

Ключи к возрождению производства компонентов

российской силовой электроники

Часть 1

В статье приводится анализ причин неудовлетворительного состояния отечественной электронной компонентной базы. Рассмотрены политические и экономические аспекты развития этой важнейшей отрасли народного хозяйства начиная с 1991 г. Проанализированы государственные программы РФ по электронным компонентам. Приведены сведения о сегодняшнем состоянии электронной промышленности в России, а также система финансирования НИОКР в США. Представлены основные аргументы в пользу разработки отечественных унифицированных силовых модулей и узлов на базе гибридной технологии.

Саркис Эраносян, к. т. н.

sergera840@mail.ru

Немного истории

Прошло более 10 лет после проведения расширенного заседания военно-промышленной комиссии (ВПК) [1–3], на котором было принято решение об увеличении финансирования на создание новейших устройств для радиоэлектронных комплексов военного назначения. Высказывалось мнение, что отставание нашей страны в этой области от ведущих западных стран, в частности от США, весьма значительное [1], поэтому предлагалось заняться копированием лучших образцов зарубежных приборов с некоторым ухудшением технических параметров, но с надеждой на конкурентоспособность в части цены. Таким образом предполагалось замещать импортные компоненты [3], объем которых в изделиях силовой электроники стал по существу подавляющим.

В конце 1980-х гг. впервые были опубликованы сведения о разработках принципиально новых электронных компонентов для мощных силовых устройств. Поиск оригинальных решений привел к появлению нового класса приборов на основе так называемых «разумных» (Smart power) мощных интегральных схем. Это направление в мировой микроэлектронике оформилось к 1985 г. Предполагалось, что Smart power найдут широкое применение в автономных импульсных источниках питания, стабилизаторах напряжения в регуляторах скорости и управления электродвигателей и т. п. Прогнозировалось, что к 1992 г. общий объем продажи таких устройств мог бы достичь \$1,2 млрд. В дальнейшем, как показала практика, подобный оптимизм не оправдался. Такому образу развития событий способствовало, на взгляд автора, несколько причин:

- сравнительно невысокий, по современным воззрениям, уровень параметров мощных силовых ключей с преобладанием в их массе биполярных транзисторов;
- высокие цены (более \$100) на изделия Smart power как на очень сложные (зачастую заказные).

Действительно, эти причины сыграли свою негативную роль. Однако более правдоподобна другая

версия трудностей развития этого направления силовой электроники [4, 5]: имела место практическая незаинтересованность крупных компаний в развитии нового направления электроники. По сути, это вылилось в специфический «саботаж» работ по разработке изделий Smart power со стороны производителей дискретных («рассыпных») компонентов — диодов, транзисторов, микросхем и т. п.

Дело в том, что широкое развитие рынка интеллектуальных (интегрированных) силовых модулей (Integrated Power Modules, IPM) нового типа неизбежно привело бы к резкому сокращению выпуска дискретных компонентов и впоследствии выразилось бы в значительном снижении прибыли от продажи дискретных компонентов, а также от реализации уже разработанных устройств, построенных на их основе. Известно, что большинство крупных фирм, производящих дискретные элементы как в своих странах, так и по лицензиям во множестве других стран третьего мира, получают большую прибыль, практически используя технологию «вчера» с минимальными затратами на изготовление и рекламу.

В связи с этим надо признать, что Smart power несколько обогнали свое время. Фактически только через 20 лет эта технология и приборы IPM на ее основе стали внедряться в системы управления для электроприводов [6–8]. В частности, для них были разработаны инверторные платформы SEMIKUBE.

К 2012 г. мы наблюдаем резкое изменение в номенклатуре и качестве силовых модулей, построенных с использованием гибридных технологий. Новые сложные, функционально законченные изделия этого типа начали выпускать крупные фирмы, например SEMIKRON и Microsemi [9, 10]. К этим изделиям относятся специализированные модули очень большой мощности, которые стали разрабатывать и выпускать многие известные компании для конкретных массовых потребителей. Так, SEMIKRON анонсировала выпуск трехфазного инвертора типа SKAI POWER мощностью до 250 кВ·А в виде компактного IPM для электрического и гибридного электро-

транспорта. Модуль в специальном корпусе IP67 содержит силовую IGBT-секцию, датчики напряжения, тока и температуры, устройство управления и защиты, цифровой сигнальный процессор, фильтр электромагнитных помех, звено постоянного тока и радиатор жидкостного охлаждения.

Можно отметить новые силовые модули фирмы Microsemi [10] для очень широкого применения, которые основаны на различных комбинациях применения многих типов силовых приборов, которые синтезированы в одном типовом корпусе. Например, это APTCV50H60T3G (Full-Bridge), который содержит комбинации из приборов MOSFET и IGBT: Trench&Field IGBT Q1, Q3 и CoolMOS™ Q2, Q4, где Q1 и Q2 приборы образуют одну вертикаль моста, а Q3 и Q4 — другую. Совершенствуются силовые тиристорно-диодные модули. Среди них можно отметить серии модулей на напряжение 800–1600 В и токи до 90 А. Например, модуль MST90-16 (Thyristor/Diode/Modules) включает в себя последовательное соединение из двух мощных тиристоров, которые можно, в частности, объединить для встречно-параллельного включения. Отметим новые диодные сборки компании. Например, мост диодов Шоттки APTDC40H1201G (SiC Schottky Diode) имеет такие данные: $U_{RRM} = 1200$ В, $I_F = 40$ А при $+80$ °С. Совершенствуются и кремниевые диоды Шоттки. Так, освоено выпуск силовых сборок на напряжения 35–50 В типа CPT12035-CPT12050 (Schottky PowerMod). Каждый модуль состоит из двух диодов при разных комбинациях их соединений. Ток диода $I_{F(AV)} = 120$ А; импульсный ток $I_{FSM} = 1000$ А.

Необходимо сказать и об обычных выпрямительных кремниевых силовых диодах. В настоящее время начато производство мощных диодных модулей (Silicon Power Rectifier) типа SMD300. Эти модули имеют следующие характеристики: напряжение 200–1600 В, ток диода 300 А. Например, модуль SMD30016 имеет параметры: $U_{RRM} = 1600$ В, $I_{F(AV)} = 300$ А при $+130$ °С; максимальный импульсный ток $I_{FSM} = 5500$ А, $T_j = +175$ °С; падение напряжения на диоде $U_{FM} = 1,1$ В при $I_{FM} = 300$ А и $T_j = +25$ °С.

