

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОРЫВЫ В СОЗДАНИИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Ретроспективный исторический анализ тенденций развития радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) выявляет лидирующую роль технологии производства. Произошедшие рубежные изменения в технологии – технологические прорывы – стали качественным изменением физической сути РЭА.

Изобретение в 1948 году полупроводникового транзистора стало отправным пунктом, с которого можно отсчитывать начало перманентного технологического приоритета в области разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры. Главная задача создания РЭА предстала в таком ракурсе, когда актуальным оказалось не "что делать?" (идей на этот счет было с избытком), а "как делать?". Последний вопрос можно считать основным содержанием понятия "технология", причем в обобщенном смысле, который для аппаратуры начинается с того, "как проектировать?" и кончается результирующим "как производить?". И не случайно квинтэссенция любого технологического патента на изобретение заключается в сакраментальном "know how", но уже без вопроса, ибо это одновременно и секрет производства, и самая сильная защита интеллектуальной собственности, и, наконец, вожделенная победа над конкурентами.

Поскольку основой аппаратуры является компонентная база, революционное изменение технологии от электровакуумных активных элементов (радиоламп) к изготовлению полупроводниковых транзисторов (технология твердого тела) можно признать настоящим технологическим прорывом в области создания элементной базы РЭА.

Но даже на уровне аппаратуры, создаваемой на электронных ламах и производимой серийно, актуальным было требование проектировать ее с ориентацией на технологию изготовления, что вызвало необходимость решения целого ряда сопутствующих задач. Поэтому в октябре 1948 года Постановлением Правительства СССР в составе министерства авиационной промышленности был организован Научно-исследовательский технологический институт (НИТИ-18). Его деятельность была направлена на решение следующих первоочередных задач:

- конструкторско-технологическая отработка электрорадиоизделий, элементной базы РЭС;
- конструкторско-технологическая отработка средств радиолокации;

В.Шубарев, д.т.н., проф.

- разработка контрольно-измерительной аппаратуры;
- разработка новых технологических процессов физико-химического направления, в том числе производства печатных плат, электрохимических и органических покрытий.

В связи с развитием методов проектирования аппаратуры, реализуемой на весьма небольших по физическому объему активных компонентах – транзисторах, – значительно возросла концентрация электронных функций в каждом конструктивном элементе – плате, блоке. Анализ функционального состава аппаратуры позволил выделить некоторые, достаточно простые, повторяющиеся операции, которые возможно было унифицировать для различных устройств аппаратуры, практически, всех классов. Теперь, если к функциональной унификации добавить конструктивную, причем производить такие изделия по базовым технологическим процессам, то эта логическая последовательность для электронной аппаратуры окажется революционным технологическим решением. Сущность такого подхода, предложенного НИТИ-18, состояла в разукрупнении РЭА путем создания рядов **унифицированных функциональных узлов (УФУ)**, реализующих типовые схемотехнические функции на типовых конструктивах, производимых по типовой технологии. Иными словами, была сформулирована идея построения конструктивов, ориентированных на заданную технологию производства или построение технологичных конструкций. Под технологичностью изделия следует понимать его свойства, обусловленные техническими решениями, принятыми при разработке и определяющими возможность применения наиболее эффективной технологии изготовления, технического обслуживания и ремонта при обеспечении заданных тактико-технических требований.

Унифицированные функциональные узлы (рис.1) позволили проектировать электронную аппаратуру различных классов на идентичных схемотехнических и конструктивно-технологических элементах, использовать одни и те же технологические операции монтажно-сборочных работ и общие конструктивы блоков аппаратуры. Создание рядов унифицированных функциональных узлов стало важнейшей вехой в истории отечественной радиопромышленности, организации отраслевой и межотраслевой унификации радиоэлектронной аппаратуры. Фактически, для того вре-

мени это был **первый технологический прорыв** в проектировании и производстве радиоэлектронной аппаратуры. Основателями этого направления признаны к.т.н. В.П.Сухомехов, главный конструктор, к.т.н., Б.А.Брук, д.т.н, профессор П.И.Овсищер.

Функционально-узловой метод проектирования стал основой создания РЭА практически всех классов, УФУ серийно производились на Новгородском радиозаводе. Всего в НИТИ-18 было разработано 92 наименования узлов. Размещаемые на конструктивах узлов схемотехнические функции по нынешним временам были весьма несложными: триггер, мультивибратор, формирователи импульсов, эмиттерные повторители, диодные сборки и др. Из этих узлов создавали аппаратуру более 120 предприятий отрасли.

Дальнейшее естественное эволюционное совершенствование технологии компонентной базы привело к созданию интегральной схемы. Идея разработки интегральных схем родилась из анализа технологии производства дискретных транзисторов, которая предусматривала изготовление достаточно большого количества приборов на единой подложке в одном технологическом процессе. Затем эта подложка разрезалась на отдельные кристаллы и годные кристаллы размещались каждый в отдельный корпус. Физический объем кристалла транзистора составляет не более $0,1 \text{ мм}^3$, а объем конструктива, в который размещается этот кристалл, увеличивался более чем на два порядка. Напрашивалось очевидное решение – соединить необходимое число транзисторов прямо на подложке, т.е. "синтегировать" их в едином конструктиве.

В связи с очевидной технологической перспективой развития отечественной РЭА в конце 1950 начале 1960-х годов наиболее острой оказалась проблема технологического развития компонентной базы РЭА. Существовавшее в это время в стране ведомственное разделение на разработчиков и производителей компонентной базы аппаратуры (бывшее министерство электронной промышленности – МЭП) и приборостроителей (бывшее Минрадиопром – МРП) стало основанием для создания в МЭП Центра микроэлектроники (г. Зеленоград) [1], где разрабатывался и производился основной объем отечественных интегральных схем (ИС).

В это же время перед создателями РЭА стояли свои специфические технологические задачи. В первую очередь, сюда следует отнести проблемы проектирования и совместимости больших систем, создание устройств коммутации (печатные платы, разъемы, кабели, шлейфы), конструктивные задачи (узлы, модули, блоки, стойки, шкафы, пульта), специфичные для различных классов РЭА (наземная, стационарная, возимая, бортовая, морская) и, наконец, задачи серийного производства (специальное технологическое оборудование – СТО, контрольно-измерительная аппаратура – КИА, монтажно-сборочные работы, производственные испытания). Очевидно, что для решения этих задач создания РЭА требовались современные технологические процессы и приемы.



Рис.1. УФУ типа "Элемент-2"

С целью своевременного и квалифицированного решения проблем проектирования и производства РЭА в МРП было принято решение о создании технологического центра отрасли на основе ленинградского НИТИ-18. Основателем и организатором отечественного технологического центра был директор НИТИ-18 к.т.н. О.А.Пятлин, который привлек к работе над этим проектом "мозговой трест" в составе д.т.н., профессора В.В.Новикова, к.т.н. Б.А.Брука (главного конструктора рядов УФу), д.т.н., профессора П.И.Овсищера, к.т.н. М.П.Чудаковского, к.т.н. В.А.Ильина и других ведущих специалистов.

Созданный как центр технологий проектирования и производства РЭА ЛНПО "Авангард" должен был обеспечить разработку:

- конструктивно-технологических решений по проектированию РЭА с ориентацией на автоматизированные методы;
- базовых технологий производства РЭА;
- базовых технологий производства изделий специальной микроэлектроники;
- технологий и аппаратуры контрольно-измерительных процессов;
- специального технологического оборудования для оснащения разрабатываемых технологий;
- нормативных документов, обеспечивающих условия для широкого применения разрабатываемых технологий.

Кроме того, в составе центра следовало создать учебную структуру по переподготовке научно-производственных кадров отрасли для работы с новыми технологиями.

