**Технологическая платформа «СВЧ технологии»**

|  |  |
| --- | --- |
| СОГЛАСОВАНО | УТВЕРЖДАЮ |
| Заместитель председателя Правления – председатель Научно-технического совета организации-инициатора  технологической платформы «СВЧ технологии», директор ФГБУН «ИСВЧПЭ» РАН, д.т.н., проф. | Председатель Правления,  директор по внешним коммуникациям организации-координатора технологической платформы «СВЧ технологии»  АО «Росэлектроника», д.э.н., доц. |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.А. Гамкрелидзе | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.В. Брыкин |
| «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г. | «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г. |

**СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ**

**технологической платформы «СВЧ технологии»**

(актуализированная)

Представил на утверждение

Председатель секции № 1 НТС - по вопросам

разработки стратегической программы исследований

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ю.В. Колковский

«\_\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г.

г. Москва

2020 г.

**Содержание**

[Раздел 1. Текущие тенденции развития рынков и технологий в сфере деятельности платформы 8](#_Toc536777322)

[1.1 Описание текущего состояния рынков отраслей и секторов экономики по основным показателям (объемы рынков и их основных сегментов, динамика их роста и др.) 8](#_Toc536777323)

[1.2. Описание основных технических и технологических решений, в целом характеризующих текущий уровень развития рынков и технологий 13](#_Toc536777324)

[1.2.1. Описание технологий в сфере деятельности платформы 14](#_Toc536777325)

[1.3 Анализ конкуренции на внутреннем и внешних рынках и их ключевых сегментов 23](#_Toc536777326)

[1.4. Оценка технических и технологических решений и компетенций, обеспечивающих конкурентоспособность российских предприятий-производителей продукции ТП 30](#_Toc536777327)

[1.4.1 Системы связи 5G как направление коммерциализации технологий СВЧ-электроники 30](#_Toc536777328)

[1.4.2 Технологии 5G 32](#_Toc536777329)

[1.4.3 Текущее состояние работ в области 5G 33](#_Toc536777330)

[1.4.4. Стандартизация 35](#_Toc536777331)

[1.5. Оценка обеспеченности кадрами 36](#_Toc536777332)

[1.6. Оценка доступности РИД по технологиям, которые предполагается развивать в рамках ТП 40](#_Toc536777333)

[1.7. Возможности и ограничения использования объектов научной и инновационной инфраструктуры 41](#_Toc536777334)

[Раздел 2. Прогноз развития рынков и технологий в сфере деятельности платформы 43](#_Toc536777335)

[2.1. Видение будущего в контексте социально-экономического развития России на средне- и долгосрочную перспективу 43](#_Toc536777336)

[2.2. Сценарии развития рынков и технологий в отраслях и секторах экономики, к которым относится ТП, в том числе спроса на основные виды продукции ТП 47](#_Toc536777337)

[2.2.1. Примеры технологических направлений развития СВЧ-электроники 47](#_Toc536777338)

[2.2.1.1. Системы мобильной связи 48](#_Toc536777339)

[2.2.1.2. Интернет вещей и М2М 50](#_Toc536777340)

[2.2.1.3. СВЧ-системы локальной передачи данных 51](#_Toc536777341)

[2.2.1.4. Системы волоконно-оптической связи 54](#_Toc536777342)

[2.2.1.5. Радары системы СВЧ-зрения 54](#_Toc536777343)

[2.3. Прогноз потребности в кадрах 55](#_Toc536777344)

[2.4. Прогноз развития технологий, относящихся к ТП (наиболее перспективных с точки зрения обеспечения конкурентоспособности), прогноз основных свойств (технических и потребительских характеристик) 59](#_Toc536777345)

[Прогноз развития рынков продукции, на разработку (совершенствование) которых направлена деятельность ТП 61](#_Toc536777346)

[2.5 Идентификация рынков, характеризующихся существенными возможностями распространения основных параметров развития данных рынков 61](#_Toc536777347)

[2.6. Виды продукции ТП, имеющие наилучшие рыночные перспективы в кратко-, средне- и долгосрочном периоде 67](#_Toc536777348)

[2.7. SWOT-анализ альтернативных продуктов и услуг. Выявление барьеров, рисков и ограничений развития продукции ТП 68](#_Toc536777349)

[2.7.1. Сильные стороны реализации деятельности ТП «СВЧ-электроника» 68](#_Toc536777350)

[2.7.2. Внутренние проблемы, мешающие реализации проектов в области СВЧ-электроники 68](#_Toc536777351)

[2.7.3. Внешние факторы: возможности для развития СВЧ-электроники 69](#_Toc536777352)

[2.7.4. Возможные барьеры и внешние риски развития СВЧ-электроники 70](#_Toc536777353)

[Раздел 3. Направления исследований и разработок, наиболее перспективные для развития в рамках платформы 71](#_Toc536777354)

[3.1. Направления исследований и разработок, по которым участники ТП заинтересованы координировать свои действия и/или осуществлять кооперацию друг с другом на доконкурентной стадии 71](#_Toc536777355)

[3.2. Перечень продукции ТП. Группы перспективных технологий, которые предполагается развивать в рамках стратегической программы исследований и разработок ТП. Цели и задачи технологической ТП, уточненные/актуализированные исходя из состава и структуры направлений кооперации R&D на доконкурентной стадии 73](#_Toc536777356)

[3.3. Направления собственных (российских) научных исследований и разработок, для обеспечения российских предприятий-производителей техническими и технологическими решениями, важнейшими с точки зрения их конкурентоспособности (в средне- и долгосрочном периоде) 87](#_Toc536777357)

[Раздел 4. Тематический план работ и проектов платформы в сфере исследований и разработок 89](#_Toc536777358)

[4.1. Детализированный план работ и проектов в сфере исследований и разработок, которые предполагается выполнить на первом этапе деятельности ТП (в первоочередном порядке) 89](#_Toc536777359)

[4.2. Работы и проекты, которые предполагается выполнять совместно несколькими участниками ТП (при координации действий и/или в кооперации участников друг с другом на доконкурентной стадии) 94](#_Toc536777360)

[Раздел 5. Мероприятия по коммерциализации технологий и совершенствованию механизмов управления правами на результаты интеллектуальной деятельности 96](#_Toc536777361)

[5.1. Выявление возможностей и ограничений использования ранее созданных РИД для достижения целей и задач ТП 98](#_Toc536777362)

[5.2. Система мер по организационному, финансовому, экспертному и информационному обеспечению патентования РИД, полученных в ходе реализации ТП 98](#_Toc536777363)

[5.3. Мероприятия по совместному использованию результатов интеллектуальной деятельности участниками ТП 101](#_Toc536777364)

[5.4. Мероприятия по содействию коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности 102](#_Toc536777365)

[Раздел 6. Меры в области подготовки и развития научных и инженерно-технических кадров 105](#_Toc536777366)

[6.1. Развитие образовательных и профессиональных стандартов в сфере деятельности ТП 105](#_Toc536777367)

[6.2. Совершенствование действующих и разработка новых программ профессионального и дополнительного образования с учетом потребностей бизнеса в сфере деятельности ТП. Обеспечение их реализации на базе ведущих вузах в необходимых объемах 111](#_Toc536777368)

[6.3. Совершенствование профильной и уровневой структуры подготовки специалистов с учетом потребностей бизнеса в сфере деятельности ТП, развитие механизмов непрерывного образования 117](#_Toc536777369)

[6.4. Содействие мобильности научных и инженерно-технических кадров и обмена кадрами между организациями - участниками технологической ТП (стажировки, обмен и другие формы) 122](#_Toc536777370)

[6.5. Формирование механизмов мониторинга кадрового обеспечения предприятий ‒ участников технологической ТП, а также уровня подготовки их научных и инженерно-технических кадров 123](#_Toc536777371)

**СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ**

**технологической платформы «СВЧ технологии»**

За основу при формировании Стратегической программы исследований технологической платформы «СВЧ технологии» (далее – СПИ) приняты положения:

* Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 года, утвержденная приказом Минпромторга РФ от «7» августа 2007 г. № 311;
* Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от «17» ноября 2008 г. № 1662-р;
* Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2020 года и дальнейшую перспективу, утвержденные Президентом Российской Федерации «11» января 2012 г. № Пр-83;
* Основы политики Российской Федерации в области развития электронной компонентной базы на период до 2010 года и дальнейшую перспективу, утвержденные Президентом Российской федерации «11» апреля 2002 г.;
* Государственная программа Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 гг., утвержденная распоряжением Правительства РФ № 2433-р от «20» декабря 2012 года.
* Стратегия научно-технологического развития российской Федерации, утвержденной указом № 642 президента РФ от «1» декабря 2016 года, а также других документов, предусмотренных № 172-ФЗ от 28.06.2014 «О стратегическом планировании в Российской Федерации»;
* Государственная программа вооружения на период до 2020 года,

а также результаты фундаментальных, прикладных и прогнозных исследований, результаты реализации и планы выполнения НИОКР и капитального строительства в рамках федеральных целевых программ «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008-2015 годы, «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2011-2020 годы», комплексных целевых программ развития СВЧ электроники для обеспечения перспективных и существующих систем вооружения и военной техники, радиоэлектронной аппаратуры двойного и гражданского (общепромышленного) применения, достигнутый к настоящему времени и планируемый на программный период технический уровень изделий отечественной СВЧ электроники и научно-технический и производственно-технологический уровень предприятий СВЧ подотрасли, входящих в Холдинг акционерного общества «Российская электроника» (АО «Росэлектроника»), а также предприятий и организаций СВЧ подотрасли, являющихся стратегическими партнерами Холдинга (в первую очередь, это организации Российской академии наук и предприятия оборонно-промышленного комплекса, разрабатывающие и серийно производящие СВЧ устройства и компоненты).

Кроме того, использованы сведения о достигнутом к настоящему времени и планируемом на программный период техническом уровне отечественных высокоскоростных и телекоммуникационных технологий, технологий создания средств связи и цифрового телевидения, а также о научно-техническом и производственно-технологическом уровне отечественных предприятий подотрасли.

**В России, как и за рубежом, технологии создания изделий СВЧ электроники отнесены к критичным технологиям**, которые во многом определяют облик и тактико-технические характеристики образцов радиоэлектронного вооружения и военной техники.

**Одним из ключевых направлений развития отечественной СВЧ электроники, при сохранении ведущей роли военной СВЧ электроники, должна рассматриваться диверсификация структуры производимых электронных СВЧ компонентов с ориентацией на рынок радиоэлектронной аппаратуры двойного и сугубо гражданского применения.**

Изделия СВЧ электроники включают широкий спектр различных групп приборов, отличающихся по назначению, физическому принципу действия, конструкции и технологии изготовления. Это электровакуумные приборы СВЧ – ЭВП СВЧ (магнетроны, усилители М-типа, лампы бегущей и обратной волны, клистроны, клистроды, гироприборы); твердотельные приборы СВЧ в дискретном, монолитном, гибридном и гибридно-монолитном исполнении (СВЧ транзисторы и диоды, малошумящие СВЧ усилители, усилители СВЧ мощности, генераторы, синтезаторы частот, фильтры, фазовращатели, аттенюаторы, переключатели, модуляторы, преобразователи частот (умножители, делители, смесители), модули СВЧ приемные, передающие, приемо-передающие); ферритовые приборы СВЧ (вентили, фазовращатели, фильтры, циркуляторы и пр.); комплексированные изделия СВЧ (электровакуумные, твердотельные и вакуумно-твердотельные, с применением в своем составе ЭВП СВЧ, твердотельных дискретных приборов и модулей СВЧ, ферритовых приборов СВЧ, изделий силовой и микроэлектроники). Отдельным сегментом выделяются законченные радиоэлектронные устройства, функционирующие в СВЧ и КВЧ диапазонах.