Новейшие разработки силовых приборов IPM позволяют с определенным оптимизмом надеяться на использование этих технологий для разработки отечественных интеллектуальных, гибридных силовых модулей на основе структур унифицированных узлов, например для систем вторичного электропитания (СВЭП).

Основные причины тяжелого состояния отечественной электронной отрасли

Чтобы оценить сегодняшнее состояние силовой электронной компонентной базы, которая разрабатывается и серийно изготавливается в России, проведем анализ Федеральных программ по электронной и радиоэлектронной промышленности. Надо отметить, что практически последние НИОКР из программ по разработке электронных компонентов, которые были начаты еще в СССР в рамках МЭП (Министерство электронной промыш-

ленности), были фактически завершены в 1996–1997 гг. Подчеркнем, что это были, без преувеличения, трагические годы, которые характеризовались тотальным безденежьем НИИ и серийных заводов по изготовлению электронных приборов.

По существу в эти и последующие годы государство оставило все структуры электронной отрасли без всякой помощи, которая была жизненно необходима для планового, постепенного перехода на работу в новых условиях, к так называемой рыночной экономике, как декларировали в то время специалисты по экономике, стоящие во главе правительства РФ. К сожалению, этим руководителям страны почему-то казалось, что сам рынок быстро все расставит по местам. Однако жизнь показала ошибочность этого утверждения.

В мире не было прецедентов одномоментной перестройки, когда в государстве вдруг происходит смена действующей в течение более 70 лет экономической системы (социализма) на другую (капитализм). При этом процедура такого перехода усугублялась отторжением ряда территорий, существовавших в рамках прежде единого государства (СССР). Надо признать, что действующая до измене-

ния экономической системы модель была неплохо сбалансирована в части разделения рынка (кооперации) промышленного и сельскохозяйственного производства по всей территории СССР и даже за его территорию с участием государства входящих в СЭВ (Совет Экономической Взаимопомощи).

В качестве некоторого оправдания этих действий правительства можно привести следующее обстоятельство. К 1990 г. сложилось тяжелое состояние всех отраслей производства — как в промышленности, так и в сельском хозяйстве. Валютно-резервные и стратегические запасы всех товаров и материалов практически были исчерпаны. Золотой запас СССР уменьшился десятикратно: с более чем 2000 т до 200.

Несмотря на денежную реформу в январе 1991 г. (изъятие из обращения самых крупных на тот момент 50- и 100-рублевых купюр) [11], а также на введение талонно-карточной системы [12], нормированного потребления основных продуктов и хозяйственных товаров в 1989 г., экономическое состояние СССР продолжало ухудшаться. В результате в последующие 10 лет произошел разгул инфляции. На рис. 1 приведен график изменения инфляции в РФ.

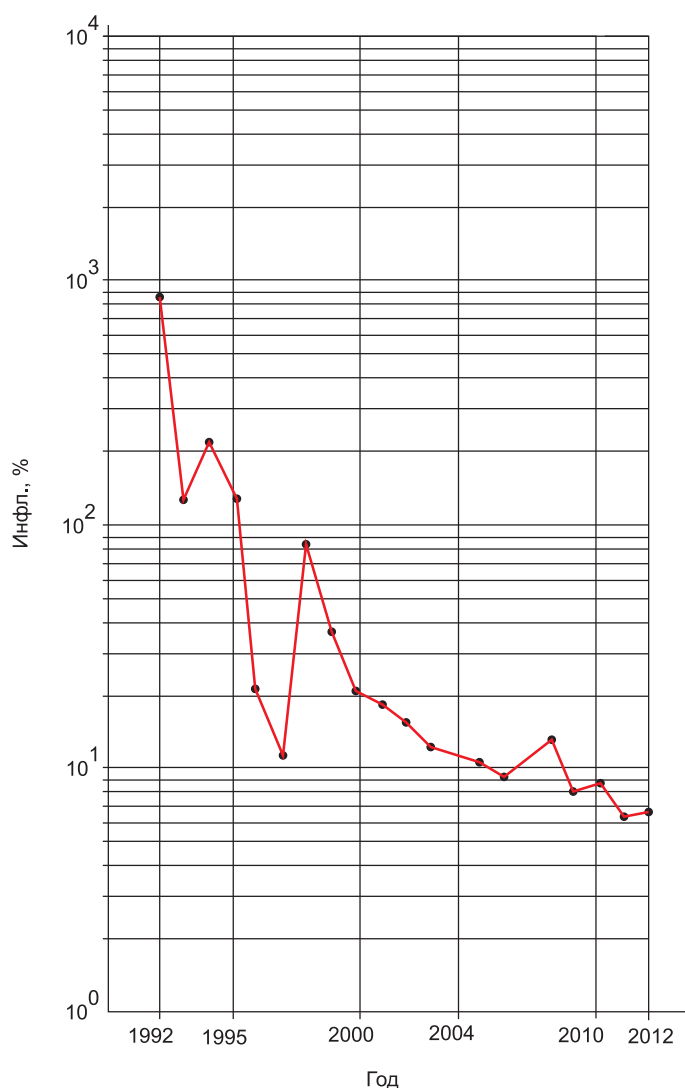


Рис. 1. Инфляция в РФ (по оси Y приведена величина инфляции (%) в конце каждого года в логарифмическом масштабе)

Теперь рассмотрим, как в эти экономически сложные для РФ годы проводились исследования в отрасли производства отечественных электронных компонентов. В 2003 г. Министерство промышленности, науки и технологий РФ (Минпромнауки) утвердило перечень НИОКР федеральной целевой программы «Национальная технологическая база» (НТБ) на 2003–2006 гг.». Программа состояла из трех разделов:

1. Технология новых материалов — стоимость работ 112 млн руб.
2. Электронная компонентная база — стоимость 272,63 млн руб.
3. Компоненты оптоэлектронной, лазерной и инфракрасной техники — стоимость 114,6 млн руб.

Нас, в основном, интересует раздел 2. Чтобы проще было анализировать результаты НИОКР, входящие в него, все работы по программе были сгруппированы в пять разделов по следующим научно-техническим направлениям:

- I Разработка сложных функциональных блоков (СФ-блоки) для вычислительной техники и систем обработки информации, как прикладного применения, так и универсальных.
- II Разработка и исследования физики полупроводниковых приборов и приборов СВЧ-электроники.
- III Разработка материалов и технологии проектирования СФ-блоков: для телекоммуникационного оборудования, электроприводов различного назначения, радиочастотных систем, а также наземной аппаратуры космического приборостроения.

