Провёл сравнительную оценку и отметил, что уровень готовности операционной системы СВК выше, чем у операционных систем двух других вычислительных комплексов, а устойчивость работы СВК вполне достаточна для отладки функциональных задач подсистем АСУ ВС. Отметил существующие проблемы и пути их решения. Говорил примерно 30 минут. Меня не перебивали, слушали внимательно, а потом задавали много вопросов, на которые я чётко отвечал.

После моего выступления напряжённость совещания намного снизилась. Дальнейшее обсуждение проходило в более спокойной обстановке. Услышав объективную оценку реальной обстановки непосредственно от разработчика, участники совещания поняли, что состояние операционной системы СВК не так уж плохо, как это было представлено в оборонном отделе ЦК КПСС, и имеются реальные возможности завершить все работы и провести испытания подсистем АСУ ВС на объектах заказчика в намеченные сроки. Потом выступил П.С. Плешаков, подвел итоги обсуждения и предложил экспертам подробно рассмотреть состояние дел и проблемы, связанные с завершением работ операционной системы и представить свои мнения.

На следующий день эксперты подробно рассмотрели принципы и алгоритмы разработки операционной системы, оценили реальное состояние дел и отметили высокий научно-технический уровень разработки. Совместные обсуждения были очень полезными, в итоге был составлен график завершения работ и подготовки системы к испытаниям на объектах заказчика. Руководителем работ назначили меня. Работа была завершена в срок, а испытания прошли удачно.

Об этом совещании Председатель Совета Министров Арм. ССР Фадей Тачатович Саркисян в своей книге «Уроки жизни» и в интервью газете «Иравунк» вспоминает, что на совещании был поставлен вопрос «быть или не быть» АСУ ВС и ЕрНИИММ, и вопрос решился «быть». Главным математиком системы был Гамлет Арутюнян [3, 5].

Достижение высоких характеристик по производительности, надёжности и устойчивости вычислительного процесса на ненадёжных микросхемах и скудных системных ресурсах было сложной задачей. Нам пришлось в операционной системе придумать и реализовать много новых и сложных механизмов, алгоритмов для достижения требуемых характеристик системы. В итоге, по этим показателям СВК не уступал самым передовым американским системам аналогичного назначения, а по некоторым из них и превосходил.

Мы добились этого благодаря высоким профессиональным знаниям, преданности делу, чувству ответственности и сплоченности коллектива разработчиков, всемерной поддержке со стороны руководства института, главных конструкторов подсистем и Генерального конструктора В.С. Семенихина. Была создана благоприятная рабочая среда сотрудников военных и гражданских организаций. Все понимали, что делают общее дело, и неудачи на отдельных участках могли бы привести к провалу важнейшей работы. Разработчики подсистем работали согласовано, помогая друг другу. Была большая помощь со стороны специалистов НИИАА, НИИЭТУ и НИИ «Марс». Особенно хотелось бы отметить большие заслуги заместителя главного конструктора по программному обеспечению АСУ ВС Анатолия Матвеевича Растрелина.

Мы знали, что за рубежом для разработчиков систем такого класса, создают хорошие условия, и они получают большие деньги. Мы, простые советские ребята, работали день и ночь, без отдыха и ни о каких деньгах и комфорте не думали. Лично я в период 1972-1978 годов работал без отпуска, с утра и допоздна, включая субботние и воскресные дни. И многие работали в таком режиме. Советская система оценки труда и отношение людей к труду были совершенно другими. Мы глубоко осознавали важность нашей работы в

повышении обороноспособности великой страны, нашей общей Родины, которая называлась Советским Союзом. Нам выпала большая честь быть первопроходцами в создании глобальной компьютерной сети такого масштаба в нашей стране и выполнить работу государственного и оборонного значения, и мы любой ценой старались оправдать оказанное доверие.

Такое отношение к делу и такое мышление были характерны для многих советских людей того времени. Государственный и профессиональный подход к делу, оценка труда и специалиста в семидесятые годы еще сохранились. К нам относились с уважением на всех уровнях в Ереване, в Москве, везде, в гражданских и военных организациях.

Советское правительство высоко оценило работу по созданию СВК и операционной системы. Роберт Атоян (главный конструктор), Эдуард Будагян (заместитель главного конструктора по программному обеспечению), Григор Бакарян (заместитель главного конструктора по аппаратуре), Степан Абаджян (ведущий разработчик каналов ввода-вывода), Роберт Арутюнян (начальник отдела по разработке аппаратных средств), Анатолий Гутов (ведущий разработчик магнитного барабана), Григор Хечумян (ведущий разработчик ОП), Артюша Багдян (конструктор), Арманд Уутмаа (главный инженер опытного завода) стали лауреатами Государственной премии Армении, а Гамлет Арутюнян, Арменак Палян, Ашот Малхасян, Артавазд Бдоян, Григор Овсепян, Ануш Захарян, Светлана Мусаелян, Светлана Башиян – лауреатами Всесоюзной премии Ленинского комсомола.

#### VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Специализированный вычислительный комплекс СВК, разработанный Ереванским НИИ математических машин по своим системным возможностям превосходил отечественные и зарубежные системы аналогичного класса и должен занять достойное место в истории развития вычислительной техники и программного обеспечения Советского Союза.

2. СВК являлся базовым вычислительным комплексом для построения комплекса средств автоматизации объектов управления и играл важную роль в создании глобальной АСУ МО.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Академик Владимир Сергеевич Семенихин // Виртуальный компьютерный музей. [https://www.computer-museum.ru/articles/galglory\\_ru/1411/](https://www.computer-museum.ru/articles/galglory_ru/1411/)
2. Ереванский научно-исследовательский институт математических машин // Виртуальный компьютерный музей. <https://www.computer-museum.ru/histussr/niiimm.htm>
3. Интервью Фадея Саркисяна // Иравунк. Июль, 1999. № 282.
4. Создатель «ядерной кнопки» // Красная звезда. 1 декабря 2010 г.
5. Саркисян Ф. Уроки жизни. Ереван, 2000.