

УДК: 631.396

**ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОСТИЖЕНИЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ
В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**TENDENCIES OF APPLICATION NANOTECHNOLOGICAL ACHIEVEMENTS
IN RADAR SYSTEMS**

По представлению академика РАН В.В. Панова

А.В. Волков, А.Е. Гвоздев, Р.П. Быстров, А.В. Немцов

3 ЦНИИ МО РФ

A.V. Volkov, A.E. Gvozdev, R.P. Bystrov, A.V. Nemtsov

В данной работе рассматриваются тенденции применения микро- и нанoeлектроники в функциональных системах и устройствах, которые могут быть реализованы в типовых РЛС обнаружения и наведения. Представляются варианты взаимных научно-технических связей-направлений предполагаемого развития основных функциональных систем классической РЛС на базе результатов развития современной нанотехнологии и наноматериалов с учетом положений технологических платформ.

Ключевые слова: микроэлектроника, нанoeлектроника, структурная схема, функциональная система, функциональные узлы, радиолокационная система, системы обнаружения, система наведения.

In this work it is considered tendencies of application micro- and nanoelectronics in functional systems and devices which can be realized in standard RLS of detection and targeting. Options of mutual scientific and technical communications directions of alleged development of the main functional systems of classical RLS on the basis of the results of development modern nanotechnologists and nanomaterials and talking into account provisions of technological platforms are represented.

Keywords: microelectronics, nanoelectronics, block diagram, functional system, functional knots, radar-tracking system, systems of detection, system of targeting.

По прогнозам иностранных и отечественных специалистов ожидается, что применение нанотехнологий приведет к революционным изменениям основных видов деятельности в области радиотехнических систем, в том числе и применительно к военной технике. Так в работе [1] отмечается, что военные действия в современной обстановке будут вестись преимущественно с использованием высокоточного оружия, в котором в полной мере могут использоваться создаваемые радиотехнические системы на базе микро- и нанотехнологий.

Наличие нанотехнологического оружия принципиально меняет военную стратегию: это возможность сокрушительного первого удара по противнику с минимальной или нулевой возможностью ответа, это скрытый характер собственной военной мощи, это путь к снижению числа военнослужащих. Военные специалисты полагают, что нация, имеющая решающее преимущество в нанотехнологии, сможет обезоружить любого противника. Против нанотехнологического оружия нет других способов защиты, кроме контрсредств, созданных на той же осно-

ве. При этом нанотехнологическая война будет беспрецедентно быстрой и глобально разрушительной.

В целом нанотехнологии имеют огромный потенциал для использования в чрезвычайно большом и разнообразном множестве практических областей — от производства более прочных и легких конструкционных материалов в машиностроении до увеличения объема памяти и быстродействия компьютеров и т.д.

Основной задачей данной статьи является определение тенденций использования достижений микро- и нанoeлектроники в конкретных функциональных системах и устройствах современных типовых РЛС обнаружения и наведения.

Далее проведен анализ вариантов взаимных научно-технических связей-направлений предполагаемого развития основных функциональных систем современной РЛС на основе результатов развития современной микро- и нанoeлектроники [2].

На рис. 1 приведена структурная схема современной многофункциональной РЛС, основными составляющими и функциональными системами которой являются: антенная система, передающее устройство, приемное устройство,

система обработки информации, система электроснабжения, система обеспечения жизнедеятельности, система защиты и система связи.

Далее на рис. 2–5 представлены соответственно структурные схемы функциональных систем РЛС: антенной системы, приемопередающего устройства, системы обработки информации и системы обеспечения.

Структурная схема системы обеспечения (рис. 5), включающая в свой состав электроснабжение и жизнеобеспечение, представлена в общем виде, так как рассмотрение всех её составляющих представляет собой большой самостоятельный вопрос и поэтому в данной статье не раскрывается.