IV Исследования и разработка по проблемам специфичности электронной компонентной базы для аппаратуры специального назначения.

V Разработка систем автоматизированного проектирования (САПР) СФ-блоков: элементной компонентной базы (ЭКБ), научно-методических рекомендаций центрам проектирования ЭКБ и САПР специализированных больших интегральных схем (СБИС).

Распределение средств по НИОКР, которые были заложены в программе НТБ, приведены в виде гистограммы на рис. 2.

На рис. 2 по одной оси Y приведена стоимость работ по каждой из групп научно-технического направления в миллионах рублей, а по другой оси — в миллионах долларов. Причем курс доллара к рублю был определен как средневзвешенная величина за 2003–2006 гг. Этот расчетный курс составил $1 \$ = 28 \text{ руб.}$ По оси X приведены значения доли (%) стоимости работ для каждой категории групп научно-технического направления относительно общей стоимости работ по разделу «Электронная компонентная база» (272,63 млн руб.), заложенной в программе НТБ.

К сожалению, никаких результатов выполнения этой программы автору найти не удалось. Следует заметить, что, например, стоимость одного НИОКР типа «Модуль Ф», в рамках которого проводились работы на предприятии ОАО ФЗМТ под руководством главного конструктора Шкарапута О. Л., составляет не менее 20–30 млн руб. Поэтому средства в 60–70 млн руб., которые выделялись на 7–9 пунктов отдельных НИОКР, являются

явно недостаточными. Не исключено, что контроль над выполнением этой программы был утрачен, ввиду того, что Минпромнауки было упразднено в 2004 г. На его базе было создано Министерство промышленности и энергетики Российской Федерации, которое в свою очередь 12 мая 2008 г. было упразднено, после чего было образовано Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг). В нем среди 20 департаментов есть Департамент радиоэлектронной промышленности, одной из функций которого является разработка ЭКБ. Причем из 47 пунктов основных задач этого департамента около десятка имеют отношение к разработке электронных компонентов. Один из них (п. 29) декларирует выполнение следующей задачи: департамент разрабатывает проекты технических заданий на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в отраслях промышленности, входящих в свою сферу деятельности. Надо отметить, что важность электронной промышленности до сих пор сильно недооценивалась всеми правительствами РФ: эту отрасль современного промышленного производства все время пытаются поместить в качестве департамента в различные министерства, которые объединяют со всеми другими, но не смежными по своей технической сути.

Такое же плачевное состояние финансирования работ существует в рамках фундаментальных научных исследований. В [13] академик Гуляев Ю. В. пишет, что в «Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008–2012 гг.» для финансирования различных направлений исследований (по темам элементная база микроэлектроники, наноэлектроники и квантовых компьютеров; материалы для микро- и наноэлектроники; микросистемная техника; твердотельная электроника) в сумме для структур РАН в 2012 г. предусматривалось финансирование в размере 282 352 млн руб., т. е. порядка \$9,4 млн. Иными словами, как утверждает академик, в масштабах всей страны по линии РАН государство готово поддерживать научные исследования по названному направлению в размере (стоимости) одного-двух десятков хороших измерительных приборов или одной хорошей экспериментальной установки.

В результате таких «лоскутных» затрат, при отсутствии специального федерального центра, в рамках отдельного министерства к настоящему моменту времени мы и имеем текущее состояние дел в такой важнейшей отрасли современной науки и производства, как создание электронных компонентов. Ряд фактов неблагоприятного состояния электроники в РФ приведен в [14]. В частности, отмечено, что объем производства продукции электронной промышленности России по сравнению с 1990 г. упал примерно в 46 раз к 2000 г. и в 9 раз к 2010 г.

Доля импортных функционально сложных БИС и СБИС в отечественной РЭА нового поколения сейчас превышает 90%. Это касается аппаратуры, используемой как для