Наряженная работа в направлении достижения названных целей позволила уже к середине 1970-х годов реализовать структуру ЛНПО "Авангард" в составе:

- Научно-исследовательский технологический институт (разработка всех технологий проектирования и производства РЭА, в том числе микроэлектронных);
- опытный завод "Импульс" (производство СТО и КИА);
- серийный завод "Компонент" (производство изделий специальной микроэлектроники);

- СКТБ "ТРУД" (разработка технологий организации производства РЭА);
- ЛГПИ – проектный институт (проектирование предприятий по производству РЭА);
- два филиала в Киеве (проектирование СТО);
- филиал в Ташкенте (КБ и серийный завод по производству специальных изделий микроэлектроники);
- филиал в Ленинкане (технологии коммутации РЭА – кабели, жгуты, шлейфы);
- филиал в Хмельницком (технологии производства печатных плат, в том числе производство гальваноавтоматов);
- Институт повышения квалификации конструкторов и технологов.

ЛНПО "Авангард" приказом министра радиопромышленности был определен базовой организацией по стандартизации и унификации во всех закрепленных направлениях. В результате создаются комплекты нормативных документов, устанавливающих требования и технические условия по однородным группам продукции, а также типовые технологические процессы их производства. Особое внимание уделяется созданию отраслевой системы обеспечения технологичности изделий, которая должна быть заложена уже при разработке радиоэлектронной продукции с целью использования наиболее эффективной технологии ее производства.

В ЛНПО "Авангард" была создана концепция и разработана нормативно-техническая документация [2,3] на новый класс комплектующих изделий специальной микроэлектроники РЭА – **микросборки**. Основу идеи построения микросборки составляет применение в ее конструкции, в едином корпусе (рис.2), тонко- и толстопленочных методов коммутации, бескорпусных полупроводниковых приборов, а также изделий функциональной электроники, в которых используются пограничные принципы реализации необходимой функции между электронными процессами и иными физическими явлениями (магнитоэлектроника, оптоэлектроника, акустоэлектроника, криоэлектроника и др.) (рис.3). Особо следует выделить микросборки СВЧ-диапазона (рис.4), поскольку их конструкции при использовании микрополосковой техники позволили резко снизить массогабаритные характеристики СВЧ-трактов аппаратуры. С идеологической точки зрения синтезированный термин "микросборка" содержательно характеризовал основную

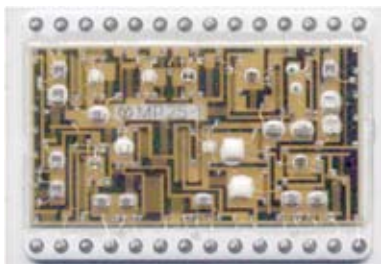


Рис.2. Тонкопленочные микросборки



Рис.3. 40-канальная гребенка фильтров на поверхностных акустических волнах (ПАВ)

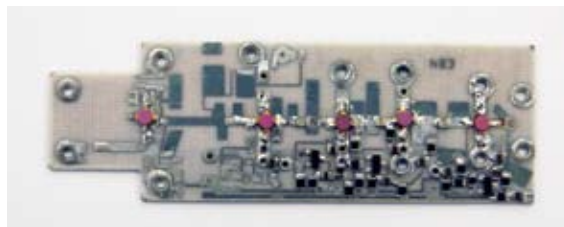


Рис.4. Микрополосковая СВЧ-микросборка

технологии – "микро" и отражал технологическую окраску аппаратурной принадлежности – термин "сборка".

Опыт создания радиоэлектронной аппаратуры различных классов на предприятиях МРП позволил сформулировать концепцию **комплексной миниатюризации аппаратуры** как метода конструктивно-технологического проектирования РЭА с использованием ИС широкого применения, микросборок, изделий функциональной электроники, прогрессивных средств коммутации, автоматизированных методов сборки, контроля и монтажа электронных модулей. Комплексная миниатюризация РЭА привела к радикальному уменьшению массы, габаритных размеров, энергопотребления, материалоемкости, а также способствовала повышению надежности технологичности аппаратуры и улучшению тактико-технических характеристик. Фактически, это был **второй технологический прорыв** в отечественной радиопромышленности.

Работы технологического центра радиоаппаратостроения – сегодня ЛНПО "Авангард" – по комплексной миниатюризации РЭА были высоко оценены правительством страны. За создание рядов микросборок, технологии их производства, комплектов НТД и организацию серийного производства творческому коллективу ЛНПО "Авангард" была присуждена Государственная премия СССР. За комплекс работ по технологии проектирования и производства устройств функциональной электроники д.т.н., профессору В.В.Новикову была присуждена первая в РФ Государственная премия по науке и технике.

Для целей комплектации аппаратуры различных классов серийное производство микросборок общим объемом выпуска более 2 млн. шт. в год было организовано на шести заводах, в 35 цехах и участках.

Не менее актуальной технологической задачей проектирования РЭА является и конструирование элементов аппаратуры

от уровня функционального узла до блока, стойки, шкафа. Сохраняя традиционную преемственность унификации, но, перенося ее на конструктивы более высоких уровней, разработчики ЛНПО "Авангард" к 1980-м годам пришли к унификации несущих конструкций всех классов аппаратуры и к формированию системы **базовых несущих конструкций** (БНК) в соответствии с единым размерным рядом (рис.5). Развитие разработок в области БНК велось в первую очередь для обеспечения наиболее перспективных радиоэлектронных средств: единой системы ЭВМ, аппаратуры управления воздушным движением и навигации, автоматизированных информационных систем и систем управления, аппаратуры радионавигации морского флота (рис.6). К началу 1990-х годов разработка новой современной системы БНК была завершена.

Следующим шагом в технологии стало интегрирование БНК с унифицированными электронными функциями, которые необходимо размещать на этих конструктивах. Результатом такого совмещения явились радиоэлектронные функциональные узлы (РЭФУ), унифицированные, стандартные и специализированные стандартные электронные модули (УЭМ, СЭМ, ССЭМ) [4]. Размещение все более сложных функций РЭА на базовых несущих конструкциях различных уровней [5] позволило получить электронные модули соответствующих уровней функциональной сложности (блок, шкаф), объединение которых на самом высоком уровне – радиоэлектронная система, радиоэлектронный комплекс – вызвало, в свою очередь, необходимость решения вопросов их совместимости по различным критериям: конструктивным, функциональным, коммутационным, информационным.

Таким образом, если учесть все вышеназванные технологические аспекты проектирования РЭА, то эти предпосылки складываются в стройную законченную концепцию, названную **магистрально-модульным методом** создания аппаратуры, основным содержанием которого являются:

- базовые несущие конструкции;
- унификация и стандартизация функционального состава на всех возможных уровнях разукрупнения РЭА;
- модульное разукрупнение аппаратуры;
- совместимость электронных модулей всех уровней по всем необходимым критериям;
- базовые технологические процессы изготовления (в т.ч. монтажа, сборки, контрольных измерений, испытаний) электронных модулей всех уровней.

В таком полном представлении магистрально-модульный метод создания РЭА следует признать **третьим технологическим прорывом**.

Реализация магистрально-модульного метода проектирования РЭА предусматривает мощную технологическую поддержку реального производства аппаратуры, создаваемой по этому методу. Содержательной основой такого производства должно быть переоснащение отрасли, состоящее в организации комплексно-механизированных и гибких автоматизированных производств

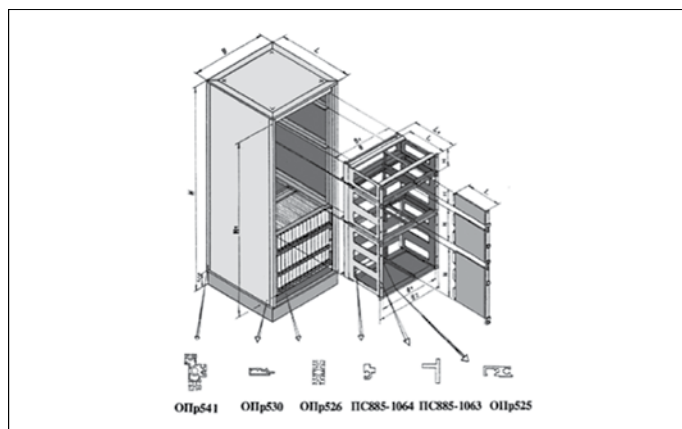


Рис.5. Единый размерный ряд базовых несущих конструкций в системе шкаф-блок-узел

(КМП, ГАП), создаваемых с использованием автоматизированного специального технологического оборудования (СТО). Следуя идее магистрально-модульного принципа для проектирования РЭА, и в части производства ставилась задача построения КМП и ГАП также из модулей, но технологических на основе автоматизированного СТО, причем проектирование КМП и ГАП должно производиться с помощью САПР технолога-сборщика.

Разработку автоматизированного СТО пришлось начать, как ни странно, с упорядочения требований к конструктивам изделий электронной техники, электротехники, дискретных электrorадиоэлементов и ИС, поскольку эти изделия имели свыше 1700 типоразмеров в 15 конструктивных разновидностях. В ЛНПО "Авангард" был разработан ГОСТ 20.39.405 "Общие технические требования к изделиям электронной техники, электротехники и микросборкам", который позволил систематизировать типоразмеры изделий, комплектующих РЭА.

Целью технологического переоснащения предприятий отрасли было создание новых технологических процессов, обеспечивающих автоматизацию сборки электронных модулей различных уровней с применением перспективной элементной базы, сокращение расхода дорогостоящих и дефицитных материалов, создание безотходной и "безлюдной" технологии, не оказывающей отрицательных воздействий на человека и окружающую среду.

Достигнутым результатом переоснащения отрасли было создание на предприятиях 92 специализированных КМП и ГАП (це-

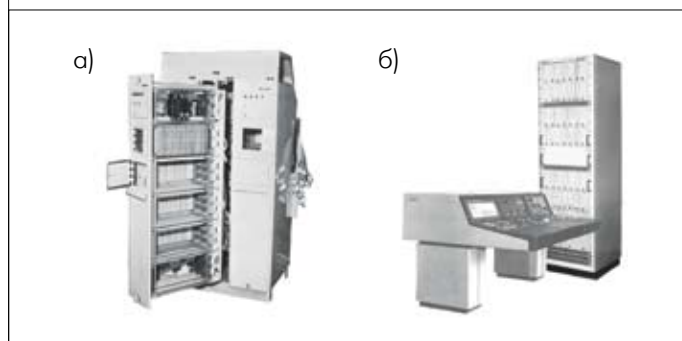


Рис.6. Различные виды БНК: а) для наземной РЭА, б) для морской РЭА

хов, участков), на которых было внедрено 1492 единицы СТО, что позволило повысить производительность труда на 36%.

Позднее актуальным оказался вопрос технологического перевооружения не только предприятий одной отрасли (МРП), но и других отраслей, в которых осуществлялись работы приборостроительной ориентации. Для этих целей по Постановлению Правительства СССР был организован Межотраслевой научно-производственный комплекс (МНТК) "Радиотехномаш" с головным предприятием ЛНПО "Авангард". Руководителем МНТК назначается к.т.н., профессор В.П.Ковешников, генеральный директор ЛНПО—ОАО "Авангард" с 1979 по 1998 год. В состав МНТК входило 53 предприятия оборонных и смежных отраслей промышленности. Комплекс координировал деятельность более 120 предприятий 21 отрасли, что позволило разработать 217 типов специального технологического оборудования, создать более 30 видов новых материалов для производства печатных плат и электронных модулей, организовать серийное производство унифицированных базовых несущих конструкций. Прямая экономическая эффективность деятельности МНТК "Радиотехномаш" составила более 300 млн. руб. в ценах 1989 года, и это не учитывая эффекта технического, поскольку затруднительно определить в денежном выражении, особенно в перспективе, достигнутое сокращение сроков разработки новых видов РЭА, причем двойного назначения, повышение производительности труда, уменьшение трудоемкости изготовления аппаратуры, повышение экологичности производства и пр.

Реализованное технологическое переоснащение и перевооружение предприятий радиоприборостроения следует принимать как отдаленный эффект третьего технологического прорыва — создания магистрально-модульного метода проектирования РЭА.

Перефразируя известное изречение относительно побудительной активности бизнеса, можно смело утверждать, что технология также "...не знает покоя ни днем, ни ночью...", и, в силу этого, можно прогнозировать неизбежное появление новейшего технологического откровения, позволяющего продолжить вечное движение по философской спирали развития к все равно недостижимому технологическому идеалу. Именно такой ближайшей технологической целью возможно полагать МИКРОСИСТЕМОТЕХНИКУ (МСТ) в качестве дальнейшего развития микроэлектронной технологии, но теперь в непосредственной связи с физическими, химическими и биологическими параметрами среды, информация о которых преобразуется в электронную форму для последующего направленного управления средой. Изделия МСТ открывают новые области применения такой технологии в интеллектуальных информационных системах, обеспечивающих требуемое качество жизни и безопасности, являясь основой различных комплексов: газовой безопасности объектов промышленной, бытовой и социальной инфраструктуры; оперативного неконтактного контроля конструкционной безопасности зданий и сооружений (жилых домов, культурно-социальных объектов; транспор-

тных тоннелей, мостов, метрополитенов); неконтактного экологического мониторинга окружающей среды; оперативного неконтактного мониторинга сетей транспортирования энергоносителей, в особенности, магистральных трубопроводов.

Среди возможных физико-технологических направлений МСТ особо следует выделить акустоэлектронику, на принципах которой создаются первичные чувствительные элементы (ПЧЭ) в микроэлектронном исполнении для измерения: крутящего момента, акселерации, конструктивной деформации, давления газовой среды, гидростатического давления, температуры среды (прецизионно), угловой скорости. Такие ПЧЭ позволяют создавать микроминиатюрные устройства информационного интерфейса для управления специальными изделиями (с очевидной перспективой двойного применения) в транспортных устройствах, летательных аппаратах, роботах, подводных и космических средствах.

В среднесрочной и долгосрочной перспективе роль технологии в широком смысле не подлежит переоценке. Будущее РЭА мы связываем с таким развитием всех видов технологий, которое обеспечит выход отечественной РЭА на мировой уровень, а в некоторых областях электроники и выше него. Для этого необходима соответствующая ориентация базовых технологий: технологии проектирования РЭА — на исключительно автоматизированные методы; технологии изготовления компонентов РЭА — на микроэлектронные технологии с субмикронным разрешением и микросистемотехническими устройствами; технологий монтажно-сборочных работ — на роботизированные "безлюдные" производства; технологии магистрально-модульного метода проектирования РЭА — на интеллектуализацию БНК; технологии контрольно-измерительных операций — на исключительно автоматизированные методы; технологии проектирования СТО — на создание оборудования для применения в КМП и ГАП; технологии организации производств РЭА должны реализовываться исключительно на основе КМП и ГАП.

С твердым намерением добиться успеха в таких амбициозных планах мы связываем наши надежды реализовать очередной технологический прорыв, но уже в XXI веке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьев А.П. Становление советской "Кремниевой долины". — Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, вып.1, 1998.
2. ГОСТ 26975 — 86. "Микросборки. Термины и определения".
3. ГОСТ В 28431 — 90. "Микросборки. Общие технические условия".
4. ГОСТ Р 52003-2003 "Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения".
5. ГОСТ Р 51676 — 2000 "Конструкции несущие базовые радиоэлектронных средств. Термины и определения".

Новое поколение базовых несущих конструкций (БНК), выполненных из стального листа, удовлетворяет требованиям отечественных стандартов серии ГОСТ Р 50756, а также современным международным стандартам серии МЭК 60917 и МЭК 60297.

ИЗГОТАВЛИВАЕМАЯ ПРОДУКЦИЯ:

- корпуса, шкафы из листового металла с габаритными размерами до 2,5 м;
- распределительные электрощиты;
- коммуникационные шкафы и стойки 19”;
- системы электропитания.

НОВИЗНА!

Соответствие требованиям для применения в спецаппаратуре.

Совместимость метрической и дюймовой систем.

ПРЕИМУЩЕСТВА БНК ИЗ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ:

- сквозной цикл проектирования технологической подготовки и производства;
- автоматизированное производство с использованием высокоточного оборудования;
- электромагнитное экранирование Н-составляющей;
- цикл “разработка-производство” БНК составляет 2,5 месяца.

В настоящее время заказчиками централизованно поставляемых БНК являются более 30 предприятий РФ.

Сертификат соответствия качества производства ISO 9001-2001