**Сегодня развитие новых материалов и микроэлектронных технологий СВЧ-электроники полностью определяют требуемые характеристики РЭА, а также конечных комплексов и систем. Это очень важная особенность именно современного этапа развития СВЧ-технологий.** Микроэлектронные СВЧ-технологии являются движущей силой и определяют темп развития и требуемые технические характеристики конечных изделий, поскольку основные ТТХ радиоэлектронной аппаратуры различного функционального предназначения (требуемые дальность, точность и т.д.) четко пересчитываются по известным соотношениям в электрические параметры СВЧ приборов и устройств (выходная мощность, коэффициент шума, полоса частот и пр.). Поэтому сегодня как никогда важно понимать, что при создании новых продуктов необходима самая тесная кооперация специалистов, предприятий и организаций, работающих в области разработки микроэлектронных технологий, производства СВЧ-компонентов, создателей РЭА и конечных систем (поскольку для того, чтобы сформулировать технические требования к перспективным системам, конечному оборудованию, нужно хорошо представлять возможности еще только создаваемой элементной базы - цифровой и аналоговой, перспективы ее развития с глубиной не менее 5-7 лет). Развитие высокоскоростных информационных и телекоммуникационных технологий определяется характеристиками средств связи, включая оснащение линий ВОЛС и цифрового телерадиовещания абонентскими, линейными и многофункциональными терминалами. А эти характеристики целиком и полностью определяются элементной базой, включая СВЧ-аналоговые тракты, высокоскоростные цифровые средства обработки информации, высокоэффективные средства отображения информации и т.д.

Именно поэтому в области СВЧ-электроники необходим такой инструмент межведомственного, межотраслевого и межвидового объединения российских предприятий и организаций, как «технологическая платформа».

Настоящая стратегическая программа исследований и разработок составлена и актуализирована специалистами департамента технологического развития организации-координатора технологической платформы «СВЧ технологии» АО «Росэлектроника» в соответствии с «Методическими материалами по разработке стратегической программы исследований технологической платформы», опубликованными на сайте Минэкономразвития РФ. Отчет консолидирует материалы и предложения организаций-участниц данной платформы, направленных на основании запроса организации-координатора (исх. № РЭ-338 от 18.01.2017 «О подготовке отчета за 2016 год и плана действий на 2017 год») с целью обеспечения максимально широкого участия в установленный срок. В дальнейшем, проект отчета (с планом действий) были разосланы в электронном виде для учета замечаний и предложений всем участникам платформы (исх. № РЭ-819 от 06.02.2017 «О направлении материалов по повестке дня на внеочередном Общем собрании участников технологической платформы «СВЧ технологии»), утвержден на Общем собрании участников (протокол №1/2017 от 27.02.2017) и затем оперативно размещен на интернет-странице платформы по адресу: <http://new.isvch.ru/tp/>.

Актуальная информация по развитию, новостям, участникам и мероприятиям технологической платформы «СВЧ технологии» представлена на ее официальном сайте <http://new.isvch.ru/tp/>.

# Раздел 1. Текущие тенденции развития рынков и технологий в сфере деятельности платформы

## Описание текущего состояния рынков отраслей и секторов экономики по основным показателям (объемы рынков и их основных сегментов, динамика их роста и др.)

СВЧ-электроника сегодня является одним из основных векторов развития всей индустрии электроники. Это глобальный тренд, охватывающий все возможные области электроники - от изучения и создания технологий производства материалов, приборных структур, электронных компонентов до создания радиоэлектронной аппаратуры, конечных изделий, а также систем и комплексов (например, связных) их основе. С СВЧ-электроникой тесно связан ряд смежных направлений, относящихся практически ко всем видам материального производства, прежде всего - к контрольно-измерительному и аналитическому оборудованию, телекоммуникационной индустрии, транспортной промышленности (авиация, железнодорожный, автодорожный и водный транспорт), медицинской технике, машиностроительному оборудованию, решениям для пищевой, химической, горнодобывающей и перерабатывающей промышленности и т.д. В силу развития технологий и материалов, сегодня СВЧ-электроника начинает играть ту же роль, которую с середины 1970-х годов и начала играть «традиционная» электроника, базирующаяся на планарной технологии СБИС.

В 2016 г., согласно данным аналитической компании WSTS, общемировой объем продаж полупроводниковых приборов вырос на 1,1 % и достиг 338,9 млрд. долл. В 2017 ожидается, что рост будет 6,5 % и превысит 361 млрд. долл., причем наибольший рост ожидается среди сенсоров, аналоговых ИС и памяти. А по прогнозам на 2018 г., вырастет еще на 2,3% и составит 369 млрд. долл.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Объем, млн. долл. | | | | CAGR, % | | | |
| 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Обе Америки | 68738 | 65537 | 72173 | 74102 | -0,8 | -4,7 | 10,1 | 2,7 |
| Европа | 34258 | 32707 | 33892 | 34636 | -8,5 | -4,5 | 3,6 | 2,2 |
| Япония | 21102 | 32292 | 33608 | 34200 | -10,7 | 3,8 | 4,1 | 1,8 |
| АТО | 201070 | 208395 | 221230 | 226113 | 3,5 | 3,6 | 6,2 | 2,2 |
| Итого, мировой | 335168 | 338931 | 360903 | 369050 | -0,2 | 1,1 | 6,5 | 2,3 |
| Дискретные полупроводниковые приборы | 18612 | 19418 | 20023 | 20674 | -7,7 | 4,3 | 3,1 | 3,2 |
| Оптоэлектроника | 33256 | 31994 | 32679 | 32241 | 11,3 | -3,8 | 2,1 | -1,3 |
| Сенсоры | 8816 | 10821 | 11797 | 12394 | 3,7 | 22,7 | 9 | 5,1 |
| Интегральные схемы | 274484 | 276698 | 296404 | 303741 | -1 | 0,8 | 7,1 | 2,5 |
| Аналоговая электроника | 45228 | 47848 | 51570 | 53315 | 1,9 | 5,8 | 7,8 | 3,4 |
| Микросхемы | 61298 | 60585 | 61106 | 62281 | -1,2 | -1,2 | 0,9 | 1,9 |
| Логические схемы | 90753 | 91498 | 97154 | 98975 | -1 | 0,8 | 6,2 | 1,9 |
| Память | 77205 | 76767 | 86574 | 89170 | -2,6 | -0,6 | 12,8 | 3 |
| Итого, по продуктам | 335168 | 338931 | 360903 | 369050 | -0,2 | 1,1 | 6,5 | 2,3 |

Отдельные направления полупроводниковой электроники, такие как интегральная и аналоговая электроники, производство логических схем (направления СВЧ-электроники) по прогнозу WSTS будут развиваются опережающими темпами - 7,1; 7,8 и 6,2 % в год, соответственно. В 2018 году прогнозируется относительное замедление общего темпа роста рынка полупроводников, усиливается значимость на этом рынке именно СВЧ технологий.

Развитие микроэлектронных СВЧ технологий обуславливает появление новых радиоэлектронных устройств и систем на их основе как конечного продукта. Важность создания СВЧ-радиоэлектронных устройств для связи, радиолокации, медицины, транспорта и т.п. осознавалась специалистами с середины XX века. Однако массогабаритные, энергетические, стоимостные характеристики устройств, которые тогда можно было создать, не соответствовали как требованиям массового рынка, так и требованиям, предъявляемым к системам ВВСТ. Зачастую уровень технологий просто не позволял даже ставить задачу на разработку СВЧ РЭИ. Ситуация кардинально изменилась с бурным развитием микроэлектронных технологий - как в направлении кремниевых КМОП, таки и в области создания и промышленного освоения новых материалов. Вместе с ними развились новые технологии корпусирования, гибридизации - например, появились 3D гибридные интегральные схемы, «системы в корпусе», развились технологии 3D-интеграции, а сегодня уже идет речь о трехмерных гетерогенных интегральных схемах на одном кристалле.

Важно отметить, что в середине 1980-х годов, на которые приходится начало массового освоения новых материалов и технологий СВЧ-электроники, рынок был преимущественно связан с военными комплексами и системами. Однако уже через 10 лет, в середине 1990-х мировой рынок потребления продукции СВЧ-электроники стал преимущественно гражданским. Во многом это было обусловлено появлением и массовым распространением телекоммуникационных систем - прежде всего, сетей сотовой связи, а к началу 2000-х - локальных систем беспроводной связи, таких как Wi-Fi. Тогда речь шла преимущественно и приборах на основе GaAs-, позднее - на основе SiGe-технологий.

С тех пор тенденция развития гражданского, коммерческого рынка СВЧ-электроники только усиливается. В 2003 году военный и космический секторы рынка потребляли лишь 9 % всех мощных (свыше 20 Вт), 76 % потребления таких приборов было связано с сегментом базовых станций сотовой связи.

На мировом рынке микроволновых устройств прогнозируется показатель CAGR на уровне 3,4 %, объем рынка - 1,2 млрд. Долл. к 2019 году (MarketsandMarkets). Объем глобального рынка СВЧ-устройств в 2015 году оценивался в 7,46 млрд. Долл., и ожидается, что в прогнозируемый период он будет только расти – до 11,86 млрд. к 2024 году (Grand View Research).

Доля рынка военных систем составляет 4,7 %. Доминирует рынок систем сотовой связи (65,9 %) и других беспроводных телекоммуникационных систем (20,5 %). Другие значимые рынки - ВОЛС (3,7 %), бытовая электроника (3,9 %). В самом начале развития находится рынок СВЧ-технологий для автомобильной промышленности - менее 1,8 %. Наиболее перспективными материалами являются SiC и GaN, технологии создания устройств на их основе будет стимулировать рост отрасли. Они обеспечивают высокую эффективность, теплостойкость, могут хорошо работать в суровых условиях, в т.ч. в условиях повышенного радиационного фона.

Рисунок 1.1 - Доли рынков в СВЧ электронике

Основные игроки:

* Communications & Power Industries (CPI)
* Cytec Corporation
* e2V
* L-3 Communications
* MicroWave Technology, Inc.
* RF Microwave Devices
* Richardson Electronic, Ltd.
* Teledyne Technologies, Inc.
* Thales Group
* TMD Technologies, Ltd.
* Toshiba Corporation
* Sumitomo Electric Industries, Ltd.
* Mitsubishi Electric Corporation
* Wolfspeed Cree

Современные полупроводниковых СВЧ-приборы зачастую полностью определяют технические характеристики и конкурентные преимущества финишной продукции, поэтому при относительно небольшой доле рынка собственно полупроводниковых приборов они играют важнейшую роль для успеха на других рынках. Например, компания Keysight Technologies (входила в состав Agilent Technologies, с 2017 г. - Ixia) - ведущий мировой производитель электронного контрольно-измерительного и тестового оборудования и программного обеспечения с объемом продаж 2,91 млрд. долл. (2016 г.) - содержит собственный полупроводниковый завод, выпускающий СВЧ МИС (на основе GaAs и InP) и модули на их основе исключительно для собственного потребления, поскольку именно эти МИС полностью определяют выдающиеся технические характеристики их продукции.