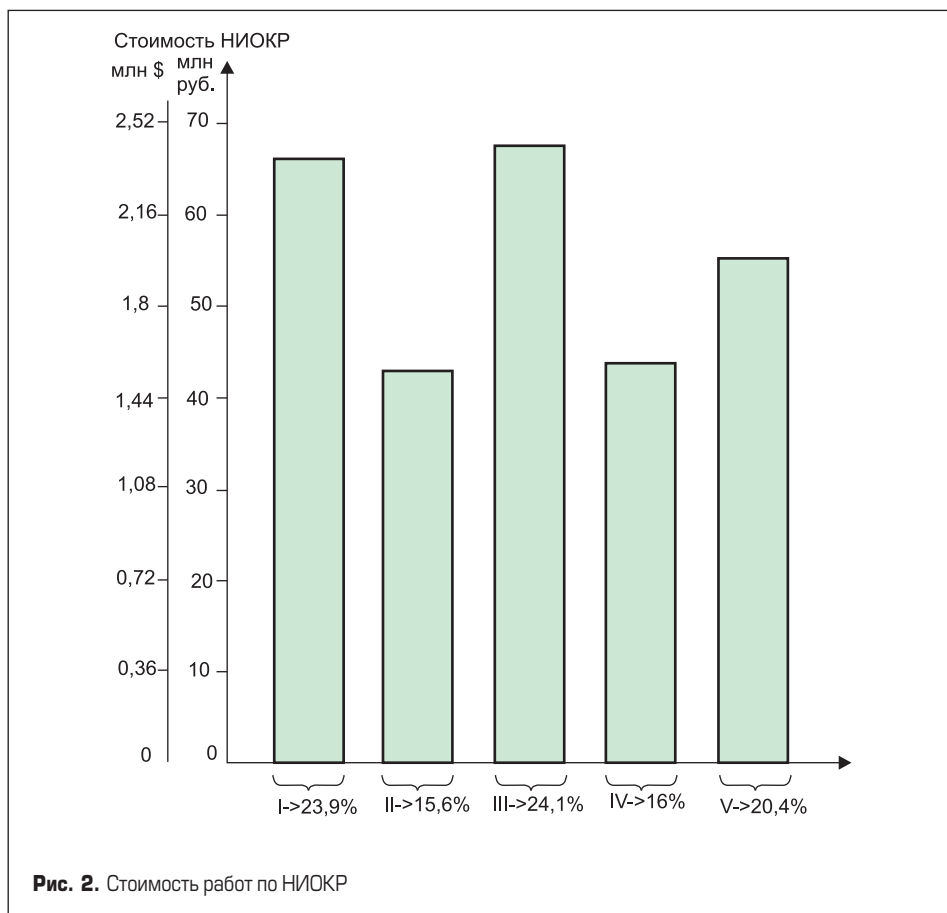


Рис. 2. Стоимость работ по НИОКР

вооружений, так и для военной и специальной техники (ВВСТ), определяющих национальную безопасность России. Серьезную опасность представляют производимые за рубежом СБИС отечественной разработки. В них могут закладываться недокументированные (специально встроенные) программные и аппаратные модули (кремниевые «тройки», «закладки» т. п.), которые могут приводить к изменению параметров РЭА, выходу из строя по внешним и/или внутренним командам, а также к передаче в эфир конфиденциальной информации во время эксплуатации [15].

Обратимся к мнению специалиста по электронным компонентам Ю. Борисова [16], который, работая в Минпромторге с 2004 г., был назначен в середине 2008 г. заместителем министра. Впоследствии, в мае 2012 г. Владимир Путин подписал распоряжение о назначении Ю. Борисова первым заместителем председателя Военно-промышленной комиссии при Правительстве России. Если в 80–90-х годах прошлого столетия технологическое отставание в микроэлектронике составляло одно поколение (в среднем — пять лет), то за первую половину 90-х мы отстали на несколько поколений (до 15 лет). В результате началось тотальное внедрение зарубежной ЭКБ во все сферы промышленности, как военные, так и гражданские.

Еще в 1990 г. средства ВВСТ, равно как и гражданская продукция, комплектовались на 100% отечественной компонентной базой. При этом объем серийных поставок всей номенклатуры ЭКБ (свыше 20 тыс. наименований) составлял порядка 104 млрд руб. в сопоставимых ценах. Сегодня при производстве военной и специальной продукции используется 65% импортной ЭКБ. С изделиями микроэлектроники ситуация еще хуже: импортные микросхемы составляют 90%. В результате стагнации электронной промышленности, которая происходила в последние 15–20 лет, элементная база отечественного производства сильно устарела и технически значительно отстала от мирового уровня.

Всего 3% из общего объема производимых компонентов, применяемых в продукции ВВСТ, было разработано после 1990 г. В основном же в спецтехнике используются электронные компоненты 80-х и даже 70-х годов. Общий уровень закупок ЭКБ в 2005 г. упал до 35,1 млрд руб., причем производство изделий отечественной микроэлектроники оценивается лишь в 1,2 млрд руб. Показательно, что затраты на разработку отечественной ЭКБ в 2005 г. составили только 1,5 млрд руб., а объем затрат на закупку и испытание ЭКБ иностранного производства — более 6 млрд руб. За последние семь лет (информация 2008 г.) российские предприятия и организации электронной промышленности в 2,6 раза увеличили объемы производства.

Однако рано говорить об успехах, поскольку производство электроники в России в основном базируется на импортных комплектующих. Мы еще планируем освоить технологический уровень 0,13 мкм, в то время как на Западе добиваются уже до уровня

0,022 мкм. В одном из интервью Ю. Борисов привел прогнозируемые параметры развития российской электроники. Ожидалось, что в 2011 г. объем реализации отечественной продукции электронной промышленности составит не менее 50 млрд руб., а технологический уровень изделий в серийном производстве позволит достичь топологических размеров 0,13–0,18 мкм. Это позволит обеспечить потребности отраслей экономики и обороны и уменьшить долю импортной ЭКБ в производстве радиоэлектронных средств. В интервью Ю. Борисова журналу «Энергия промышленного роста» он сообщил, что в качестве модели развития электронной промышленности принято решение о создании в России массового контрактного производства и сети «дизайн-центров». Эти центры должны решать двойную задачу: с одной стороны снизить риски, связанные с обороноспособностью России, с другой — создать экономически эффективный сегмент гражданской электроники. Прежде всего для таких видов унифицированной аппаратуры, как средства обработки информации, получаемой от различных датчиков и управления, контрольно-измерительная аппаратура, приемопередающие модули, силовая аппаратура, вторичные источники питания и т. п.

Созданы и работают два новых дизайн-центра. В 2008 г. к ним должно было добавиться еще четыре. К 2010 г. планировалось организовать производство в Нижнем Новгороде радиационно-устойчивой ЭКБ. Отметим здесь новый термин из разряда «англицизмов». Слово design [17] в русском переводе многозначно — проектирование, разработка, конструирование, синтез; проект, схема, чертеж; расчет; план; дизайн. Возможно, этот термин приживется в России. Но, если рассуждать по сути, то в прежние времена при каждом крупном серийном заводе всегда были подразделения в виде СКТБ (Специальное конструкторское и технологическое бюро) или СКБ (Специальное конструкторское бюро). Они занимались совершенствованием технологии производства серийных изделий, например полупроводниковых приборов, и устраняли возможные проблемы, которые всегда возникают в процессе серийного производства.

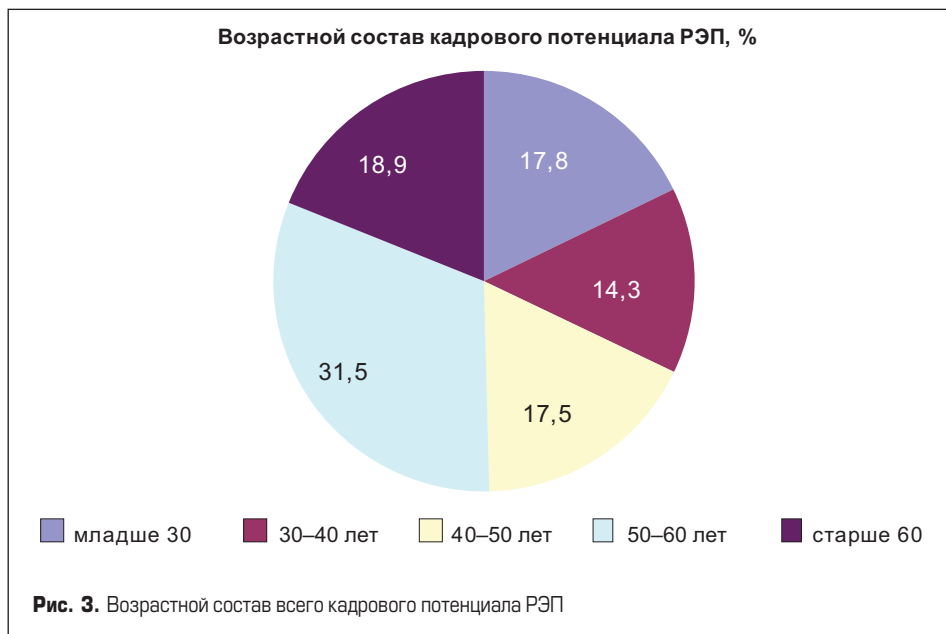
Одновременно с этим персонал СКТБ предлагал и разрабатывал новые изделия на основе компонентов и материалов, которые были задействованы в цепочке серийного производства. Например, для предприятия ЗАО «Электро-Петербург» в 1996 г. были поставлены опытные образцы силовых диодов с тонкой базой, теперь называемых Fast Diode. Они были разработаны и изготовлены в СКТБ ЭС «Электроника» при Воронежском заводе полупроводниковых приборов под руководством главного конструктора Д. М. Боднар. Поставленные опытные образцы диодов и диодных сборок имели следующие параметры: $U_{обр} = (600, 700, 800) В$, $I_{max} = 25 А$, $t_{восст} < 100 нс$, корпус КТ-43 (ТО-218). Благодаря этим высоким характеристикам диодные сборки были применены и успешно испытаны в опытном

образце источника бесперебойного питания, в силовом модуле квазирезонансного преобразователя [18]. Дмитрий Боднар в [19] справедливо отметил, что везде, где господствует «отверточная» идеология, производство выполняет только финишную сборку из завезенных в страну готовых деталей и блоков, собранных за рубежом. Конечно, эта деятельность обеспечивает наполнение рынка товарами и работу для россиян. Но, как бы ни пытались некоторые чиновники представлять такие «отверточные» автомобили как российские, это, конечно, не так.

Другой пример практической новации, которая была разработана технологическим отделом ОКБ «Радуга» (Ленинград, 1979 г.), автор может привести из собственного опыта, когда там работал начальником сектора. Речь идет о том, что была разработана технология получения изоляционного теплопроводного слоя путем гальванического «наращивания» анодно-оксидированного алюминия (окись Al). В процессе одностороннего покрытия «посадочного» места, то есть поверхности, которая контактирует с корпусом силового транзистора, в алюминиевом радиаторе происходит образование оксидированной пленки толщиной 50 мкм. Параметры полученного изоляционного теплопроводного слоя оказались следующими. Испытания показали, что при защитном слое 50 мкм было получено тепловое сопротивление между корпусом силового транзистора и радиатором $R_{th} = 0,67 °C/Вт$, величина этого же параметра для изоляционной шайбы из окиси бериллия, в условиях одинаковых параметров испытаний, равна $0,57 °C/Вт$. Именно из-за проблем (дефицита) получения изоляционных бериллиевых шайб и была инициирована эта работа на предприятии.

Анализируя эти и другие данные по электронной отрасли, мы сталкиваемся с практически полным отсутствием достоверной информации о том, достигнут ли декларированный уровень, например для объема реализации ЭКБ, в 2011 г. В данном случае речь идет о ценовом объеме продукции электронной промышленности. Дело в том, что в отчете Росстата 2012 г. в разделе «Показатели развития производства машиностроительного комплекса, %», в строке «Производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования» приведены следующие данные: по отчету за 2010 г. должен быть рост 122,8% (оценка/план), фактически за 2011 г. — 106,5%, а по прогнозу на 2012 и 2013 гг. — 106,9 и 107,2% соответственно. Мало того, что статистика по радиоэлектронной промышленности (по названию Департамента радиоэлектронной промышленности) «защита» в производство электрооборудования, где совсем другие цифры объема производства (гораздо выше), но также отсутствуют данные ценового эквивалента продукции изделий электроники за 2011 г. (50 млрд руб.). Поэтому не представляется возможным подтвердить или опровергнуть эту прогнозируемую цифру.

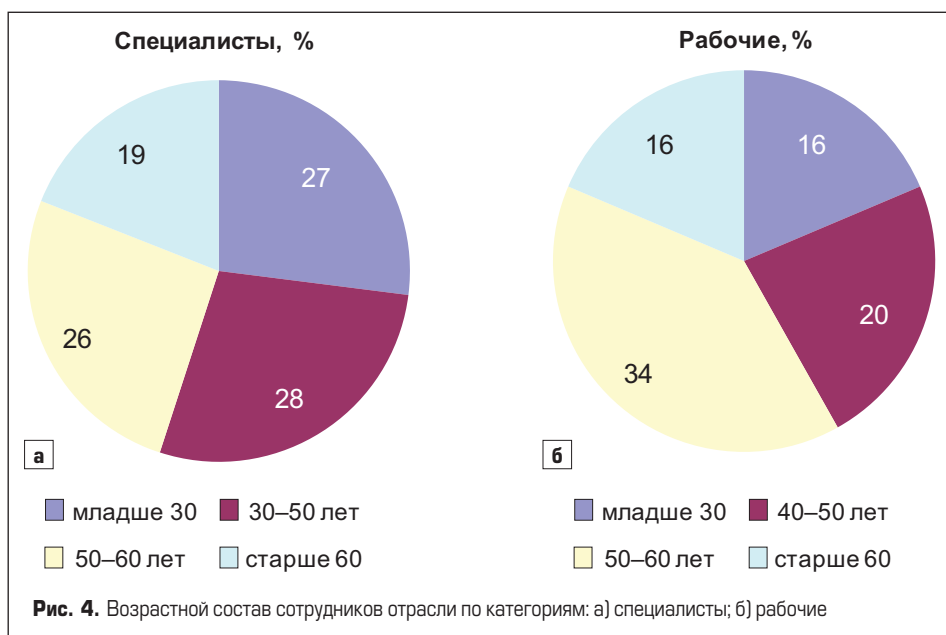
Такое неутешительное состояние производства изделий электронной техники к 2011 г.



подтверждается следующим. Россия по удельному производству электроники (в расчете на душу населения) отстает от США в 90 раз, от Японии — в 80, от Европы — в 40 раз. На внутреннем рынке в 2004 г. было продано электроники меньше, чем в отдельно взятых Польше, Венгрии и Мексике, по этому показателю мы занимаем 30-е место в мире из 52 стран со значимыми объемами потребления.

Дополним статистику по состоянию электроники в России цифрами из доклада руководителя Департамента радиоэлектронной промышленности Якунина А. С. на XI отраслевой научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития отечественной микроэлектроники», которая открылась 27 сентября 2012 г. в Новосибирске. В частности, он сообщил, что общий объем товарной радиоэлектронной продукции составил 123,4% в сопоставимых ценах от уровня аналогичного периода 2011 г. Объем произведенной промышленной продукции составил 113% от уровня прошлого года в со-

поставимых ценах, а производство научно-технической продукции увеличилось на 31,4% по сравнению с предыдущим годом. Объем НИОКР за этот же период вырос на 42,9%. В настоящее время прибыльными являются 67,6% промышленных предприятий и 71,3% научных организаций. Объем полученной ими прибыли вырос на 26,7% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Убыточными являются 32,4% промышленных предприятий и 28,7% научных организаций. Он также коснулся важного параметра рынка труда, то есть величины заработной платы в электронной промышленности. Средняя заработная плата работников Радиоэлектронной промышленности (РЭП) составила 27 054 руб. и выросла на 19,6% по сравнению с первым полугодием 2011 г., в том числе в промышленности — 22 671 руб. (рост на 17,9%). В научной сфере средняя заработная плата составила 36 021 руб. (рост на 21,4%). Отметим, что наконец появились конкретные цифры зарплат работников РЭП.



Также на этой конференции Якунин А. С. подчеркнул, что дальнейшее развитие микроэлектроники сдерживается наличием ряда нерешенных проблем. Большинство отечественных предприятий микроэлектроники используют устаревшее технологическое оборудование, обеспечивающее технологический уровень 0,6–2,5 мкм, и не имеют средств на модернизацию своих производств (только ОАО «НИИМЭ и Микрон» удалось осуществить реализацию проектов по освоению технологий уровня 180–90 нм). Для достижения технологических уровней 65–45 нм и менее необходимо более эффективное использование уже выделенных средств и поиск дополнительных средств на модернизацию и техническое перевооружение микроэлектронных предприятий.

Одной из наиболее актуальных проблем, как отметил Якунин А. С., является сохранение и обновление кадрового потенциала отрасли. Средний возраст работников составляет 48 лет, в то время как оптимальным является возраст 35–38 лет. Распределение общей численности кадрового потенциала работников РЭП по возрастам показано на рис. 3. В радиоэлектронной промышленности трудятся 2865 кандидатов наук и 594 доктора наук, при этом 52% кандидатов наук и 68% докторов наук старше 60 лет. Несомненный интерес представляют данные по возрастным категориям среди специалистов отрасли (рис. 4а). Среди научных работников преобладают сотрудники старше 50 лет, которые составляют 52%, в том числе 28% — научные работники старше 60 лет. Ситуацию с возрастом рабочих иллюстрирует рис. 4б.

Представляется, что аналогичные данные по возрастным категориям будут иметь все инженерно-технические отрасли промышленных министерств и ведомств. Это следствие экономической политики последних 20 лет существования России. Престиж инженерных профессий во всех отраслях производства, кроме, наверное, газовой и нефтяной промышленности, резко упал. Естественное обновление работников, которое было до 1990 г., когда в стране ежегодно выпускалось около 500 тыс. инженеров и техников, прекратилось. Как сказано у Шекспира, «прервалась связь времен». Молодые выпускники, приходящие в научные лаборатории и на производство, перенимали опыт у ведущих специалистов и научных работников, втягивались в научно-техническую работу, посещали конференции, и благодаря этому наиболее одаренные из молодых специалистов примерно через 3–5 лет сами становились профессионалами в своей отрасли.

Несколько слов о том, как развивается электронная промышленность в США. В [20] приводится история Управления перспективных исследований и разработок, которое было создано в 1958 г., что явилось ответной реакцией США на запуск СССР первого космического спутника Земли. В 1996 г. оно было переименовано в Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Основные задачи, возложенные

на эту структуру, которые служат интересам опережающего развития Вооруженных сил США, следующие:

- выявление новых научных идей и перспективных направлений исследований и разработок;
- концентрация ресурсов на высокотехнологичных направлениях, потенциально способных обеспечить прорыв в развитии вооружений и военной техники, даже при возникновении больших рисков при их реализации.

Программы НИОКР Министерства обороны США подразделяются на категории (всего их 7). Важнейшие из них — фундаментальные исследования; прикладные исследования; технологические разработки.

В 2012 г. объем финансирования на эти три важнейшие из направлений составил \$12,263 млрд (16,84% от общего объема финансирования военных НИОКР). Интересно, что, по существу, отчетность по программам НИОКР составляет пять лет, такой же срок был и в Министерстве электронной промышленности СССР. Основными инициаторами в формировании перспективных направлений работ — «генераторами идей и концепций» — выступают руководители программ. На должность руководителя программы DARPA приглашает по контракту на срок не более пяти лет. Выбор руководителей производится из наиболее инициативных и одаренных американских ученых, имеющих существенный опыт исследовательской работы в военных лабораториях или в научно-исследовательских отделах университетов и федеральных центрах исследований и разработок (FFDRC). В качестве примера неудачных программ структуры DARPA (риск при реализации) в [21] приведена программа для армии США «Боевые системы будущего» (Future Combat Systems). Она в настоящее время прекращена как неперспективная, по планам ее выполнения в 2003–2016 гг. предполагалось израсходовать \$30 млрд.

Развитие электронной промышленности — своего рода локомотив для других отраслей экономики государства. Мировая практика создания радиоэлектронной аппаратуры показывает, что \$1, вложенный в электронные материалы и оборудование, превращается в \$6 при создании ЭКБ и в \$20 — на рынке финальных изделий. В передовых странах электроника по уровню добавленной стоимости, прибыли и рентабельности стоит на первом месте, опережая такие отрасли, как автомобилестроение, медицина, алкоголь, табак и т. д.

Открывая совещание в Белом доме 23 апреля 2012 г., Рогозин Д. О. констатировал, что российская радиоэлектроника находится в глубоком кризисе, а также призвал членов военно-промышленной комиссии, которую возглавляет, и руководителей радиоэлектронных предприятий, которые участвовали в совещании, провести «реанимацию» отрасли [21]. В ответ некоторые специалисты выразились весьма скептически. Один из них, президент Института

стратегических оценок Александр Коновалов, пояснил в интервью «Известиям»: «Сколько ни собирай руководство, науку за один год не восстановишь». Далее он сообщил, что во многих отраслях промышленности Россия отстала навсегда, поэтому зарубежные изделия покупать выгоднее, чем создавать свои.

По меньшей мере странно, что специалист по стратегическим оценкам по существу предлагает ничего не делать. В качестве комментария к таким мнениям некоторых специалистов о потенциале России следует напомнить некоторые факты из истории нашей страны. После тяжелой войны уже в 1949 г. советскими учеными, разработчиками, конструкторами и рабочими была построена и испытана атомная бомба, затем в 1953 г. спроектирована и испытана водородная бомба. И это было сделано в трудные, по сути голодные для страны годы, в период восстановления всего народного хозяйства. А уже в 1961 г. была спроектирована и испытана самая мощная в мире водородная бомба (тротилловый эквивалент свыше 50 мегатонн). США такую бомбу так и не смогли создать.

На этом же совещании начальник управления по корпоративным коммуникациям компании «Ангстрем» Алексей Дианов сказал, что выпускать микроэлектронную продукцию очень затратно и сложно. Он также сообщил, что завод с современной топологией 12, 14 и 22 нм стоит \$3–4 млрд, а на «старые» 110–130 нм придется выложить больше 1 млрд руб. При этом он пояснил, что ждать, пока производство окупится, придется 5–10 лет. Кроме того, по его словам, долгое время государство никак не поддерживало эту отрасль.

Наконец, необходимо сказать несколько слов о принятой программе РФ «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности» (далее Программа), которая рассчитана на срок до 2025 г. В этой Программе в качестве основных направлений обозначены следующие задачи (кратко):

1. Создание современной научно-технической и производственно-технологической базы.
2. Создание научно-технического задела по перспективным технологиям и конструкциям электронных компонентов, унифицированных узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры.
3. Обеспечение российских стратегических радиоэлектронных средств и систем российской электронной компонентной базой.

В Программе основные этапы (результаты) развития радиоэлектронной отрасли в основном представлены в виде процентных соотношений, а не в виде ценовых эквивалентов. Как уже показано выше, это затрудняет реальную проверку и контроль достигнутых параметров в конце сроков выполнения конкретных работ (НИОКР). Много важных цифр приводится в разделе, касающемся мирового объема рынка радиоэлектроники. В том числе, что ежегодно на программы развития только электроники в мире выделяется более \$14 млрд, а если

учесть, что фирмы расходуют до 10% процентов объемов продаж изделий электроники на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, эта сумма вырастает до \$35 млрд.

Отмечается, что в 2012 г. доля российских производителей радиоэлектроники составляла только 0,3% мирового рынка. А мировой рынок электронных компонентов в 2011 г. достиг объема в \$522 млрд.

К сожалению, из свыше 100 пунктов программы только около восьми детально касаются развития промышленности создания ЭКБ. А результаты выполнения Программы (п. 60) также предложено оценивать в процентах. Так, на первом этапе реализации программы (2012–2015 гг.) доля отечественных радиоэлектронных изделий на мировом рынке достигнет 0,5%, а на внутреннем — 20%. На втором этапе реализации Программы (2016–2020 гг.) эти цифры должны составить 0,9 и 23% соответственно. На третьем этапе (2021–2025 гг.) ожидается, что доля отечественных радиоэлектронных изделий на мировом рынке составит 5%, а на внутреннем — 70%.

Отметим, что создание такой, на первый взгляд, амбициозной в государственном масштабе Программы, конечно, оправданно. Однако без детальной отдельной иной программы именно по созданию и развитию элементной базы радиоэлектроники, конкретно для пятилетних временных циклов проведения НИОКР в рамках основных направлений науки и техники создания ЭКБ, не обойтись.

Коснемся еще одной из важных составляющих («движителей») развития любой отрасли народного хозяйства. Речь идет о заработной плате инженеров, работающих в соответствующей отрасли. В [22, 23] приведены зарплаты инженеров в США и России, которые относятся к 2011 г. Для США этот опрос проводился среди инженеров 27 специальностей. Их среднегодовая зарплата составила \$93 600. То есть в месяц — \$7800 (≈237 900 руб. при курсе \$1 = 30,5 руб.). В России в 2011 г. зарплаты инженеров выросли, например, по Москве с 40 904 до 48 406 руб. в месяц. Интересно отметить следующее обстоятельство. Зарплата Президента США в 2007 г. была \$33 000 в месяц. Видно, что ежемесячный заработок американского инженера составил ≈24% от зарплаты их президента. В то же время зарплата Президента России в 2007 г. была около \$10 700 в месяц, то есть ≈262 300 руб. Значит, зарплата российского инженера (в Москве) составила ≈18,5% от зарплаты Президента России. Для дополнительного анализа (сравнения) укажем, что, согласно данным Росстата, среднемесячная номинальная начисленная заработная плата персонала в государственных банках (информация от 01.06.2012) [24] в 2011 г. составила 56,5 тыс. руб.

Все же отметим несомненное достоинство Программы, которое состоит в том, что в более чем 15 пунктах упомянута необходимость развивать и внедрять в РЭА унифицированные электронные модули, узлы и блоки ра-

диоэлектронных изделий. Кроме этого, предлагается, по возможности, разрабатывать унифицированные интегрированные системы двойного назначения (как в оборонной технике, так и коммерческого применения). Разработка и синтез унифицированных силовых модулей с использованием гибридной технологии являются современным направлением развития интеллектуальной силовой электроники. Причем автор занимается этой научно-технической проблемой еще с прошлого века [25, 26]. В частности, в [25] приведена методика расчета минимальных объемов унифицированных источников вторичного электропитания (УИВЭ). Методика построена на основе исследований теплофизических моделей, предназначенных для аппаратуры, эксплуатируемой в условиях теплообмена путем естественной конвекции. Она позволяет синтезировать объемы ИВЭ с учетом заданных тепловых режимов элементов. В [26] предложен метод формирования минимальной номенклатуры для прогнозируемого ряда унифицированных одноканальных источников электропитания для РЭА, основанный на анализе применимости источников вторичного питания в аппаратных комплексах и выборе градаций мощности потерь в унифицированных блоках ИВЭ.

В конечном итоге современное производство успевает идти в ногу с современными тенденциями в мировой науке и технике именно благодаря использованию модульного принципа построения сложных приборов и систем. Не так давно группа исследователей из Корнелльского университета (Cornell University) США, которой руководил доктор Ход Липсон (Hod Lipson), предложила весьма оригинальную гипотезу, объясняющую возникновение модульной организации. В частности, было установлено, что модульность делает систему более гибкой (что немаловажно в мире ограниченных ресурсов, где минимум затрат — важное преимущество) и способствует ее более быстрому и качественному самокопированию. Однако, как и предполагали ученые, дело было вовсе не в стремлении к модульности как таковой, а в необходимости свести к минимуму расходы по поддержанию системы.

Семь тезисов в пользу необходимости разработки унифицированных силовых модулей и узлов для СВЭП с использованием гибридной технологии:

1. Это один из эффективных путей «упростить» синтез сложных преобразовательных силовых систем.
2. Модульная структура синтеза новых изделий позволяет оперативно модифицировать отдельные унифицированные узлы, когда появляются (осваиваются) новые компонентные материалы и технологии.
3. Результат внедрения в изделия унифицированных узлов, то есть его синтез на основе типовых узлов, позволит значительно уменьшить количество высококвалифици-

рованных разработчиков, обладающих энциклопедическими знаниями в области сложных электронных систем. В итоге это приведет к снижению стоимости конечного изделия.

4. Суммарная потребность дискретных электронных компонентов при новых разработках будет значительно меньше, как по номенклатуре, так и по общему числу комплекующих элементов в изделии.
5. Уменьшится номенклатура дискретных элементов, что позволит упростить и снизить стоимость мобилизационного стратегического запаса, предназначенного для работы в особых условиях (военные действия), а также обеспечить эффективный ремонт и эксплуатацию комплексов РЭА в мирное время.
6. Безусловно, повысится надежность силовых приборов и изделий в СВЭП, так как унифицированные узлы, на базе которых синтезированы сложные приборы и блоки, будут по параметрам надежности приближаться к параметрам для электронных компонентов.
7. Отечественные фирмы получают реальную возможность освоить новые перспективные приборы с высокой степенью интеграции с новыми, по сути интеллектуальными, техническими параметрами. В основе этих новых приборов могут быть различные научно-технические достижения, такие как твердотельная технология, технология толстой и тонкой пленки, а также передовые методы теплофизики для качественного отвода тепла от мощных теплонапряженных элементов.

Таким образом, представляется, что если сосредоточить значительные средства и имеющийся интеллектуальный потенциал в рассматриваемом направлении развития силовой электроники, то это может привести к несомненному и важному для будущего нашей страны положительному технико-экономическому эффекту.

Продолжение следует

Литература

1. Интервью с начальником 22 ЦНИИС МО РФ контр-адмиралом Ю. И. Степановым. Об особенностях применения импортных компонентов в военной и специальной технике // Компоненты и технологии // 2001. № 7.
2. Келл Г. Особенности национальной электроники. Интернет-измерение. Живая электроника России. 2001. Т. 1.
3. Лукин А. В. Маркетинг источников вторичного электропитания // Электрическое питание. 2002. № 2.
4. Эраносян С. А., Ланцов В. В. Интеллектуальные силовые модули для источников электропитания — один из путей возрождения отечественной микроэлектроники XXI века // Электрическое питание. 2005. № 1, 2.
5. Ланцов В., Эраносян С. Интеллектуальная силовая электроника: от настоящего к будущему // Силовая электроника. 2009. № 4.

6. Колпаков А. Перспективы развития электропривода // Силовая электроника. 2004. № 1.
7. Лапин А. Новое поколение изделий компании Texas Instruments для управляемого электропривода // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2005. № 6.
8. Колпаков А. Инверторная программа SEMIKUBE — quadratisch, praktisch, gut! // Компоненты и технологии. 2006. № 6.
9. SKAI™ IGBT POWER — компактный интеллектуальный силовой модуль для электротранспорта // Силовая электроника. 2011. № 5. стр. 2.
10. Ланцов В., Эраносян С. Проблемы надежности силовых систем и устройств в реалиях XXI века. Часть 2. // Силовая электроника. 2012. № 2.
11. Хазин М. Павловская денежная реформа была авантюрой по спасению СССР. 20.01.2011. kp.ru.
12. Вахитов Р. Р. Советская цивилизация — проект выживания // Ратник. Независимый интернет-журнал. 2008. № 4.
13. Гуляев Ю. В. Электроника — это фундаментальная наука // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2012. № 5.
14. Немудров В., Мочкин В. О неотложных мерах в микроэлектронике России // Электроника, наука, технология, бизнес. 2012. № 5.
15. Вильясенор Дж. Хакер в вашем «железе» // В мире науки. 2011. № 1.
16. Борисов Ю. Электронная промышленность России: стратегия развития // Электроника НТБ. 2006. № 8.
17. Новый англо-русский словарь по электронике: в 2-х т. Ок 100 000 терминов и 7000 сокращений. /Ф.В. Лисовский. М.: АBBYY Press. 2009.
18. Эраносян С., Ланцов В. Источники бесперебойного питания: новый подход к синтезу. Часть 2. // Силовая электроника: 2008. № 1.
19. Боднар Д. «Отверточное» скудоумие, или Почему России не грозит увеличение производства автоэлектроники // Электронные компоненты. 2012. № 5.
20. Бочаров Л. Управление перспективных исследований и разработок министерства обороны США (DARPA): анализ деятельности // Электроника НТБ. 2012. № 9.
21. <http://izvestia.ru/news/522794>
22. События рынка. Зарплата инженеров в 2011 г. в США и в России // Электронные компоненты. 2012. № 2.
23. www.electronicdesign.com
24. <http://ria.ru/research/20120601/662329444.html>
25. Эраносян С. А., Гаазе В. Б., Гасанова В. В. Метод расчета минимальных объемов конструктивов УИВЭ // Техника средств связи. Серия «Средства вторичного электропитания (СВЭП)». 1989. Вып. 1.
26. Эраносян С. А., Гаазе В. Б. Метод синтеза минимальной номенклатуры унифицированных ИВЭ для систем электропитания РЭА // Техника средств связи. Серия «Средства вторичного электропитания (СВЭП)». 1989. Вып. 1.