Рассмотрение подсистемы электроснабжения с точки зрения использования микро- и нанoeлектроники заключается в изучении вопросов использования силовой электроники на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС-технологий) и связанного с этим повышения КПД генераторных установок за счет применения наноматериалов.

Подсистема жизнеобеспечения предполагает изучение фильтровентиляционных устройств аппаратуры, регенерации воды, воздуха и т.д.



Рис. 1. Структурная схема основных составляющих и функциональных систем РЛС

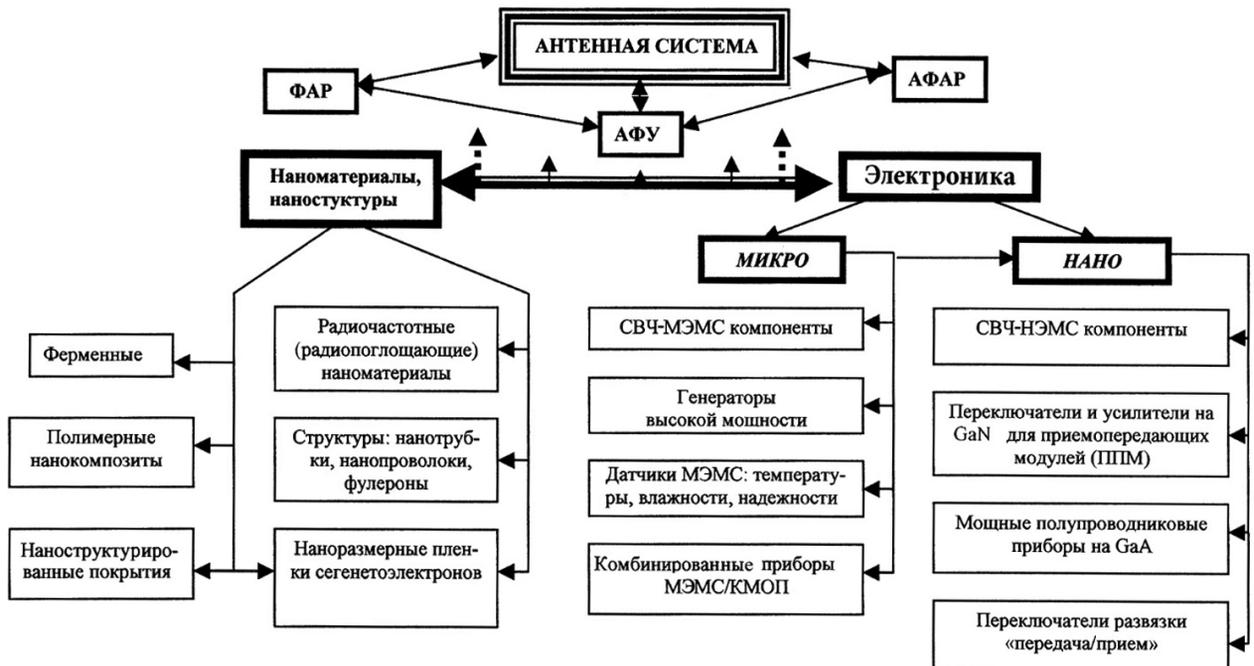


Рис. 2. Структурная схема возможных направлений применения наноматериалов и электроники в антенной системе РЛС:

ФАР — фазированная антенная решетка; АФАР — активная фазированная антенная решетка; АФУ — антенно-фидерное устройство; МЭМС/НЭМС — микро- и нанoeлектромеханические системы (МЭМС/НЭМС-технологии); КМОП — технология, базирующаяся на применении композиционных материалов



Рис. 3. Структурная схема возможных направлений применения наноматериалов и электроники в приемопередающих устройствах РЛС

Рассмотрение системы защиты предполагает изучение совокупности вопросов, связанных со специальными защитными поглощающими

покрытиями и защитой от электронного оружия, воздействие которых на системы не рассматривается.