Конечно, СВЧ-электроника - как в России, так и за рубежом - в огромной степени определяет и ТТХ современных систем ВВСТ. Поэтому технологии создания изделий СВЧ-электроники отнесены к критичным технологиям. Важность этого направления едва ли уместно измерять долей рынка, поскольку идет речь о безопасности государства. Однако концентрация только на военном применении СВЧ-электроники означает ровно тот факт, что остальные области применения (сегодня - более 95 %) оказываются просто неохваченными, т.е. отданными на откуп зарубежным производителям. Кроме того, специфика микроэлектронных технологий такова, что стабильные характеристики элементной базы, ее качество и надежность можно обеспечить только при массовом выпуске - штучное производство здесь невозможно.

Поэтому при развитии СВЧ-электроники необходимо в равной степени ориентироваться как на потребности коммерческого рынка, так и на требования создания современных ВВСТ, диктуемые государством. При этом целесообразно использовать государственные программы, связанные с созданием ВВСТ (помимо выполнения основной задачи), именно как инвестиции в НИКОР, и концентрироваться на получении прибыли на массовых коммерческих рынках. Причем речь идет именно о массовых рынках (связь, вычислительная техника, бытовая электроника и т.д.), но не о гражданских рынках, в основном контролируемых государством - просто в силу несопоставимости размеров этих рынков. Сегодня эти российские рынки в основном заняты продукцией зарубежных производителей, и конкурировать в рамках уже ставшей массовой продукции с ними практически невозможно. **Поэтому именно развивающаяся СВЧ-электроника, формирующая сегодня новые направления, новые продукты и новые рынки, позволяет новым игрокам (в данном случае - российским компаниям) занять на них достойное место, что и явилось причиной и целью создания технологической платформы «СВЧ технологии».**

Именно возможности новых микроэлектронных СВЧ-технологий и тесно связанных с ними цифровых микроэлектронных технологий (которые сегодня по существу тоже являются «сверхвысокочастотными», но оперируют не аналоговыми сигналами, а информационными потоками) позволили развиться многим направлениям электроники, машиностроения, аналитического приборостроения, биомедицины и др. областей.

В свою очередь, развивающиеся на базе СВЧ-электроники направления диктуют все новые требования к СВЧ-элементной базе - по частотам, широкополосности, мощности, КПД, уровню шумов, массогабаритным и стоимостным характеристикам. Это неразрывный взаимосвязанный процесс - от конечных массовых применений до исследований в области материалов и технологий СВЧ-электроники. Поэтому говоря о развитии СВЧ-электроники, нужно говорить именно о комплексном подходе, о кооперации разработчиков материалов, создателей приборных структур, разработчиков элементной базы, производителей РЭА, создателей и эксплуататоров различных систем на их основе (телекоммуникационных, телеметрических, медицинских, оборонных и т.п.). Поскольку СВЧ-электроника в России, как и во всем мире, является критически важной технологией (не только с военной точки зрения, но и с позиции экономического развития и технологической независимости), необходима тесная работа с государственными структурами - регуляторами, законодателями, институтами инвестиционного развития и т.д.

Крайне актуальной задачей, которую необходимо решить в ближайшее время (по состоянию на январь 2018 года) - это создание отечественных фабрик (foundries) с полным циклом изготовления специализированных СВЧ МИС с приемкой «5» по заказам дизайн-центров.

**1.2. Описание основных технических и технологических решений, в целом характеризующих текущий уровень развития рынков и технологий**

СВЧ-электроника включает широкий спектр различных направлений, связанных с разработкой, производством и внедрением СВЧ элементной базы, конечных устройств и систем.

В области элементной базы можно назвать широкую группу приборов, отличающихся по назначению, физическому принципу действия, конструкции и технологии изготовления. Это:

- электровакуумные приборы СВЧ (ЭВП СВЧ): магнетроны, усилители М-типа, лампы бегущей и обратной волны, клистроны, клистроды, гироприборы;

- твердотельные приборы СВЧ в дискретном, монолитном, гибридном и гибридно-монолитном исполнении: СВЧ транзисторы и диоды, малошумящие усилители, усилители мощности, генераторы, синтезаторы частот, фильтры, фазовращатели, аттенюаторы, переключатели, модуляторы, преобразователи частот (умножители, делители, смесители),

- модули СВЧ: приёмные, передающие, приемо-передающие;

- ферритовые приборы СВЧ (вентили, фазовращатели, фильтры, циркуляторы и пр.);

- комплексированные изделия СВЧ: электровакуумные, твердотельные и вакуумно-твердотельные, с применением в своём составе ЭВП СВЧ, твердотельных дискретных приборов и модулей СВЧ, ферритовых приборов СВЧ, изделий силовой и микроэлектроники.

Сегодня можно говорить о появлении нового класса элементной базы СВЧ-электроники - высокоинтегрированной, совмещающей аналоговую и цифровую часть и даже фазированные антенные решетки в рамках одной монолитной микросхемы. Это - один из прорывов в области элементной базы, в корне меняющий принципы конструирования и построения радиоэлектронных устройств. Основная проблема работы с СВЧ-компонентами - особые требования к материалам подложек, объединительных плат, сложность конструирования СВЧ-узлов из-за необходимости учета СВЧ-эффектов, необходимость в волноводах, потребность в дорогостоящем контрольно-измерительном оборудовании, средствах САПР и т.д. С появлением новой СВЧ элементной базы все эти проблемы отпадают, поскольку инженер получает в свое распоряжение законченный функциональный СВЧ-модуль с цифровым интерфейсом и аналоговым СВЧ-портом для работы с полностью сформированным СВЧ-сигналом. Более того, появляются компоненты с интегрированными антеннами, в том числе - с динамически перестраиваемыми диаграммами направленности, что вообще исключает необходимость работы с аналоговыми СВЧ-трактами.

Подобная интеграция означает примерно то же, что и появление планарной технологии для всей электроники в целом, а затем - и создание на ее основе высокоинтегрированных микросхем, прежде всего - микропроцессоров и микроконтроллеров. Причем сегодня развиваются программы (например, DAHI под управлением DARPA), направленные на 3D-интеграцию в рамках одного кристалла функциональных элементов, созданных на основе различных технологий и материалов (например, кремниевый КМОП-процессор и СВЧ-трансивер на основе GaN и/или InP).

### 1.2.1. Описание технологий в сфере деятельности платформы

За рубежом (США, Франция, Япония и др.) при сохранении общего потенциала СВЧ-электроники в последние годы особенно бурное развитие получила твердотельная СВЧ-электроника и мощные вакуумные СВЧ приборы миллиметрового и террагерцового диапазона.

В США в результате реализации программ MIMIC, MASFET и др. технология МИС СВЧ с длиной затвора 0,25 мкм (для МИС, работающих на частотах до 30-40 ГГц) стала стандартом, многие фирмы освоили технологии   
0,1…0,15 мкм для МИС миллиметрового диапазона. Промышленные сверхширокополосные монолитные усилители достигли коэффициента шума менее 3 дБ в полосе 2-18 ГГц, выпускаются широкополосные монолитные усилители с частотами до 100 ГГц, созданы монолитные усилители мощности с выходной мощностью до 5 Вт с кристалла в полосе 6-18 ГГц и КПД до 60%. Перешли в стадию испытаний гибридные вакуумно-твердотельные усилители с удельной мощностью свыше 80-100 Вт/кг в полосе 6-18 ГГц и КПД 25-40%. Освоен выпуск многофункциональных МИС с площадью 20-40 мм2 при выходе годных 50-75%. Многими фирмами освоена технология выпуска МИС на базе гетероструктурных биполярных транзисторов, обеспечивающих 1,5…2-кратное увеличение КПД и удельной мощности широкополосных МИС. Промышленно выпускаются псевдоморфные гетероструктурные полевые транзисторы с мощностью до 1,5 Вт на частоте 18 ГГц при КПД 50% и усилении 9,5 дБ. Заканчивается переход на серийный выпуск пластин арсенида галлия диаметром 150-200 мм. Практически стандартизованы системы САПР МИС СВЧ, включающие средства объемного электродинамического моделирования, нелинейного анализа и подготовки шаблонов, реализованные на мощных рабочих станциях.

В результате реализации ряда программ в США и в Европе по созданию бортовых РЛС с АФАР (URR - Ultra Reliable Radar, AMSAR - Airborne Multirole multifunction Solid-state Active array Radar, GTAR - GAC Thomson Airborn Radar, HDMP – High Density Microwave Packaging Program, AVIP – «интеграция авионики» и др.) в рамках проектов F-22, YF-23, JSF проведен комплекс работ по созданию технологий и разработке T/R СВЧ приемо-передающих модулей для АФАР высокой плотности компоновки с применением керамики высокотемпературного (HTCC) и низкотемпературного (LTCC) обжига для создания многослойных плат, согласования, разводки и компоновки пассивных и активных (МИС) элементов СВЧ схем. В своей основе АФАР состоит из сотен, иногда тысяч (в зависимости от задач) отдельных приемо-передающих элементов, выполненных в виде приемопередающих модулей (ППМ). Управление данными, получаемыми от такого большого количества элементов, оказалось возможным благодаря большим вычислительным мощностям, которые стали доступны при небольших габаритах бортовых вычислителей. Поскольку стоимость самой антенны составляет около 52 % от стоимости всей РЛС, фирмы-разработчики делают основные инвестиции именно в технологию изготовления ППМ. Начиная с 1994 г., к настоящему времени толщина ППМ фирмы Raytheon (США) уменьшилась на 90 % и составляет 8 мм, масса снизилась на 83 %, а стоимость упала на 82 %. Это обусловлено архитектурными изменениями в ППМ, а также автоматизированной сборкой и испытаниями, которые сократили время производства.

Снижение стоимости является мощным стимулом применения технологии HDMP в начале 2000-х гг. Динамика снижения стоимости модуля такова, что при стоимости в начале 90-х годов приблизительно несколько тыс. долл., сегодня стоимость T/R-модуля находится в пределах 600 - 800 долл. и продолжает снижаться, и через несколько лет снизится до порога в 200 долл. за модуль, после которого усовершенствования, по оценкам некоторых специалистов в аэрокосмической области, будут дороже ожидаемой экономии. В то же время, уже представлены первые образцы ППМ, реализованные в виде отдельной МИС (например, MAMF 011015 компании MACOM - ППМ-модуль Х-диапазона в пластиковом корпусе PQFN-44. Усиление по приему 9 дБ, по передаче - 26 дБ, мощность насыщения 23 дБм, диапазон сдвига фазы - 5,6°), это направление будет интенсивно развиваться в ближайшие годы, поэтому мы вправе ожидать появления МИС ППМ с ценой ниже 100 долл.

Основные материалы, используемые сегодня для чипов интегральных схем СВЧ, – кремний (для низкочастотных или маломощный высокочастотных), арсенид галлия, (для высокочастотных), фосфид индия, нитрид галлия (для МИС мм диапазонов), кремний-германий (для низкочастотных МИС, включающих в свой состав схемы цифрового управления и обработки). При этом в количественном соотношении наиболее массовыми являются СВЧ приборы на основе арсенида галлия. В самой емкой рыночной нише (усилители мощности сотовых телефонов) – им принадлежит 80% всего мирового рынка. Причем, когда сегодня говорят о GaAs, имеют в виду прежде всего гетероструктуры – AlGaAs/GaAs, InGaAs/GaAs и т.д. – и созданные на их базе транзисторы − биполярные и полевые с барьером Шоттки (HEMT). Арсенид галлия традиционно рассматривался как основной материал для СВЧ-приборов. Подвижность электронов (8500 см2/(В·с)), ширина запрещенной зоны и напряженность поля пробоя (1,42 эВ и 4·105 В/см, соответственно) – делают GaAs предпочтительнее кремния в области СВЧ. Это был первый освоенный промышленностью материал из группы полупроводников AIIIBV, с которыми и сегодня связаны многие перспективы СВЧ-электроники.

Более 95 % рынка монокристаллов GaAs составляют два типа материалов, приблизительно одинаковых по объему производства: полуизолирующий (ПИ) GaAs с удельным электросопротивлением >107 Ом·см, используемый при производстве СВЧ ИС и дискретных приборов и сильно легированный кремнием (1017-1018 см-3) GaAs с низкой плотностью дислокаций, применяемый при изготовлении светодиодов и лазеров.

Несмотря на опережающий рост эпитаксиальных технологий, основным методом изготовления активных слоев СВЧ приборов пока остается ионная имплантация непосредственно в подложку GaAs. Именно эта технология задает основные требования к ПИ материалу: высокое удельное сопротивление, обеспечивающее надежную изоляцию активных областей (>107 Ом·см); низкое содержание фоновых примесей, присутствие которых может снижать концентрацию носителей заряда в активном слое; высокая однородность распределения электрофизических параметров по поперечному сечению слитка, выращенного в кристаллографическом направлении.

В объемном материале удовлетворить этим требованиям трудно, поэтому была предложена технология создания буферных слоев, при использовании которой на полуизолирующей подложке выращивается относительно толстый эпитаксиальный слой с высоким удельным сопротивлением. Активный слой создается либо дальнейшим эпитаксиальным наращиванием, либо методом ионной имплантации в буферном слое. Данная методика позволяет маскировать нежелательные свойства подложки, но при этом усложняется процесс и увеличивается стоимость изготовления. Практической целью исследований полуизолирующего GaAs является возможность образования активного слоя непосредственно на подложке, удовлетворяющего всем требованиям.

Помимо этого, экономические соображения производства ИС требуют использования пластин большой площади. Поэтому в середине 90-х годов в мировом производстве произошел переход на использование пластин ПИ GaAs диаметром 100 мм, а с конца 90-х годов начался переход на использование пластин диаметром 150 - 200 мм. Кристаллы такого диаметра и массой до 30 кг производятся с использованием промышленных технологий.

Прогресс в изучении электрических свойств полуизолирующего GaAs сдерживается трудностями, связанными с проведением измерений и интерпретацией результатов для высокоомных материалов. Даже сегодня еще существуют противоречия, касающиеся механизма проводимости в этих материалах и роли собственных дефектов или комплексов, связанных с примесями.

Материалы группы GaN со своими уникальными характеристиками - это серьезное научно техническое завоевание конца 20 – начала 21 века, которое помимо оптоэлектронных приборов (светодиодов, лазеров, ультрафиолетовых фотоприемников) открыло потенциальные возможности для создания высокочастотных, высокомощных и высокотемпературных электронных приборов. Речь идет, прежде всего, о полевых транзисторах на AlGaN/GaN -гетероструктурах.

Транзисторы на нитриде галлия, созданные впервые в 1993 году, существенно расширили возможности приборов CВЧ-диапазона. Эти приборы способны работать в значительно более широком диапазоне частот и при более высоких температурах, а также с большей выходной мощностью по сравнению с приборами на кремнии, арсениде галлия, карбиде кремния или на любом другом освоенном в производстве полупроводниковом материале. Максимальная ширина запрещенной зоны обуславливает возможность работы транзистора при высоких уровнях активирующих воздействий (температуры, радиации). Очень высокая концентрация электронов в области двумерного электронного газа в сочетании с приемлемой подвижностью электронов дает возможность реализации большой плотности тока в сечении канала транзистора и высокого коэффициента усиления. Максимальная критическая напряженность электрического поля в сочетании с высокой плотностью тока обеспечивает удельную выходную мощность промышленных GaN-транзисторов на порядок превышающую удельную выходную мощность арсенидгаллиевых транзисторов. По сравнению с серийно выпускаемыми GaAs МИС новые изделия на основе GaN-транзисторов имеют в 2-10 раз большую выходную мощность и сравнимый, либо больший КПД при одинаковых или меньших размерах кристалла. Номенклатура выпускаемых GaN усилительных МИС пока в десятки (если не в сотни) раз меньше, чем GaAs МИС, однако, фаза промышленного освоения этой технологии только началась и в ближайшие годы предложения на этом рынке должны резко расшириться. Проблемными моментами, сдерживающими развитие GaN-приборов, являются задача обеспечения адекватного теплоотвода от активной структуры и необходимость выращивания эпитаксиальных структур GaN на чужеродных (отличающихся по параметрам кристаллической решетки, тепловому расширению и т.д.) подложках, из-за невозможности реализации высокоомной подложки собственно GaN.

Все перечисленные характеристики GaN-приборов были достигнуты главным образом благодаря большому объему работ по исследованию и совершенствованию эпитаксиальных структур на подложках из сапфира, SiC, Si (111), выращиваемых методами осаждения из паровой фазы металлоорганических соединений (MOCVD), молекулярно-лучевой эпитаксии (MBE) и хлоридно-гидридной эпитаксии (HVPE). Однако, несмотря на впечатляющие результаты, достигнутые к настоящему времени, технология формирования исходных эпитаксиальных структур AlGaN/GaN на подложках сапфира, SiC и Si (111) методами гетероэпитаксии еще далека от совершенства. Структуры, выращенные методами MOCVD, MBE и HVPE, имеют большую плотность дефектов (106–109 см-2). Правда, дефекты в III-нитридах в силу своей природы значительно слабее влияют на параметры, чем дефекты в полупроводниковых соединениях типа АIIIBV (GaAs, InP, GaP), традиционно используемых для изготовления СВЧ-приборов. Но присутствие дефектов сказывается на долговременной работе, особенно в условиях высоких напряжений и повышенных температур. Совершенствование технологии GaN-транзисторов и улучшение качества исходных эпитаксиальных структур позволили достигнуть в последние годы новых рекордов по максимальной крутизне прибора, по граничной и максимальной частотам, а также по удельной плотности тока канала. Однако высокая плотность дефектов не позволяет производить надежные изделия с большой площадью поверхности кристалла. Поэтому достигнутые рекордные значения удельной отдаваемой мощности 10–30 Вт/мм следует рассматривать скорее, как демонстрацию принципиальных возможностей материала.

Создание любого качественного полупроводникового изделия начинается с монокристаллической пластины, используемой в качестве подложки для дальнейшего наращивания приборной структуры. Структурное качество и однородность свойств подложечного материала определяет, как параметры отдельного прибора, так и процент выхода годных приборов с пластины в целом. Как правило, для того чтобы выращивать структуры с минимальным содержанием дислокаций несоответствия используются подложки того же материала, что и наращиваемые эпитаксиальные слои, т.е. для соблюдения правила минимального рассогласования периодов решетки. Отсюда возникает проблема получения высококачественных однородных, в том числе полуизолирующих монокристаллических подложек, которые используются в многочисленных приборах и устройствах как СВЧ-электроники, так и оптоэлектроники, вычислительной и лазерной техники, силовой электроники, электроэнергетики, микро- и наноэлектроники. Актуальным остается вопрос получения подложек с высокими значениями удельного сопротивления, подвижности макро- и микро-однородностью распределения свойств по пластине. К приборам работающих в условиях жесткой радиации к этим требованиям добавляется еще требование по радиационной стойкости изделия.

Радиационное модифицирование полупроводниковых материалов, т.е. направленное изменение их свойств воздействием быстрых электронов, гамма-квантов, нейтронов, протонов, альфа-частиц, является одним из наиболее перспективных и бурно развивающихся в последние годы физико-технологических методов. Контролируемое введение как легирующих примесей, так и дефектов в полупроводниковые материалы радиационными методами в сочетании с последующими термическими обработками позволяет в широких пределах изменять их электрофизические, оптические, структурные характеристики. Одним из основных методов, позволяющих получать полупроводниковые материалы с высокой однородностью распределения примеси по объему, и соответственно свойств, является метод ядерного легирования.

В последние годы активно ведутся работы по созданию СВЧ полупроводниковых приборов и устройств на основе алмазных структур, обладающих уникальными теплопроводными свойствами и радиационной стойкостью. Преодоление ряда технологических трудностей, связанных с физикой работы этих структур и их обработкой, позволяет с уверенность заявлять об их скором появлении в составе радиоэлектронной аппаратуры.

Другим важным направлением развития является все более широкое применение в СВЧ узлах и модулях решений микрофотоники. Применение таких решений позволяет принципиально по-новому решить целый ряд сложных современных задач построения СВЧ устройств. Массогабаритные, функциональные, технические характеристики СВЧ устройств могут быть улучшены в несколько раз (в перспективе на порядки величины параметров) за счет использования новых физических механизмов при обработке сигналов, фильтрации, передаче информации, синхронизации, освоении новых частотных диапазонов в связи и локации. Десятки тысяч публикаций в мире по данной тематике за последние пять лет являются убедительным свидетельством расширенного интереса ведущих мировых компаний к использованию преимуществ микрофотоники.

Наряду с разработкой активной СВЧ электронной компонентной базы, включающей создание базовых технологий производства транзисторов и монолитных сверхвысокочастотных микросхем на основе гетероструктур материалов группы А3В5, приемо-передающих сверхвысокочастотных субмодулей L-, S-, C- и X-диапазона, многофункциональных сверхвысокочастотных интегральных схем на основе нитридных гетероэпитаксиальных структур, гетероструктур «кремний – германий» и т.д., неотъемлемой частью и важным направлением развития СВЧ электроники является СВЧ пассивная электронная компонентная (СВЧ ПЭК).

В состав СВЧ ПЭК входят: СВЧ резисторы, поглотители, аттенюаторы, делители мощности, СВЧ конденсаторы, СВЧ индуктивности, СВЧ акустоэлектронные компоненты (СВЧ АЭК), элементы СВЧ микрофотоники, специальные СВЧ корпуса, коммутационные подложки для интеграции многокристальных СВЧ модулей, средства защиты функционирования СВЧ модулей и др.

Основными системами, в которых возможно применение СВЧ ПЭК на частотах от нескольких МГц до 20 ГГц, являются следующие: AMPS, глобальная система связи с подвижными объектами (GSM), NMT450 - 900 MHz, DECT, системы многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), цифровая сотовая связь (DCS), персональная радиотелефонная связь (PCN), беспроводная локальная вычислительная сеть (Wireless LAN), сотовые базовые станции (cellular mobile base stations) и абонентские подвижные радиостанции (private mobile radios): TETRA, PMR, UMTS.

Из всего многообразия СВЧ ПЭК наиболее выгодно отличаются по функциональным возможностям акустоэлектронные компоненты (АЭК). На их основе традиционно во всем мире изготавливаются элементы для радиотехнических систем, мобильной и сотовой связи и т.д. (фильтры, резонаторы, линии задержки и др.). Этим можно объяснить наиболее продвинутый уровень их производства - более 8 млрд. долларов США в 2001 году. Ежегодно разрабатывается свыше тысячи типономиналов акустоэлектронных устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с объемом производства более 1 млрд. в год. В мире более 60 компаний имеют дело с изготовлением либо использованием устройств на ПАВ. В основном предел рабочих частот АЭК на ПАВ ограничивается значением 2 ГГц, что связано с технологическими пределами применимости фотолитографических процессов при изготовлении встречно-штыревых преобразователей, являющимися основными элементами для приема и возбуждения ПАВ в пьезокристаллической подложке. Повышение рабочих частот (до 20 ГГц) СВЧ АЭК связано с разработкой акустоэлектронных компонентов нового поколения, работающих на нетрадиционных типах акустических волн (вытекающие акустические волны, объемные акустические волны (ОАВ) в тонкопленочных пьезоструктурах (AlN, GaN, ZnO и т.д.), а также на новых видах пьезоакустических материалов.

Анализ новейших разработок ведущих мировых производителей СВЧ пассивных электронных компонентов, таких как Honeywell, Michelin, Texas Instruments Transense, Motorola, Murata, RFSAW, Avago Technologies, Fujitsu, Vishay, Epcos и др. позволяет выявить основные тенденции и перспективы развития рынка СВЧ пассивных электронных компонентов.

Главными из них являются:

- снижение габаритных размеров,

- выпуск практически всей номенклатуры в чип и бескорпусном исполнении для поверхностного и гибридного монтажа,

- расширение диапазона рабочих частот,

- повышение стабильности параметров в процессе эксплуатации и воздействии внешних факторов,

- постоянное расширение номенклатуры в области специального применения, в том числе создание широкой гаммы СВЧ резисторов, аттенюаторов, сумматоров.

Основные перспективы развития рынка СВЧ ПЭК основаны на появлении новых видов продукции:

- толстопленочных и тонкопленочных СВЧ-чип резисторов, поглотителей, аттенюаторов, делителей мощности,

- многослойных, пленочных и керамических СВЧ-чип конденсаторов,

- многослойных и пленочных СВЧ-чип индуктивностей,

- интегрированных пассивных СВЧ-чип компонентов на основе пленочных и многослойных RLC структур;

- элементов и средств защиты функционирования СВЧ узлов и модулей в условиях насыщенного электромагнитного воздействия,

- интегрированных и встроенных линий передачи, синхронизации, управления, элементов фильтрации, модуляции, мультиплексирования, генерации с предельно высокими характеристиками от пикосекундных импульсов до терагерцовых частот на основе решений микрофотоники,

- СВЧ АЭК (диапазон частот от 2 ГГц до 20 ГГц) (резонаторы и фильтры, дуплексоры на их основе и т.д.) нового поколения на основе тонкопленочных гетероэпитаксиальных структур AlN, GaN, ZnO, в английской транскрипции -FBAR, film bulk acoustic resonator, например, только у фирмы «Avago Technologies» число проданных фильтров по технологии FBAR в 2008 году превысило миллиард шт.,

- систем радиочастотной идентификации (РЧИ, RFID-системы) на основе пассивных акустоэлектронных СВЧ ПАВ- меток, не требующих дополнительных источников питания,

- акустоэлектронных сенсоров физических и механических величин (температура, давление, ускорение, деформация, напряжение и т.д.), акустоэлектронных газоанализаторов типа «электронный нос», анализаторов жидкости, микробиосенсоров и т.д. для микросистемной техники;

- высокоинтегрированных, высокоплотных, программируемых СВЧ гетерогенных модулей различного применения типа «микросистема-в-корпусе» с предельно плотной компоновкой и расширенной функциональностью.

Контроль параметров новых видов ЭКБ, как составная и неотъемлемая часть технологического процесса при их разработке и производстве, требует инновационного подхода к разработке и выпуску контрольно-измерительного оборудования (КИО). Оно должно обеспечивать сочетание традиционного подхода к разработке КИО, номенклатуре параметров и методам измерения со специфическими устройствами адаптации измеряемых изделий к измерительным системам (приборам) (контактные и зондовые устройства, вводы питания, согласующие трансформаторы, зондовые станции и др.). Именно по этому пути идут ведущие западные фирмы, например, Agilent Technologies, создавая на основе стандартных измерительных систем благодаря использованию соответствующих опций разнообразное специализированное оборудования для лабораторий и производства.

Выпуск новой продукции изделий электронной техники высокой функциональной сложности невозможен без опережающего развития метрологического обеспечения на всех этапах жизненного цикла изделия – от контроля качества исходных материалов до сертификации готовой продукции, включая испытания на надежность и долговечность. Одним из важных этапов в технологическом цикле изготовления радиоэлектронной аппаратуры в настоящее время является также входной контроль электронной компонентной базы (отечественного и иностранного производства) у потребителя.

Контрольно-измерительная техника, используемая в настоящее время при разработке ЭКБ, либо устарела, либо отсутствует, особенно в области создания ЭКБ для высокоточного оружия. До 90% парка КИО составляют приборы старше 15– 20 лет, новые поступления отечественного КИО составляют единицы. Контроль параметров новых видов ЭКБ (особенно твердотельной СВЧ электроники) возможен, только при наличии специфических устройств адаптации измеряемых изделий к измерительным системам (приборам) (контактные и зондовые устройства, вводы питания, согласующие трансформаторы, зондовые станции и др.).

## 1.3 Анализ конкуренции на внутреннем и внешних рынках и их ключевых сегментов

В Таблице 1.1 приведены ориентировочные оценки текущих значений и прогноз объема рынка СВЧ продукции мировых и отечественных производителей в стоимостном выражении.

Таблица 1.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Показатели** | **2011 г.** | **2015 г.** | **2020 г.** |
| Объем рынка СВЧ продукции мировых производителей (млрд. руб.) | 310,0 | 600,0 - 650,0 | 2200,0 - 2400,0 |
| Объем рынка СВЧ продукции российских производителей (млрд. руб.) | 5,0-7,0 | 20,0-25,0 | 200,0 - 240,0 |

В таблице 1.2 приведены основные виды электровакуумных СВЧ приборов и устройств, имеющие мировой и российский приоритет, технические и технологические решения которых защищены патентами Российской Федерации. По совокупности своих технических и эксплуатационных характеристик эти приборы являются лучшими в своих классах и определяют мировой технический уровень. В таблице приведены области применения этих СВЧ приборов, лидирующие предприятия-разработчики и изготовители, а также представлены применяемые для этих же целей приборы за рубежом и их изготовители.

Таблица 1.2

| Области применения | Применяемые в России СВЧ приборы  (лидирующее предприятие изготовитель) | Применяемые за рубежом СВЧ приборы  (изготовители) |
| --- | --- | --- |
| Передающие устройства малогабаритных радиолокаторов бортового и наземного базирования | Малогабаритные многолучевые клистроны с импульсной выходной мощностью более 400 Вт и удельной мощностью более1 кВт/кг  АО «НПП «Исток» им. Шокина»;  АО «НПП «Торий» | Аналогов нет.  Применяются ЛБВ, имеющие большие питающие напряжения и массогабаритные характеристики |
| Передающие устройства систем радиолокации бортового, мобильного и корабельного базирования | Мощные многолучевые клистроны, клистроны средней мощности с комплексом параметров определяющим мировой уровень  АО «НПП «Торий»;  АО «НПП «Исток» им. Шокина»;  ОАО «Светлана» | Communications & Power Industries США; Raytheon США; L-3 США; Thales Франция; |
| Измерительная техника, медицина (КВЧ-терапия), научные исследования, космическая связь, радиоастрономия | Единственная в мире серия широкодиапазонных электрически перестраиваемых генераторов типа ЛОВ (13 приборов), непрерывно перекрывающих диапазон 36-1400 ГГц  АО «НПП «Исток» им. Шокина» | Аналогов нет.  Серийно выпускаются полупроводниковые приборы до 100ГГц. Ведутся разработки полупроводниковых приборов в более высоких частотных диапазонах |
| Приемные тракты радиолокационных систем бортового, мобильного и корабельного базирования | ЦЗКУ - входные малошумящие усилители с защитой на циклотронном резонансе не имеют аналогов в мире.  Диапазон частот 0,7-15 ГГц с рабочей полосой 5-15%, Кш=1,5-4 дБ, Р вх доп 10-200 кВт (имп.), 0,3-2 кВт (средн.), ослабление в режиме защиты 100-130 дБ, время восстановления 10-30 нс.  АО «НПП «Исток» им. Шокина» | Аналогов нет.  В качестве защитных устройств применяются альтернативные решения с худшими параметрами по времени восстановления |
| Передающие устройства бортовых РЛС, РЛС мобильных и корабельных ЗРК ближнего действия | «Прозрачные» ЛБВ с уникальным набором технических характеристик по выходной мощности, полосе усиливаемых частот, КПД и массе  АО «НПП «Алмаз»;  АО «НПП «Исток» им. Шокина» | Аналогов нет.  Применяются технические решения с использованием нескольких передатчиков |
| Передающие устройства систем и комплексов связи и радиоэлектронного противодействия наземного, корабельного и бортового базирования | Широкополосные (октавные) ЛБВ с замедляющей системой спирального типа  АО «НПП «Алмаз» | Communications & Power Industries США; Raytheon США; L-3 США; Thales Франция |
| Бортовые и наземные комплексы различного назначения (БРЛС, связь, РЭБ и пр.) | Мощные высокопотенциальные ЛБВ с замедляющей системой на цепочках связанных резонаторов  АО «НПП «Исток» им. Шокина» | Communications & Power Industries США; Raytheon США; L-3 США; Thales Франция |
| Системы и комплексы связи космического базирования | ЛБВ космического применения  АО «НПП «Алмаз» | Communications & Power Industries США; Raytheon США; L-3 США; Thales Франция |

В таблице 1.3 приведены основные виды полупроводниковых СВЧ приборов и устройств, имеющие российский приоритет. Следует отметить, что лидирующие позиции в мире по этой номенклатуре продукции занимают зарубежные фирмы. Области использования этих приборов и лидирующие зарубежные производители также представлены в таблице.

Процессы и необходимость импортозамещения требуют разработки и энергичного освоения производства, а также эксплуатации, новых типов абонентских и линейных терминалов оптоволоконных сетей, а реально осуществляющаяся на практике конвергенция различных видов доставки информации и потребления информационных услуг связана созданием принципиально новых типов абонентской аппаратуры – семейства многофункциональных терминалов и цифровых приставок различных комбинаций функциональности, благодаря которым телевизор становится интерактивным терминалом и центром индивидуальной информационной (справочной, учебной, развлекательной) системы. Её возможности дополнительно расширяются с переходом в течение ближайшего пятилетия на телевидение сверх- и ультравысокой четкости, объемное, затем голографическое и т.д.

**При этом решение задач импортозамещения должно рассматриваться не как создание аналогов конкретных электронных компонентов СВЧ, а как упреждающее создание соответствующего технологического базиса, позволяющего проектировать и создавать электронные компоненты СВЧ с заданными техническими и эксплуатационными характеристиками с обозримой перспективой лидирующего развития.**

Потенциальная емкость гражданского рынка в России в первую очередь определяется действующими и развертываемыми системами, такими как:

- аппаратура систем управления воздушным движением, включающая: аэродромные и трассовые локаторы, глиссадные маяки, метеолокаторы, системы навигации и связи;

- аппаратура глобальной навигационной системы позиционирования «ГЛОНАСС»;

- аппаратура дистанционного зондирования Земли космического

базирования;

- аппаратура связи «Космос – Земля» космического базирования;

- аппаратура систем сотовой и беспроводной связи;

- системы цифрового телевидения и связи;

- оптоволоконные инфокоммуникационные сети;

- радиорелейные линии связи;

- системы идентификации грузов;

- системы спасения на море и на суше;

- системы управления движением автомобильного транспорта;

- интеллектуальные системы управления производственными процессами, ЖКХ, инфраструктурой, систем «умный дом», «умное производство», «умный автомобиль»,

- изделия личного пользования, такие как: портативные навигаторы глобальных навигационных систем «Navstar» и «Глонасс», радиомаяки, пейджеры, радиотелефоны и др.

При этом объем мирового рынка систем обеспечения безопасности воздушного, морского и наземного транспорта, автоматизированных систем управления движением транспорта составляет порядка 25-30 млрд. долларов США, а к 2020 году он может составить 350-450 млрд. долларов США.

Таблица 1.3

| Области применения | Номенклатура полупроводниковых СВЧ приборов и устройств  (изготовители) | Лидирующее предприятие изготовитель |
| --- | --- | --- |
| Радиоэлектронные устройства различного функционального назначения дм-, см- и мм диапазонов длин волн | Мощные и малошумящие биполярные и полевые транзисторы на основе гетероструктур арсенида галлия, нитрида галлия, фосфида индия  АО «НПП «Пульсар»;  АО «НПП «Исток» им. Шокина»;  ИСВЧПЭ РАН | TriQuint Semiconductor США;  Cree США;  M/A-Com Technology Solutions США |
| Радиоэлектронные устройства различного функционального назначения см- и мм диапазонов длин волн.  Радиолокационная аппаратура с АФАР.  Системы радиопротиводействия | Монолитные арсенид-галлиевые интегральные СВЧ схемы (МИС СВЧ) различного функционального назначения, в том числе многофункциональные МИС СВЧ «core-chip», выполненные на одном кристалле в едином технологическом процессе  АО «НПП «Исток» им. Шокина»;  АО «НИИПП», АО «НПП «Пульсар» | TriQuint Semiconductor США;  M/A-Com Technology Solutions США; Motorola Solutions США; Conexant Systems Inc. США; Microsemi США; Hittite Microwave Corp. США; Fudjitsu Япония; Toshiba Япония; IHP Германия; Ommic Франция; UMS Франция |
| Радиоэлектронные устройства различного функционального назначения дм-, см- и мм диапазонов длин волн | Гибридно-монолитные модули СВЧ различной функциональной сложности на основе СВЧ транзисторов и МИС СВЧ, включающие в том числе цифровые схемы управления и обработки сигналов, преобразователи питания, модуляторы, ферритовые развязывающие устройства и пр., изготовленные на основе теплоотводящих плат из поликора и многослойных керамических материалов  АО «НПП «Исток» им. Шокина»; АО «НИИПП»;  АО «НПП «Салют», АО «НПП «Пульсар» | TriQuint Semiconductor США;  Cree США; M/A-Com Technology Solutions США; Motorola Solutions США; Conexant Systems Inc. США; Microsemi США; Hittite Microwave Corp. США; CPI США; L-3 США; Raytheon США; Fudjitsu Япония; Toshiba Япония; IHP Германия; Ommic Франция; Thales Франция; UMS Франция |
| Радиолокационные средства с АФАР бортового, мобильного и корабельного базирования | Приемо-передающие субмодули многоканальных ППМ активных фазированных антенных решеток  АО «НПП «Исток» им. Шокина», АО «НПП «Пульсар» | Raytheon США; Thales Франция |
| Системы высокоточного оружия | Управляющие и преобразовательные МИС мм диапазона  АО «НИИПП» | TriQuint Semiconductor США;  M/A-Com Technology Solutions США |
| Радиоэлектронная аппаратура космического и специального применения | МИС и модули СВЧ с повышенной стойкостью к специальным факторам  АО «НПП «Салют»;  АО «НПП «Исток» им. Шокина» | TriQuint Semiconductor США;  Cree США;  M/A-Com Technology Solutions США |
| Радиолокаторы с синтезированной апертурой  АО «НПП «Пульсар» | Thales Alenia Space, Италия; Astrium, Германия |

Сектор автоматизированных систем управления движением и систем обеспечения безопасности воздушного, морского и наземного транспорта в России составляет в настоящее время около 10 млрд. руб. при доле отечественных изделий на российском рынке около 58 %.

Реализация предложенных проектов поднимет долю отечественного оборудования до 95 %.

Области использования частотного диапазона радиоэлектронными средствами различного назначения и достигаемый при этом энергетический потенциал различными группами приборов СВЧ показаны на рисунке Приложения 1. В скобках приведены наиболее характерные для указанных РЭС временные циклы работы (отношения длительности излучаемых импульсов к периоду их повторения).

Наиболее сильные позиции на внутреннем рынке занимают следующие виды продукции:

* тестеры для контроля параметров аналоговых и цифровых интегральных схем;
* оборудование для контроля параметров магнитов и магнитных материалов;
* пассивная СВЧ – компонентная база.

1. Тестеры для контроля параметров аналоговых и цифровых интегральных схем. Тестеры используются для входного контроля аналоговых и цифровых интегральных схем, применяемых в аппаратуре с повышенными требованиями к надежности функционирования. Конкурентные преимущества перед импортным оборудованием – цена и приспособленность к условиям отечественных производителей аппаратуры. Частично аналогичную продукцию выпускают ООО «Форм» (г. Москва), ООО «Совтест Микро, (г. Москва), однако потребители отдают предпочтение продукции АО «ЦНИИИА» за универсальность, высокую надежность оборудования, простоту в эксплуатации и адаптированное программное обеспечение. Тестеры сертифицированы как средства измерения военного назначения.

На период до 2020 г. намечается тенденция к увеличению объема продаж на 10 % из-за ужесточения в последнее время требований к используемой электронной компонентной базы, особенно импортного производства.

2. Оборудование для контроля параметров магнитов и магнитных материалов. Магниты и магнитные материалы используются не только в электронике, но и в атомной промышленности, металлургии, средствах связи, медицинской и пищевой промышленности и т.д. В связи с ужесточением требований к качеству выпускаемой продукции потребность в средствах измерения параметров магнитов и магнитных материалов постоянно увеличивается.

Конкурентными преимуществами продукции являются широкие функциональные возможности оборудования, возможность автономной работы, ремонтопригодность. Возможность поверки на всей территории РФ. Приборы сертифицированы как средства измерения военного назначения. Зарубежным конкурентом является фирма «Magnet-Physik Dr. Steingrower GmbH», Германия. На внешнем рынке фирма оценивает свой сегмент в 70 %; на внутреннем российском рынке продукция этой фирмы занимает гораздо меньший сегмент из-за высокой стоимости продукции. Однако преимущества высоки из-за коротких сроков поставки и наличия сервисного обслуживания.

3. Пассивная СВЧ-компонентная база

Функциональные пассивные элементы СВЧ, КВЧ и ТГЧ диапазонов используются в СВЧ трактах измерительных, связных систем, различных системах спецназначения. На период 2020 года намечается тенденция к увеличению потребности в многоканальных малогабаритных приемных модулях миллиметрового диапазона длин волн, функциональных элементах терагерцового диапазонов длин волн.

**1.4. Оценка технических и технологических решений и компетенций, обеспечивающих конкурентоспособность российских предприятий-производителей продукции ТП**

**1.4.1 Системы связи 5G как направление коммерциализации технологий СВЧ-электроники**

Цель создания сетей пятого поколения очевидна. Первая и очевидная причина неизбежного перехода к ним - взрывной, экспоненциальный рост трафика в сетях абонентского доступа. По прогнозам, к 2017 году ежемесячный объем трафика превысит 6⋅1018 байт. К 2020 году объем трафика по сравнению с 2010 годом может вырасти тысячекратно. И это вполне естественно - с развитием микроэлектронных технологий массовый пользователь получил в свое распоряжение недорогое устройство, обладающее огромной производительностью и выдающимися средствами отображения информации. И все эти устройства - потребители трафика. Чем выше производительность и лучше экран, тем больше трафика. И эта тенденция создания все более производительных мобильных устройств продлится и в дальнейшем. Причем речь уже идет не только о увеличении разрешения видеокартинки - хотя вскоре на мобильных устройствах все захотят иметь HDTV. Но ведь появится и мобильное 3D-видео, и средства передачи тактильных ощущений, и чего еще только не придумают.

Другая причина, требующая смены парадигмы сетей беспроводного доступа - Интернет вещей, или даже Всеобщий интернет, о котором сегодня столько говорят. С точки зрения телекоммуникаций это означает, прежде всего, взрывной рост активных приемопередающих устройств, причем беспроводных. И все они связаны в одну глобальную сеть - Интернет. Уже сам факт появления триллионов новых источников данных, оказывается, способен в корне изменить концепцию построения сети (есть прогнозы появления к 2017 году 7 триллионов беспроводных устройств - в 1000 раз больше, чем жителей Земли). А ведь речь идет не только о низкоскоростных потоках телеметрии и управления, но и о высокоскоростных потоках, например, видео. Меняется и сама структура каналов - становится актуальной концепция связи "машина-машина" (М2М) через сеть. Речь идет о глобальной связности, о взрывном росте не только скорости в канале, но и о числе таких каналов.

Еще одна тенденция, которая сегодня проявляется все ярче - это концепция облачных вычислений. Ее суть: процедуры сложной обработки, хранение больших массивов данных стремятся перенести "в облако", т.е в центры обработки данных, распределенные или локальные. И это уже больше чем тенденция - это индустриальный тренд, глобальная смена парадигмы промышленного управления (одно из названий которой - Industry 4.0). Игры и офисные приложения, системы управления промышленными объектами и базы данных из персональных устройств и локальных серверов уходят "в облака". Более того, эта тенденция коренным образом затронула и телекоммуникационные технологии: концепция программно-определяемых сетей SDN - это не что иное, как перенос функций сложной обработки из распределенных сетевых устройств (маршрутизаторов) в некий центр. А ведь сегодня все больше говорят и об облачных технологиях управления радиосетями доступа. В целом, облачные технологии означают, что наступает эра «больших аналоговых данных» - появляется огромное множество источников «сырых», необработанных данных, которые по телекоммуникационным каналам должны передаваться в центры обработки. Причем, опять же, подавляющее большинство источников таких данных - беспроводные устройства.

Появление множества источников данных, постоянно растущие потребности в скорости в отдельно взятом канале передачи - следствие этого рост электроэнергии, необходимой для обеспечение этого процесса. В системах связи появляется новая задача, с которой уже столкнулась область сверхвысокопроизводительных вычислений (суперкомпьютеров) - энергоэффективность. И это не просто борьба за экологию - это реальная потребность.

Помимо скорости, все более важную роль играют времена задержки передачи информации. Если раньше это острее всего сказывалось на биржевых операциях и любителях сетевых игр, то с наступлением эры Всеобщего Интернета, эры глобального управления через сеть, Industry 4.0 и т.п. время передачи данных и доставки отклика становится все более критичным.

Наконец, новые скорости и новые объемы данных очевидно требуют самого дорогого, что есть у связистов - спектрального ресурса. Он ограничен по определению, равно как и теоретический предел бит/с/Гц.

Итак, сверхскорость (1-10 Гбит/с), сверхмалые задержки (менее 1 мс), сверхбольшое число активных физических соединений и их сверхвысокая плотность, энергетическая и спектральная сверхэффективность (по крайней мере в 10 раз выше сегодняшних) - вот основные задачи, которые невозможно решить в рамках концепции сетей беспроводной связи 4G (LTE Advanced и WiMAX 2). Сеть 5G должна обеспечивать доступ к данным везде и всегда, всем людям и каждому устройству. Как можно решить все эти задачи?

**1.4.2 Технологии 5G**

Поэтому в контексте 5G речь идет о нескольких прорывных технологиях, реализация которых еще несколько лет назад казалось фантастикой. На физическом уровне все сводится к следующим методам:

- более эффективная реализация (за счет более сложных алгоритмов обработки) в диапазонах ниже 6 ГГц;

- работа в миллиметровом диапазоне длин волн (30-300 ГГц);

- использование пространственного разделения каналов и пространственной модуляции (что означает формирование узких диаграмм направленности в приемных и передающих устройствах, применение многоканальных антенных систем MIMO);

- применение новых сигнально-кодовых конструкций, например, мультиплексирование с «неортогональным» частотным разделение каналов, что влечет усложнение алгоритмов обработки сигналов в устройствах;

- существенно более плотное расположение базовых станций (БС) - т.е. переход о макросот к микро- и пикосотам;

- применение действительно полнодуплексного режима (вместо временного и частотного дуплексирования, как в современных системах). Т.е. БС должна в одной частотной полосе принимать и передавать информацию от множества устройств. Это возможно, если использовать перспективные технологии подавления интерференции между приемными и передающими каналами.

Коренным образом меняется им сами принципы построения сети, их архитектура:

- глобально, от сегодняшней сотово-центрической сети (основной элемент сети - базовая станция, где сосредоточены функции управления доступом) необходимо перейти к концепции «устройство-центрической» сети. Сами устройства становятся настолько интеллектуальными, что уже на них, а не на сеть, возлагается часть функций сетевого управления (вход в сеть, установление соединения, хендовер и т.п.);

- сама концепция соты претерпевает радикальное изменение. Это уже не нечто фиксированное - говорят о виртуальных сотах, о распределенных и гибких сотах, о динамически изменяющихся и даже мобильных сотах и т.п.;

- меняется принцип организации каналов связи - если системы 2 и 3G допускали только канал БС - абонентское устройство, в системах 4G появилась возможность (но именно возможность) прямой связи между базовыми станциями, то в контексте 5G говорят о непосредственной связи устройство-устройство. Но - и это принципиально - в рамках глобально-связанной сети. Речь идет о mesh-сетях, причем мобильных, динамически формирующихся и реконфигурируемых;

- основным становится принцип гетерогенных сетей. Причем неоднородность возможна по множеству параметров - и по используемым технологиям, и по частотным диапазонам, и по разделению функций между макро- и микросотовыми БС (например, обмен данными идет через микро-БС, а управляющая информация - через макро-БС) и т.д.

- изменяются принципы управления сетью. Часть функций децентрализуется, часть - переносится в облако (т.н. облачная сеть радиодоступа C-RAN, некий идейный аналог технологии SDN);

- при сверхплотном расположении БС (с шагом сетки в сотни метров) принципиально иную, ключевую роль начинают играть связывающие их опорные сети. Это могут быть также высокоскоростные сети миллиметрового диапазона, радиорелейные системы с возможностями mesh-сетей и т.п. Более того, сама граница между опорными сетями и сетями радиодоступа может стираться.

И это, безусловно, далеко не полный перечень концептуальных подходов к организации сетей 5G. Простое описание каждого из них потребует отдельной статьи. И каждое из этих направлений - это независимая область исследований, которые велись и ведутся во всем мире.

**1.4.3 Текущее состояние работ в области 5G**

Сегодня под 5G понимают не конкретную технологию, а скорее подход на основе пула технологий - как существующих/развивающихся (напр. LTE), так и будущих. Под понятие 5G сегодня подпадают как технологии см-диапазонов (ниже 6 ГГц, реально речь идет о ~3,5-5,9 ГГц) до мм-диапазонов - реально от 26 (это почти мм-диапазон) до 90 ГГц.

Системы беспроводной связи, входящие в 5G, можно условно разделить на собственно сеть радиодоступа (базовая станция - терминал пользователя, возможно - терминал-терминал) и опорные сети (связь между базовыми станциями, между базовыми станциями и сетевым оборудованием и т.п.). Для 5G последний тип сетей (backhaul) становится все более актуальным, особенно с учетом такого направления, как сверхплотные сети на основе малых сот. Более того, на основе модного тренда переноса функциональности в ЦОД и даже в «облако» появился новый термин - fronthaul. Это высокоскоростной, выделенный канал связи для передачи сырых данных от трансивера (вплоть до квадратур) в центр обработки, где и выполняется вся обработка сигнала.

Для опорной сети речь в основном идет о частотных диапазонах 60 ГГц для малых сот (в силу быстрого затухания) и Е-диапазона (71-76, 81-86 и 92-95 ГГц), последний уже сегодня активно используется в системах РРЛ «точка-точка».

В области сетей радиодоступа в мм-диапазоне частоты пока не определены, в качестве кандидатов на сайте IEEE указаны диапазоны 18, 22, 28, 33, 38-40, 42, 50 и 60 ГГц, а также E-диапазон - с пометкой "частоты для опорных сетей". Европейский проект METIS рассматривает частоты от текущих см-диапазонов до 86 ГГц. Как средне- и высокоприоритетные отмечены диапазоны 10, 28–29, 32–33, 43, 46–50, 56–60 и 81–86 ГГц. Уже опубликованы канальные модели для частот 26 и 60 ГГц

Международный союз электросвязи условно называет следующие диапазоны в области 20-50 ГГц «приоритетными для рынка мобильных систем»: 21,2-23,6; 25,25-29,5; 31-31,3; 36-40,5 и 42,5-50 ГГц (за вычетом 40-40,2 ГГц).

В отчете консалтинговой компании Quotient Associates для национального регулятора Великобритании Ofcom в качестве приоритетных названы 66-71; 45,5-48,9; 40,5-43,5; а также Е-диапазон 71-76/81-86 ГГц и 57-66 ГГц-диапазон.

Таким образом, многие работы ведутся в диапазонах порядка 26-28 ГГц. Можно предположить, что это связано с простотой реализации прототипных систем - как с технической точки зрения, так и с позиций регуляторов. Одновременно практически все рассматривают более высокочастотные диапазоны, поэтому едва ли можно говорить, что именно диапазон 26-28 ГГц станет базовым для 5G. Но "одним из" - весьма вероятно.

При всем разнообразии технологий и подходов к 5G одно базовое положение можно считать полностью определенным - это работа в миллиметровом диапазоне длин волн. Отметим лишь ряд моментов:

- мм-диапазон - это огромный незанятый частотный ресурс (от 30 до 300 ГГц);

- он позволяет работать с полосами свыше 1 ГГц, что обеспечивает скорость передачи 1-10 Гбит/с и выше;

- системы связи мм-диапазона требуют направленных антенных систем. При этом достигается существенный энергетический выигрыш по сравнению с традиционными системами беспроводной связи;

- благодаря малой длине волны физические размеры антенных систем мм-диапазона при высоком усилении очень малы - шаг между элементами антенной решетки составляет половину длины волны. Активные решетки можно формировать на подложках микросхем, что существенно упрощает и удешевляет элементную базу и разработку систем связи в целом;

- благодаря высокой направленности антенных систем мм-диапазона достигается высокая пространственная селективность - соседние устройства могут работать на одной частоте, не мешая друг другу, т.е. решается проблема высокоэффективного использования частотного ресурса;

- благодаря малым физическим размерам антенных решеток, их можно встраивать в абонентские устройства (например, в телефоны);

- благодаря высокому затуханию в воде и большей энергетической эффективности, воздействие ЭМИ в мм-диапазоне на жизненно важные органы существенно ниже, чем в системах связи мм-диапазона (практически все излучение затухает на уровне кожных покровов).

- высокое затухание ЭМИ в диапазоне 60 ГГц естественным образом решает проблему интерференции, что особенно важно для организации беспроводной опорной сети;

- наконец, компактные устройства с перестраиваемой диаграммой направленности обеспечивают необходимую для концепции 5G гибкость.

В области ниже 6 ГГц крайне актуальной будет проблема энергопотребления. В частности, по 2013 году общее энергопотребление систем мобильной связи крупнейшего в мире оператора сотовой связи China Telecom составило порядка 12 ТВт⋅ч, т.е. около 14,4 млрд. долл., и 50 % этой энергии потребили усилители мощности в базовых станциях. Именно поэтому GaN приборы и МИС усилителей мощности в силу их КПД на их основе весьма востребованы и конкуренты (например, по мнению компании Cree), в том числе - по сравнению с LDMOS-приборами.

Сегодня в мире подавляющее большинство работ, связанных с GaN-приборами для мм-диапазона, относится к радарной тематике, прежде всего - к системам с электронной динамической перестройкой диаграммы направленности. Однако, как по уровню мощности, так и по функциональности подобные системы аналогично требуемым для сетей 5G. Возможно, лидеры пока просто молчат о соответствующих работах для телекома.

**1.4.4. Стандартизация**

Один из краеугольных камней в процессе внедрения любой глобальной технологии - стандартизация. Это сложный и длительный процесс, поскольку требует учета интересов всех будущих игроков 5G, ведущих мировых компаний. Необходимо действительно выбрать оптимальное и найти должный компромисс. Но пока о стандартизации речи не идет - просто нечего стандартизировать. Развитием технологий 5G занимаются во всем мире. В Европе достаточно назвать два крупных проекта - METIS и 5GNOW. Известны и другие крупные международные проекты, в которых участвуют альянсы ведущих производителей телекоммуникационного оборудования, научные центры и регуляторные органы.

В 2015 году на Всемирной конференции по радиосвязи (WRC-2015) Международного союза электросвязи (ITU) заслушан доклад о технологических тенденциях в области будущих систем связи. На этой конференции должен быть сформулирован план, по которому будет строиться работа в области стандартизации будущей сети. Начнется работа по созданию концепции 5G (IMT for 2020 and beyond (концепция мобильных телекоммуникаций с 2020 года и далее) - аналог концепций IMT-2000 и IMT-Advanced), в ней должны быть сформулированы определения сетей 5G и требования к ним. На последующих конференциях WRC в 2018-19 годах предполагается рассмотреть вопрос об использовании спектра. А дальше специалисты ITU пока не заглядывают.

Поэтому говорить о появлении сетей 5G ранее 2020--2025 годов не приходится. **И это хороший шанс для российских производителей и разработчиков электроники - участников ТП «СВЧ технологии».**

## 1.5. Оценка обеспеченности кадрами

Оценку обеспеченности кадрами можно показать на примере предприятий АО «Росэлектроника», как одной из крупных холдинговых структур. В него входит 121 предприятие 29 регионов РФ, 38,5 тысяч сотрудников. Основные количественные характеристики приведены в таблице 1.4.

Для решения задач развития отечественной СВЧ-электроники необходимы инженерные кадры, к которым предъявляются следующие профессиональные требования:

* Владение современными методами и инструментами разработки систем.
* Наличие системного мышления.
* Владение набором знаний и навыков множества технических дисциплин.
* Способность прогнозировать возможные последствия инженерных решений.
* Готовность принимать оригинальные решения.
* Умение проектировать, управлять технологическими цепочками для создания сложных систем.
* Умение трансформировать знания в новую технику, материалы, высокие технологии.
* Умение налаживать эффективное человеко-машинное взаимодействие.
* Умение организовать процесс проектной деятельности.
* Способность выделять общесистемных связей и закономерностей
* Личностные требования к инженерным кадрам:
* Креативность, способность к созиданию.
* Стрессоустойчивость.
* Нравственная ответственность за качество продукта.
* Готовность к переменам.
* Готовность к лидерству и к работе в команде.
* Уверенность в себе и решительность.
* Способность строго выполнять предписание по реализации процесса.
* Коммуникабельность.
* Интеллектуальная любознательность, способность и желание постоянно учиться новому.
* Инициативность.

Подавляющее большинство выпускников технических вузов не соответствует не только профессиональным требованиям к инженерным кадрам, но также и личностным, необходимым для работы в современных условиях.

Структура персонала компании АО «Росэлектроника» по специальностям:

|  |  |
| --- | --- |
| Квалифицированные рабочие и мастера | 38 % |
| Инженеры | 20 % |
| Административный персонал | 16 % |
| Низкоквалифицированные рабочие и стажеры | 5 % |
| Научные работники | 5 % |
| Руководители | 16 % |

Возрастная структура персонала компании АО «Росэлектроника»:

|  |  |
| --- | --- |
| Моложе 30 лет | 20,5 % |
| 30-49 лет | 37,0 % |
| Старше 50 лет | 42,5 % |

Средний возраст сотрудников в компании составляет 48,6 лет (ранее был 51 год). Средний возраст руководителей организации - 55 лет. Из них старше 50 лет – 71 %. В 2013 году прошли повышение квалификации и переподготовку 7299 чел. (19,3 % от общей численности). Из них: руководители – 1668 чел., специалисты – 2384 чел., рабочие – 3247 чел.

Ситуация по кадровому составу в ТП схожа с общей картиной по радиоэлектронной промышленности России. Ключевые проблемы на данный момент – это старение персонала и дефицит качественных человеческих ресурсов. С учетом того, что ТП планирует выход на новые высоко конкурентные инновационные рынки, актуальность вопроса возрастает. Ввиду того, что кадры – один из ключевых ресурсов, а реальный учебный цикл подготовки высококлассных специалистов занимает до десяти лет, значительные усилия и средства на развитие кадрового потенциала необходимо направлять уже сейчас.

В настоящее время предприятия холдинга АО «Росэлектроника» испытывают потребность в квалифицированных кадрах по ряду следующих специальностей:

Специалисты с высшим образованием:

- Специалисты в области:

- стратегического планирования;

- системного проектирования;

- стоимостного анализа сложных изделий ВВСТ.

- Топ-менеджеры дочерних структур.

- Экономист (маркетинг, ценообразование).

- Инженер (более 12 специализаций).

- Разработчик.

- Технолог.

- Оператор технологического оборудования (более 8 специализаций).

- Химик, материаловед.

- Программист и другие.

Специалисты со средним специальным образованием:

- Отладчик.

- Оператор станков с ЧПУ.

- Электрик.

- Гальваник и другие.

Основные проблемы:

* Устаревание кадров.
* Дефицит на рынке труда молодых специалистов по профилю.
* Дефицит высококвалифицированных специалистов на рынке.
* Невозможность улучшения социально-экономического положения

Работников:

* Низкая заработная плата.
* Отсутствие профильных образовательных учреждений.
* Отсутствие профориентации среди молодежи.
* Падение престижа работы на предприятиях.
* Высокий уровень текучки молодых специалистов на предприятиях.
* Ограниченные возможности в повышении квалификации.

Задачи, стоящие перед ХК АО «Росэлектроника» во взаимодействии с вузами:

* Сформировать систему ранней профессиональной ориентации.
* Подготовить инженерные кадры.
* Осуществить модернизацию производств.
* Удержать молодых специалистов на предприятиях ХК.
* Обеспечить воспроизводство кадров с учетом миграционных потоков.

**1.6. Оценка доступности РИД по технологиям, которые предполагается развивать в рамках ТП**

В настоящее время, несмотря на довольно серьезные требования Заказчиков по учету результатов интеллектуальной деятельности, этот вопрос является наименее проработанным как в законодательном, так и в практическом плане, и требует детального изучения в рамках технологической платформы.

С целью оценки коммерческого потенциала результата интеллектуальной деятельности, полученной при выполнении научно-исследовательских работ, приказом руководителя учреждения необходимо создать экспертную комиссию из числа наиболее квалифицированных специалистов, например, в сфере наноиндустрии и интеллектуальной собственности, утвердить регламент работы экспертной комиссии, порядок взаимодействия подразделений и предоставления необходимой информации экспертной комиссии. Комиссия может действовать на постоянной основе, в этом случае рекомендуется утвердить план работ экспертной комиссии на предстоящий период. Полномочиями экспертной комиссии может быть наделен уже существующий и постоянно действующий в государственном научном или образовательном учреждении орган или специально созданное структурное подразделение по управлению интеллектуальной собственностью. С каждым членом экспертной комиссии заключается соглашение о неразглашении конфиденциальной информации.

Экспертной комиссией производится научно-технический анализ РИД, в том числе определяется правообладатель на каждый выявленный РИД, включая установление действительности документов, подтверждающих права правообладателя; экономический анализ – определение коммерческой ценности и перспектив коммерческой реализации выявленных РИД и прав на них. Результаты анализа оформляются в виде аналитического отчета.

Экспертная комиссия выявляет РИД, имеющий коммерческую ценность. Для этого она проводит исследование рынка интеллектуальной собственности в регионе, в России и мирового рынка. При этом используются материалы аналитических обзоров научной литературы, патентной информации по определенной тематике и др. На основе материалов исследования рынка экспертная комиссия осуществляет отбор РИД и его оценку по рыночной стоимости. Весь пакет документов (заключение, рекомендации, материалы исследования рынка, реестры) экспертная комиссия представляет научно-техническому совету учреждения на рассмотрение.

Научно-технический совет рассматривает и рекомендует руководителю учреждения вынести соответствующее решение. На основе решения, вынесенного руководителем учреждения и оформленного в виде приказа, выявленные РИД, имеющие охранный документ и способные стать основой для коммерциализации, принимаются к бухгалтерскому учету.

## 1.7. Возможности и ограничения использования объектов научной и инновационной инфраструктуры

Объекты научной и инновационной инфраструктуры, такие как научно-образовательные центры, центры коллективного пользования, научно-исследовательские лаборатории, организовывают совместную работу участников технической платформы. За счет их использования повышается мобильность и гибкость перехода к инновациям, оптимизируется процесс, который объединяет науку, технику, экономику, предпринимательство и управление.

В настоящее время создание в России национальной инновационной инфраструктуры является ключевой задачей не только для научно-технической сферы, но и для повышения конкурентоспособности отечественной экономики. Коммерциализация технологий является частью целостного механизма создания и реализации нововведений в рамках национальной инновационной инфраструктуры.

Проведение оценки актуальности РИД является важной процедурой в повышении эффективности процесса коммерциализации РИД.

Основными принципами оценочного прогноза РИД являются:

- экономическая целесообразность, выгодность от тиражирования новой конкурентоспособной интеллектуальной и товарной продукции на мировых рынках;

- научность, т.е. оценка должна базироваться на достижениях научно-технического прогресса и передового опыта современной науки, использования новейших методов исследований;

- системность, т.е. оценка актуальности должна осуществляться с учетом всех внутренних и внешних связей организации, на базе которой предполагается внедрение РИД;

- приоритетность, т.е. в оценке должны быть обоснованы стратегические приоритеты и направления социально-экономического и научно-технического развития российского государства, взаимоувязанные по целям, задачам, мероприятиям и ресурсам;

- преемственность, т.е. в оценке должно найти отражение дальнейшее развитие технологий, на основе ранее разработанных и реализованных технических решений, с непременным учетом новых условий и требований.

Для выбора перспективных РИД (по решению научно-технического совета) создается квалифицированная экспертная комиссия, утверждается план ее работы, порядок взаимодействия подразделений и предоставления необходимой информации. Комиссия анализирует результаты патентных исследований; завершенные научные разработки; монографии; диссертационные работы; публикации в научных и научно-технических изданиях; выставочные материалы; другие доступные источники информации. По завершению оценочных работ составляется аналитическая справка (отчет), предоставляемая в дальнейшем научно-техническому совету научного и бюджетного образовательного учреждения. По итогам рассмотрения аналитических записок научно-технический совет проводит сопоставление РИД и делает вывод о возможности их применения.

# Раздел 2. Прогноз развития рынков и технологий в сфере деятельности платформы

**2.1.** **Видение будущего в контексте социально-экономического развития России** **на средне- и долгосрочную перспективу**

Говоря об СВЧ-электронике в России, трудно точно оценивать ее влияние в случае успешного развития (т.е. давать оценку сверху). Но можно очень точно сказать, что произойдет, если не заниматься развитием этого направления.

СВЧ-электроника сегодня - это не «одно из» направлений развития электроники, а краеугольный камень развития всей электронной индустрии, которая, в свою очередь, является системообразующей отраслью для всей промышленности. Можно утверждать: если в России не заниматься развитием современной СВЧ-электроники, с учетом всех возможных технологических направлений, в большинстве секторов потребления, мы перестанем существовать как экономически независимая держава - как с точки зрения развития промышленности, так и с точки зрения создания систем ВВСТ.

СВЧ-электроникой необходимо заниматься именно как массовой, высокорентабельной отраслью (динамика некоторых рынков показана выше). Попытка развивать СВЧ-электронику в рамках оборонных задач заведомо обречена на провал - просто потому, что этот сегмент не может обеспечить массовости. А без этого невозможно добиться снижения цен в соответствии с общемировой тенденцией. В ближайшие 5 лет в мире ожидается снижение цен в разы. