

Доктор технических наук

Н.М. Луканов

## СОЗДАНИЕ ПЕРВЫХ СВЕРХБЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ИС ЭСЛ ДЛЯ ЭВМ «РЯД-2» И «ЭЛЬБРУС-2» – ПРОТИВОРАКЕТНОГО ЩИТА РОССИИ

Осенью 1965 г. в «Пульсаре», не ожидая того, я познакомился с будущим своим директором Камилем Ахметовичем Валиевым. Вместе с начальником сектора № 2 Юрием Николаевичем Дьяковым он не только изучал новую отечественную технологию изготовления ИС100, но и осуществлял подбор кадров для своего предприятия. В поле их зрения попал и я.

К.А. Валиев проявил большой интерес к перспективам развития микромощных ИС и к СВЧ-тематике на основе сверхтонких планарных структур. Мое объяснение его заинтересовало, и он предложил мне подумать о переходе в Зеленоград.

Его молодое и мужественное лицо, открытый и умный взгляд, пронзительные глаза, великолепная речь внушали доверие. И вскоре я принял предложение и возглавил лабораторию новых диффузионных процессов и СВЧ-транзисторных структур в НИИМЭ. Так судьба свела меня с будущим академиком РАН и сделала членом его эффективной школы по развитию отечественной микроэлектроники в СССР.

Интересна история и судьба нашего первого отчета по НИР «Ингредиент». Директор К.А. Валиев, изучив отчет, попросил оформить его в толстом синем переплете на листах плотной бумаги (в шутку их называл «слоновая кость»), объяснив, что покажет этот контрольный экземпляр министру МЭП Александру Ивановичу Шокину. Связавшись с начальником ГНТУ В.М. Пролейко, он передал его министру. По словам Валиева, министр велел ознакомить с отчетом ряд директоров. Через много месяцев отчет вернулся к Валиеву в изрядно потрепанном виде: директора его листали, а сотрудники читали. Уходя из НИИМЭ в 1977 г., К.А. Валиев передал его как раритет мне – главному конструктору этой НИР и нач. ОНИЛ кафедры ИПС (ФТИМС). Так судьба

сохранила документальную память о том очень успешном и творческом периоде работы в НИИМЭ и моем косвенном знакомстве с министром МЭП тов. А.И. Шокиным и его верным соратником В.М. Пролейко.

Валентин Михайлович Пролейко, много лет возглавлявший ГНТУ МЭП СССР, в одной из своих статей отметил особую роль электроники в политическом, военном, экономическом, социальном, образовательном аспектах и отдельно в деле обеспечения обороноспособности страны: «Вся послевоенная история развития мировой электроники, особенно два последних десятилетия, показывает, что концентрация интеллектуальных, экономических и ресурсных вложений в электронику вывела ее на первое место среди всех отраслей промышленности по темпам роста, объемам производства и эффективности применения. Электроника преобразила и продолжает преобразовывать уровень цивилизации человеческого общества».

Доктор технических наук Александр Александрович Шокин в книге «Министр невероятной промышленности СССР» подчеркнул особую роль оборонных целенаправленных программ, решаемых в МЭП: «Сверхответственные задачи перед электронной промышленностью первоначально были поставлены противоракетной обороной страны. Решение задач обнаружения целей и наведения противоракет было возможно только при использовании высокопроизводительных сверхбыстродействующих вычислительных комплексов». Такой суперЭВМ был «Эльбрус», разработанный в ИТМ и ВТ под руководством В.С. Бурцева. Для ее построения были необходимы сверхбыстродействующие ИМС ЭСЛ типа со временем задержки не более 2,0–2,5 нс. По решению Совмина и ВПК в 1970 г. МЭП СССР было поручено начать разработку ИС серий 100, 500 и 700. Их ближайшим зарубежным аналогом были ИС фирмы Motorola серии MC10000. Уже через квартал нами были изготовлены на сверхтонких слоях 6 типов ИМС, точно скопированных по топологии с ИМС США MC10000.

Наши ИМС в пластмассовых корпусах К.А. Валиев и В.Г. Колесников повезли на фирму Motorola в США.

Вот что рассказал К.А. Валиев, вернувшись из загранпоездки: «По ходу разговора чувствовалось: американцы не верят, что мы владеем технологией изготовления ИМС высокого быстродействия. В какой-то момент я достал из портфеля большую упаковку с ИС серии 500, высыпал их на стол и заявил, что они могут их испытать. Мы почувствовали их недоумение.

На следующее утро ИС были тщательно проанализированы по статическим и динамическим параметрам, а также были сделаны фотографии кристаллов, сняты профили и оже-спектры.

– Ваши схемы действительно имеют более высокое быстродействие по сравнению с МС10000, у вас хорошая технология. Но топология ваших схем похожа один к одному на топологию наших схем, – с видимым удовольствием подвел итог представитель фирмы.

Наступило неловкое молчание по обе стороны стола.

– А мы специально изготовили ИС по нашей технологии, но по вашей топологии, чтобы продемонстрировать возможности нашего производства, – подвел я сокрушительный итог».

Освоение серийного производства микросхем серий 100, 500, 700 (они отличались конструкцией корпусов) с приемкой заказчика стало важнейшей задачей на конец пятилетки. В июле 1974 г. прошла коллегия МЭП по этому вопросу, за которой последовал соответствующий приказ министра. Курирование этих важнейших разработок было поручено первому заместителю министра В.Г. Колесникову.

Геннадий Георгиевич Казеннов, профессор, главный конструктор САПР БИС, принимавший самое активное участие в разработке всех схем ЭСЛ, писал в своей статье: «По инициативе академика С.А. Лебедева в НИИМЭ была разработана также серия эмиттерно-связанных цифровых микросхем (разработчик технологии Н.М. Луканов, схемотехники – В.Н. Струков, В.Г. Немудров, С.И. Назаров), обладавшая на тот период времени максимально большим быстродействием. На этой элементной базе в Институте точной механики и вычислительной техники АН СССР были созданы первые отечественные сверхбыстродействующие многопроцессорные вычислительные комплексы гражданского и оборонного назначения».

Г.Г. Казеннову принадлежит крылатая фраза: «Мне известна только одна, да и то неудачная, попытка полного копирования американской микросхемы».

Имеется в виду микросхема SN-51 фирмы Texas Instruments, которую пытались воспроизвести в 1963 г. в отделе Б.В. Малина в НИИ-35. Автор внес свой вклад в развитие новой отечественной технологии изготовления ИС100, применив процессы диффузии фосфора при использовании жидких источников диффузанта.

Академик Всеволод Сергеевич Бурцев дал такую оценку событиям тех лет: «Вскоре перед НИИМЭ встала более сложная задача: создание ИС с повышенной интеграцией и высоким быстродействием – время задержки в 10 раз меньше, чем у серии 133. Опять много дебатов вызвала схемотехника. Ясно было только, что базой должна стать эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ). Пошли по проторенному пути, взяв за основу ИС серии 10000

компании Motorola. Однако на сей раз “проторенный” путь оказался нелегким. НИИМЭ достаточно быстро воспроизвел всю номенклатуру схем, выпустив серию 100 в планарном корпусе, как и все ИС военного назначения. Та же серия в DIP-корпусе, созданная по заказу НИИЦЭВТ, называлась серией 500. Собрав на ИС серии 100 первые процессоры МВК “Эльбрус-2”, мы обнаружили, что регистровая ИС работает неустойчиво, причем на более высокой частоте сбоев меньше. Из-за этого дефекта почти на 1,5 года задержались новые разработки у нас (МВК “Эльбрус-2”) и в НИИЦЭВТ (высокопроизводительные модели ЕС ЭВМ). Причина же крылась в неверно скопированном с аналога размере базовой области у одного из транзисторов. После замены регистровой ИС процессоры заработали...»

В этих кратких замечаниях В.С. Бурцев фактически отметил очень важный момент – копирование топологии зарубежных ИС под отечественную технологию не дает никаких гарантий и чревато большими неприятностями. В СССР был уже печальный опыт копирования зарубежной серии SN-51 при разработке ИС100 в НИИ «Пульсар». Но был и отличный собственный опыт разработки в НИИМЭ ИС серии К138 (12 типов ИС) с быстродействием 1,9 нс как базовый логический элемент для НИИЦЭВТ.

На вопрос корреспондента газеты: «А все-таки был момент, когда мы опережали США в производстве ИС?» – академик К.А. Валиев ответил: «Однозначно сказать трудно. Я помню такой эпизод: во время потепления наших отношений с США (это было в самом конце 60-х) я и В. Колесников (1-й замминистра электронной промышленности) поехали в командировку в Америку, чтобы получить лицензию на производство ИС для телевизоров. На самом деле телевизоры были лишь прикрытием. Мы хотели познакомиться с американским производством. С собой мы привезли образцы ИС высокоскоростных серий. И, когда американцы сравнили их со своими, оказалось, что они практически полностью взаимозаменяемы. Получается, что в то время мы шли, как говорится, ноздря в ноздю. Когда говорят, что мы копировали американские технологии, то явно лукавят...»

Главный специалист ОАО «Ангстрем» Борис Михайлович Малашевич в своей статье по истории микроэлектроники в СССР отметил явные успехи НИИМЭ в области создания сверхбыстродействующих ИС ЭСЛ типа.

Если быть совсем точным, К.А. Валиев в США показал ИМС, срочно сделанные в отделе № 22 НИИМЭ, но собранные в корпус в цехе 03 завода «Микрон». Кристаллы ЭСЛ типа с  $t_{зр} = 1,5$  нс на логический вентиль изготавливались по оригинальной оте-

чественной технологии с точной локализацией (по современной терминологии – самосовмещением и самоформированием) пассивных и активных областей базы и эмиттера на сверхтонких диффузионных слоях. Правильнее было бы назвать показанные в США схемы не микроновскими, а схемами отдела № 22 НИИМЭ. Именно они и положили начало серии 500 сверхбыстродействующих ИС ЭСЛ типа для ЕС ЭВМ «Ряд-2», а затем и серий 100 и 700 в корпусах других типов для МВК «Эльбрус-2».

Академик А.И. Савин в одной из своих статей подвел итог событиям тех лет: «В результате многие перспективные с точки зрения архитектуры решения ЭВМ, которые предлагал последователь С.А. Лебедева В.С. Бурцев, не могли быть вовремя реализованы из-за отсутствия должной элементной базы, хотя эти решения опережали иностранные машины. То же произошло и с персональными компьютерами. Отсутствие миниатюрных ИС вкуче с запретом на применение импортной элементной базы привело к отставанию и в этой области. В конце 80-х гг. стало очевидным, что ситуацию надо менять. И на нашей фирме, и в Зеленограде сложилась концепция мини-фабрик...»

Руководители НПО «Научный центр» Ю.Н. Дьяков, А.В. Пивоваров, А.А. Васенков по поводу мини-фабрик высказались так: «Учитывая все возрастающую ответственность НЦ за судьбы и перспективы отечественной микроэлектроники, при НЦ в 1987 г. было организовано подразделение перспективных исследований (ППИ) – руководитель д. т. н. С.А. Гаряинов, в задачу которого входило рассмотрение на конкурсной основе проектов в области микроэлектроники, превосходящих мировой уровень. Был объявлен всесоюзный конкурс, создана межведомственная комиссия, состоящая из известных ученых. В результате было рассмотрено много интересных проектов. 20 проектов было принято к реализации...»

Реализация собственно проекта мини-фабрики начиналась в 1991 г. в ППИ НПО «Научный центр» по НИР «Гора». Руководил комплексной работой Станислав Александрович Гаряинов. На совещании в НПО «Комета» были выбраны два конструктивно-технологических базиса изготовления БИС. Эпипланарную технологию КМОП должен был внедрить участник конкурса А.А. Щербинин из НИИМЭ.

В основу биполярной технологии был положен всесоюзный конкурсный проект Н.М. Луканова. Название этого проекта – «Новые конструкции и технологические маршруты изготовления полностью самосовмещающихся биполярных субмикронных и алигатомных транзисторных структур для сверхбыстродействую-

щих УБИС – элементной базы гигабитных систем обработки информации». Этот проект фактически начал осуществляться временным творческим коллективом (ВТК-7) в ОНИЛ на кафедре ФТИМС МИЭТа, которую в 60-х гг. создал как кафедру ИПС и возглавлял до 1977 г. К.А. Валиев, и в подразделениях НИИМЭ с 1988 г. По решению дирекции НПО НЦ кураторами работы были назначены ректор МИЭТа, зав. кафедрой ФТИМС Виталий Дмитриевич Вернер и директор НИИМЭ Александр Эмильевич Нестеров.

Профессор В.Д. Вернер вспоминал: «Было решено создать учебно-научную лабораторию с полным технологическим циклом, включая технологию “чистых” комнат. С помощью предприятий НПО НЦ эту задачу удалось решить. Была создана единственная в СССР учебно-научная лаборатория технологии ИС. Коллектив участников этого проекта получил (за 1986 г.) золотую медаль ВДНХ (руководитель лаборатории Н.М. Луканов)».

Директор НИИМЭ А.Э. Нестеров (выпускник кафедры ИПС МИЭТа и активный помощник в создании учебно-научной лаборатории) был очень заинтересован в перспективной разработке и регулярно проводил совещания по ходу выполнения работ по реализации проекта.

По настоянию Ю.Н. Дьякова в раздел «Организация работ по проекту» Н.М. Луканова был введен пункт для усиления важности проекта, который касался выполнения его в сжатые сроки (1988–1991 гг.) «при условии отношения руководства министерства МЭП СССР, НПО “Научный центр”, базового предприятия и МИЭТа к поисковой работе как к наиболее важной и приоритетной для отрасли и страны».

Ответственным куратором группы от НИИМЭ был назначен опытный технолог и руководитель большого научного отделения Владимир Николаевич Дягилев. Члены коллектива получали дополнительную зарплату от ППИ НЦ (150 руб. в месяц).

В СССР был уже известен метод получения монокристаллического сплава Ge, легированного Si, в НИИ-35. Дипломный проект Р.Д. Тихонова «Получение монокристаллического сплава германия с кремнием, пригодного для изготовления полупроводниковых приборов» был выполнен в 1960 г. в МЭИ под научным руководством О.В. Сопова. Тогда работы в этом направлении только начинались.

В 1975 г. по согласованию с директором НИИМВ в отдел № 22 был переведен начальником лаборатории специалист по гидридной эпитаксиальной технологии Николай Васильевич Алешин.

Он должен был начать поисковые работы по созданию сверхтонких GeSi эпитаксиальных структур.

Разработка проекта в НИИМЭ в 1988 г. с перспективой применения сплава SiGe началась успешно, но внезапно вмешались силы сверху, которые привели к отставке директора А.Э. Нестерова и, как следствие, к прекращению работ по реализации проекта. *«Кто-то» выстрелил точно*, и в России не появились новые ультрабыстродействующие ИС для противоракетного щита следующего поколения. И время было подходящим – начиналась перестройка.

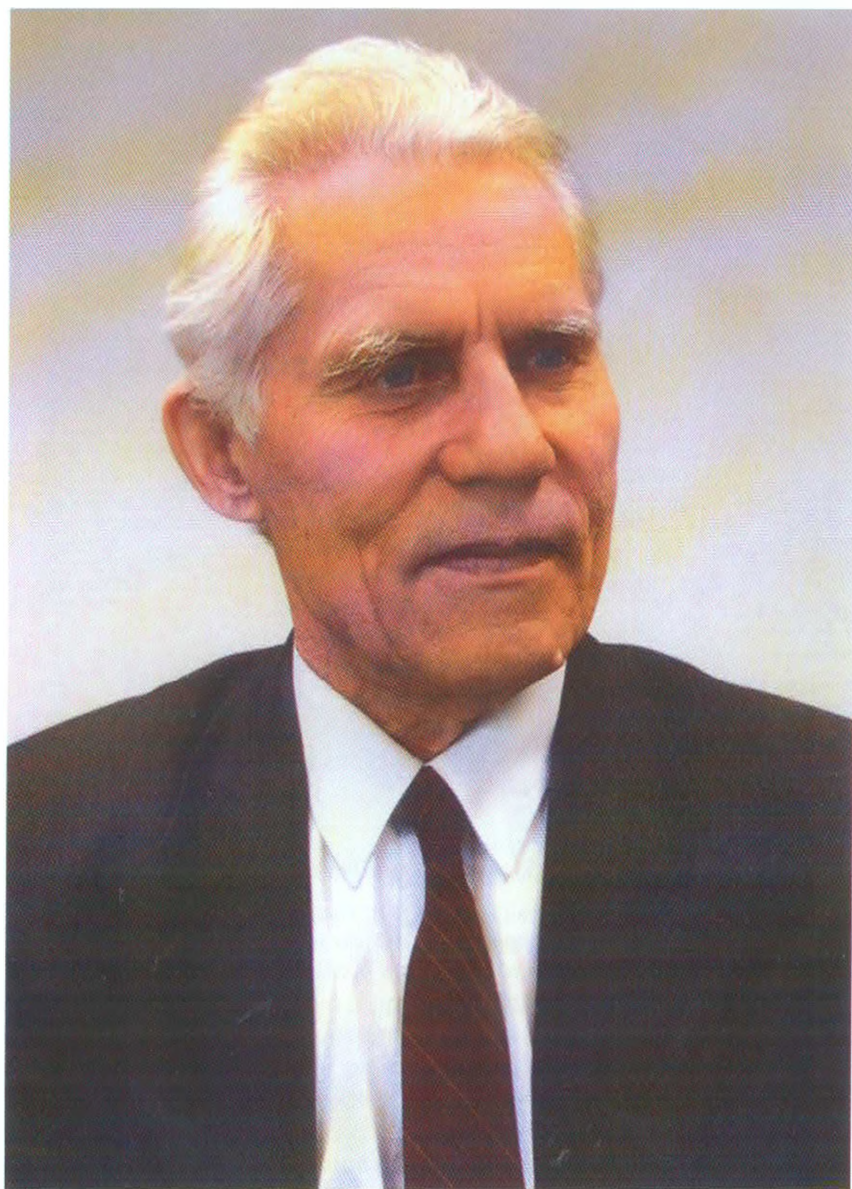
А сейчас, в 2014 г., США и Европа строят свои суперкомпьютеры с быстродействием в тысячу раз большим и с  $t_{\text{пр}} = 2-3$  пикосекунды на базовый логический вентиль, используя ультратонкие гетероструктуры с активной областью базы из сплава SiGe.

Успехи, достигнутые в НИИМЭ в 1966–1975 гг. в процессе разработки сверхбыстродействующих ИС для высокопроизводительных моделей ЕС ЭВМ («Ряд-2»), систем автоматики, работающих в реальном масштабе времени, системы «Эльбрус-2», а также специализированных систем обработки сверхбольших массивов информации, получаемых из космических объектов, действительно очень впечатляли.

Вспоминая работу в НИИМЭ и как бы охватывая сделанное человеческим разумом и руками, К.А. Валиев так подвел итог своей деятельности, а заодно и деятельности предприятия: «Нас вдохновляло чувство того, что мы участвуем в работе национального масштаба, имеющей для огромной державы СССР сравнимое, например, с ядерной программой значение. Наши прямые связи простирались по всей территории СССР, на наших ИС строилась важнейшая для страны аппаратура. Причастность к таким программам играет огромную вдохновляющую роль. Я счастлив, что мне удалось участвовать в такой программной работе, как создание микроэлектроники в СССР».

Свою причастность к решению технических и научных проблем века и востребованность для страны чувствовали и многие из тех соратников, кто непосредственно работал в НИИМЭ с талантливым руководителем и организатором эффективной научной школы академиком К.А. Валиевым.





Академик К.А. Валиев. 2001 г.





Академик К.А. Валиев и Президент РФ В.В. Путин после вручения Валиеву Государственной премии РФ. Москва, Кремль. 2006 г.



*Профессор*

**Г.Г. Казеннов**

## **МЫ НИКОГДА НИЧЕГО НЕ КОПИРОВАЛИ**

Эти воспоминания охватывают период моей работы в НИИ молекулярной электроники с 1965 по 1975 г. Именно в эти годы зеленоградская промышленность развивалась наиболее динамично. На примере работы одного предприятия видно, как много было сделано в столь короткий, по историческим меркам, срок.

### **А вот и сорок первый!**

На работу в НИИМЭ я поступал в ноябре 1964 г., и, когда вошел в отдел кадров, кто-то из его сотрудников сказал: «А вот и сорок первый». Не знаю, было это сказано в шутку или нет, но я действительно оказался в числе первых сотрудников НИИМЭ.

Тогда директором института был И. Гуреев, о котором мои сослуживцы знали только то, что он по специальности строитель и, кроме того, экс-чемпион Прибалтийского военного округа по боксу.

Естественно, что он и занимался вопросами строительства основного корпуса НИИМЭ в Северной зоне Зеленограда. А все сотрудники института в то время ходили на работу в сапогах и как могли помогали строителям.

Организация научной работы началась в марте 1965 г. с приходом нового директора Камиля Ахметовича Валиева, тогда молодого доктора наук.

Одновременно им была поставлена задача освоить планарную технологию изготовления транзисторов как основу для последующего изготовления интегральных схем и организовать массовое производство транзисторов «Плоскость» с военной приемкой.