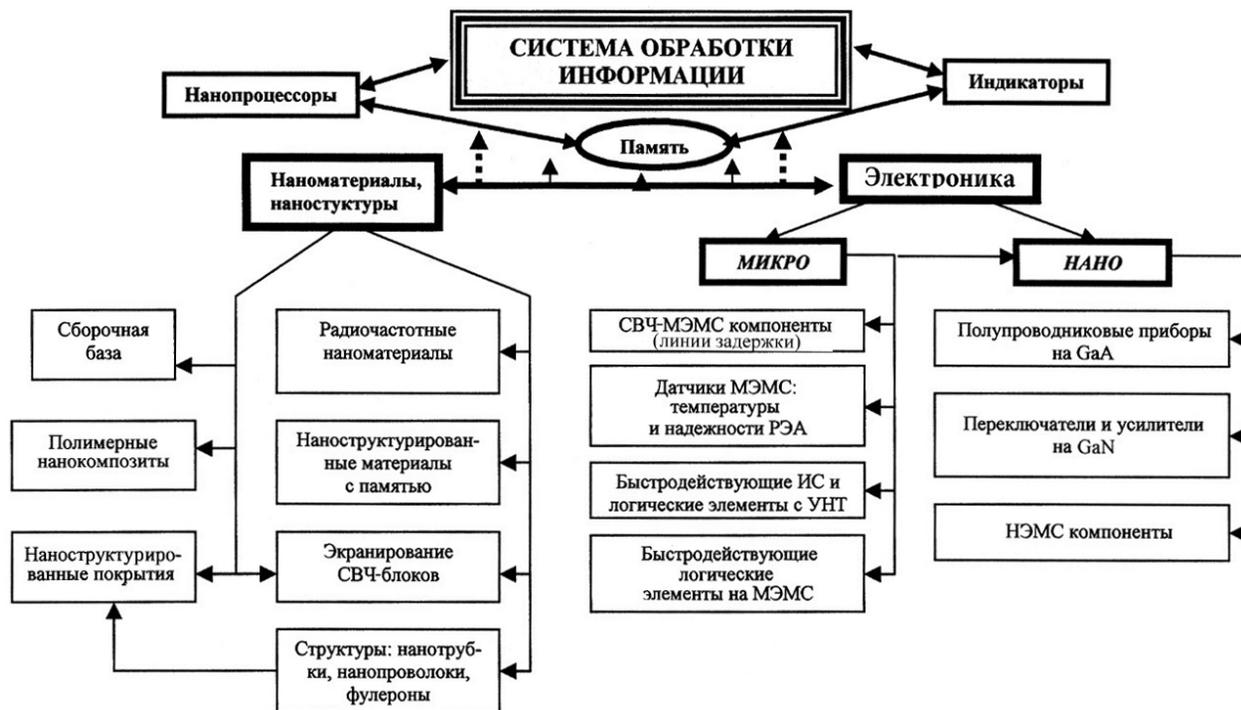


Рис. 4. Структурная схема возможных направлений применения наноматериалов и электроники в функциональных узлах обработки информации РЛС. УНТ – углеродные нанотрубки

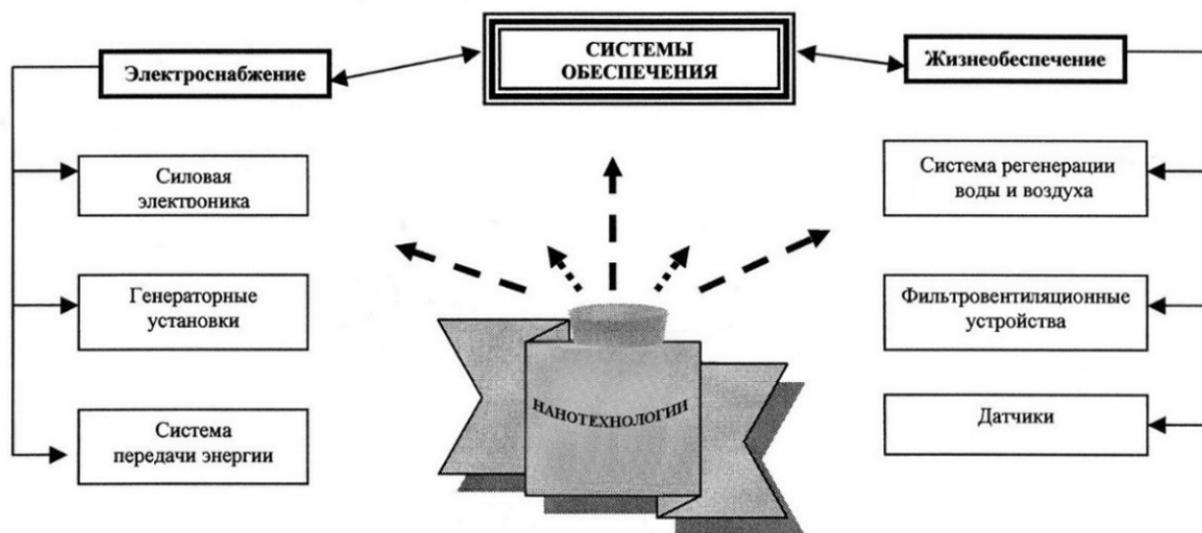


Рис. 5. Системы обеспечения РЛС

Система связи представляет собой совокупность технических средств для передачи различного вида информации.

С целью рассмотрения конкретного применения микросистемных устройств для создания радиолокационных систем нового поколения представим вариант взаимных научно-технических связей-направлений предполагаемого раз-

вития основных функциональных систем классической РЛС на базе результатов развития современной нанотехнологии и наноматериалов с учетом положений технологических платформ.

На рис. 6 приведена структурная схема применения нанотехнологий в функциональных узлах РЛС, названной условно «Нано-РЛС», где нанотехнологии и материалы могут найти самое

широкое применение в радиотехнических системах различного назначения. На схеме (структура проекта «Дерево снизу») выделены направления, которые при принятом проекте с применением нанотехнологий в создании функциональных устройств РЛС (антенных систем и приемопередающих устройств) намечено реализовывать в

первоочередном порядке. Здесь же указаны, какие конкретно микро- и наноматериалы и структуры могут в первую очередь применяться для создания основных функциональных узлов РЛС.

Из рис. 6 видно, что особое место в любой «Нано-РЛС» занимает конструирование антенных систем (фазированных антенных решеток —

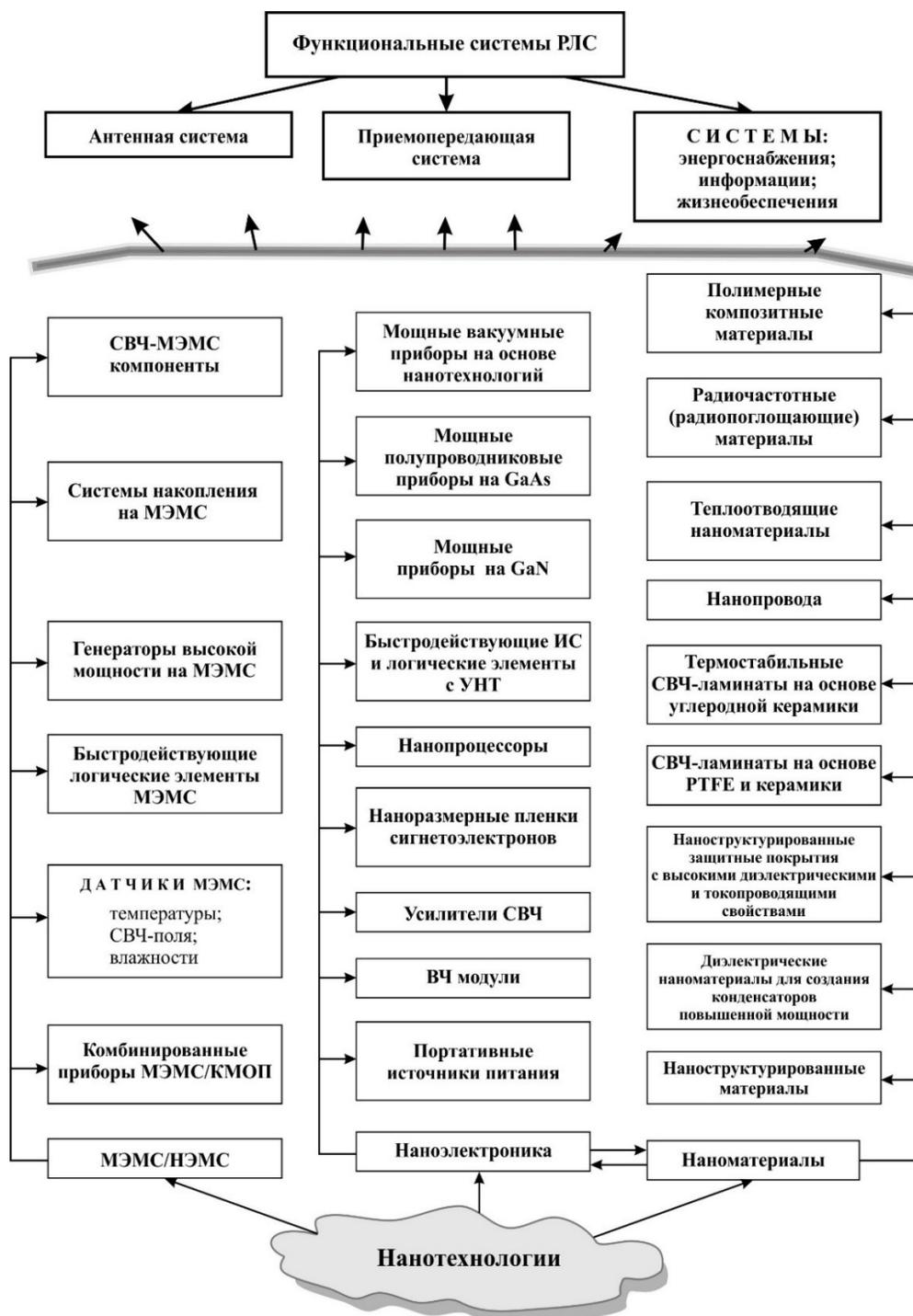


Рис. 6. Структурная схема применения нанотехнологий в функциональных узлах РЛС «Нано-РЛС» (структура проекта «Дерево снизу»)

ФАР; и активных фазированных антенных решеток — АФАР). Это связано с тем, что наиболее значимым направлением, связанным с развитием и применением микро- и наноэлектроники в РЛС, в настоящее время является, прежде всего, создание эффективных антенных систем.

Важным направлением, связанным с развитием и применением микро- и наноэлектроники является также создание новых более эффективных передающих и приемных устройств.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что первый этап исследований при реализации проекта с применением нанотехнологий в радиолокационных системах целесообразно начинать проектировать с исследования антенных систем, прежде всего, с целью уменьшения их массогабаритных параметров за счет внедрения композитных материалов и микросистемной техники (МСТ).

В России термин «микросистемная техника» стал использоваться в официальных документах после принятия в 1996 году перечня критических технологий федерального уровня. В приоритетные направления развития науки и техники Российской Федерации на 2001–2010 гг.

(раздел производственных технологий) в состав критических технологий федерального уровня включена уже микросистемная техника.

Новое научно-техническое направление в развитии кремниевой технологии, основанное не только на использовании планарных свойств, но и на объемных конструкционных свойствах кремниевых элементов при создании нового поколения устройств, приборов и механизмов повышенной сложности, применяемых в радиотехнике, оптике, машиностроении, приборостроении, химии и биомедицине, дало основу для развития микросистемной техники (microsystems engineering — MSE — МСТ) на базе технологии микросистем (microsystems technology — MST) и микроэлектромеханических систем (microelectromechanical systems — MEMS — МЭМС).

В целом изделия микросистемной техники представляют собой не только новый, но и прорывной класс наиболее сложных комплексированных электронных изделий, без развития которых невозможно построение перспективных комплексов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) различного назначения.



Рис. 7. Преимущества и достоинства МЭМС/НЭМС

На рис. 7 приведены преимущества и достоинства изделий микросистемной техники (приоритет МЭМС (НЭМС) в нашей стране и за рубежом перед другими микроструктурами, вытекающими из опыта их создания, развития и применения в качестве комплектующих РЭА.

Направления развития в области микроструктурной техники показаны на рис. 8.

Следует отметить, что в рамках программ DARPA разработан ряд элементов МЭМС, в том числе для радиолокационных систем. В целом, применение МЭМС планируется во многих областях микросистемной техники (рис. 9), уровень которых в результате внедрения МЭМС- и НЭМС-технологий будет постоянно возрастать.

В нанотехнологиях, наряду с МЭМС, приоритетными считаются также и технологии МЭМС/КМОП и структуры из них. КМОП (complementary metal-oxide-semiconductor) — это технология построения электронных схем, базирующаяся на применении композитных материалов.

Рассмотрим использование наноматериалов и их компонентов для совершенствования систем и узлов РЛС.

Композитные материалы на основе нанотехнологий для изделий и механических узлов, комплектующих РЛС и применяемых за рубежом, приведены на рис. 6 (правая ветвь). Направления создания композитов, применение которых по-

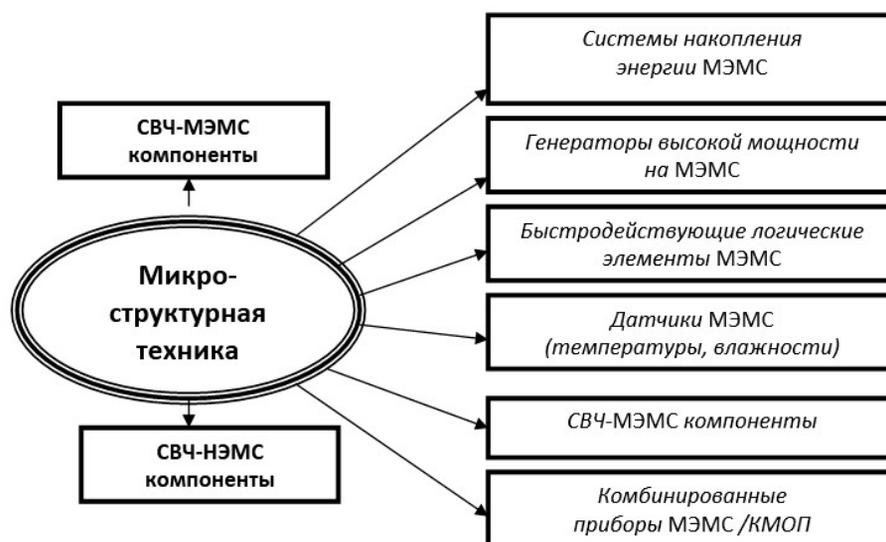


Рис. 8. Направления развития в области микроструктурной техники



Рис. 9. Направления создания техники зарубежными компаниями с применением МЭМС- и НЭМС-технологий

зволит существенно поднять уровень техники, показан на рис. 10.

В качестве примера рассмотрим применение радиопоглощающих и теплоотводящих наноматериалов.

Радиопоглощающие наноматериалы (РПМ) — это неметаллические материалы, состав и структура которых обеспечивают эффективное поглощение (при незначительном отражении) электромагнитной энергии в определенном диапазоне длин радиоволн. РПМ используют для уменьшения эффективной отражающей поверхности наземных и морских объектов, летательных аппаратов с целью их противолокационной маскировки, для оборудования испытательных камер, в которых исследуются антенные устройства, для поглощения электромагнитной энергии в оконечных и др. поглощающих элементах СВЧ-устройств и т.д.

Применение РПМ позволит существенно снизить взаимные помехи в передающих и приемных трактах, работающих в диапазоне 8–36 ГГц.

Экспериментальные результаты и теоретические оценки показывают, что дальнейшее

совершенствование и развитие помехозащищенности радиоаппаратуры в целом, а также повышение стабильности характеристик радиопоглощающих покрытий (РПП), может быть достигнуто за счет использования композитных материалов на основе синтетических смол и специальных наполнителей [3].

Уникальные свойства полученных материалов позволяют создавать на их основе эффективные РПП и фильтрующие устройства с малыми потерями в полосе пропускания и большим уровнем подавления в полосе заграждения.

Создание нового поколения композитных РПМ и РПП, предназначенных для использования в приемопередающих СВЧ-модулях АФАР, обеспечит поглощение побочного электромагнитного излучения в корпусах интегральных схем СВЧ-диапазона (8–20 ГГц).

Теплоотводящие наноматериалы. В процессе конструирования радиоэлектронной аппаратуры постоянно возникает ситуация, когда необходимо обеспечить отвод тепла от функционирующих узлов и элементов РЛС (антенны приемопередающего устройства и др., вплоть



Рис. 10. Направления создания композитных материалов

до транзисторов и микросхем), или, например, в мощных усилителях низкой частоты, в каскадах строчной развертки мониторов, в преобразователях напряжения и ряде других радиоэлектронных конструкций РЭС.

Чаще всего, для обеспечения лучшего термомонтажа активных компонентов с охлаждающим устройством используют теплоотводящие наноматериалы: термопасты, термоклеи, графитовые термопрокладки и т.д.

В целом, анализ имеющихся зарубежных научных источников по композитным материалам и их применению в РЭС, позволил сделать следующие основные заключения.

1. Уникальные свойства композиционных материалов позволяют создавать на их основе эффективные радиопоглощающие покрытия и фильтрующие устройства с малыми потерями в полосе пропускания и большим уровнем подавления в полосе заграждения. Отличительной особенностью разрабатываемых материалов является стабильность параметров и возможность серийного выпуска на предприятиях химической промышленности России.

2. Повышение характеристик СВЧ-радиоэлектронных систем путем применения радиопоглощающих магнитных материалов нового поколения, представляющих собой композиционные материалы, и формирование радиопоглощающих покрытий на защищаемых поверхностях, позволит создать помехоустойчивые радиоэлектронные комплексы нового поколения, а также повысить ТТХ уже существующих радиоэлектронных устройств.

3. Экспериментальное исследование эффективности ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона с использованием композиционных радиопоглощающих магнитных покрытий и процессов теплообмена при взаимодействии электромагнитного излучения СВЧ-диапазона с многослойными радиопоглощающими композиционными структурами требует весьма большого объема дорогостоящих исследований. Поэтому наиболее реален путь построения таких теоретических моделей физических процессов в многослойных радиопоглощающих и мелкодисперсных средах, которые позволят определять не только осредненные характеристики, но и описать локальные особенности процессов, происходящих в таких средах.

4. Все научные достижения, технические решения и другие результаты, полученные в ходе выполнения исследований, позволят на высоком техническом уровне создать микросистемную технологию изготовления нового поколения радиопоглощающих и микро- и нанодисперсных ферритовых материалов для сверхвысокочастотных приборов. Разработанные технологии получат применение при разработке и производстве сверхвысокочувствительной и энергетически мощной аппаратуры СВЧ-техники, перспективных систем и комплексов специального и общетехнического назначения; увеличению частотного диапазона; уменьшению уровня паразитных излучений и взаимного влияния корпусов транзисторов и интегральных схем; уменьшению массогабаритных характеристик СВЧ-устройств.

Что касается применения устройств для систем военного назначения, можно привести ещё ряд направлений, связанных с использованием нанотехнологий в аппаратуре:

– использование МЭМС в военной технике. Разработчики военных систем США все больше и больше используют технику МЭМС в ракетах и снаряжении с цифровым контролем («smart») для уменьшения размеров и стоимости при одновременном увеличении точности и дальности поражения [4];

– использование МЭМС в системах оружия с прецизионным наведением. Фирмы Rockwell Collins и Honeywell создали совместное предприятие, получившее название Integrated Guidance Systems LLC, которое ставит задачу обеспечения прецизионного наведения систем оружия с использованием микроэлектромеханических систем и Глобальной системы позиционирования [5];

– МЭМС тактовый генератор военного назначения. В конструкции используется МЭМС резонатор, изготовленный по технологии PureSilicon Resonator фирмы Discera, в которой используется недорогая промышленная КМОП технология [6];

– МЭМС датчики для обнаружения взрывчатки. Рассматривается разработка систем обнаружения взрывчатки с использованием МЭМС техники [7] и др.

На рис. 11–15 приведены структуры радиолокационных и иных отечественных систем, в которых могут найти применение нанотехно-



Рис. 11. Общая структурная схема разработки РЛС и отечественных систем

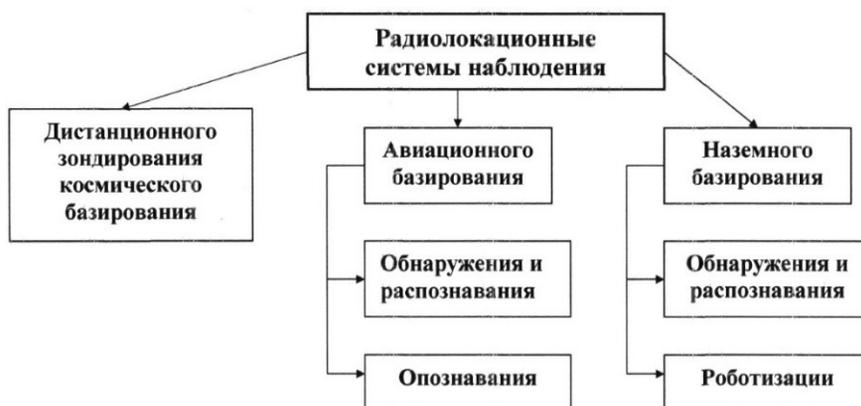


Рис. 12. Радиолокационные системы наблюдения (обнаружения, распознавания, опознавания)



Рис. 13. Радиолокационные системы управления и наведения



Рис. 14. Радиолокационные системы управления и наведения



Рис. 15. Радиолокационные системы управления и наведения

логии и наноматериалы (микро- и нанoeлектроники).

Таким образом, в направлениях, указанных функциональными системами, имеется возможность найти революционное применение нанотехнологий для создания не только РЛС, но и радиотехнических систем нового поколения различного назначения.

Литература

1. Альтман Ю. Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений. — М.: Техносфера. 2008. 424 с.

2. Быстров Р.П., Гвоздев А.Е., Немцов А.В., Никитов С.А. Микро- и нанoeлектроника в системах радиолокации. Монография / Под ред. Р.П. Быстрова. — М.: 3 ЦНИИ МО РФ. 2012. 234 с.

3. Кербер. Композиционные материалы. Соросовский образовательный журн. 1999. № 5. С. 33-41.

4. Wilson J.R. Smart munitions development relies heavily on MEMS technology. Military & Aerospace Electronics. January, 2003.

5. Honeywell and Rockwell team on guided weapons. Penton's Military Electronics. December, 2005. P. 3.

6. DARPA funds Argonne project to develop MEMS and CMOS-based mobile communication technology.

7. Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств — участников СНГ и технических средствах его выявления. Сер.: Технические средства разведывательных служб капиталистических государств. ВИНТИ РАН. 2012–2015 гг. № 1–12.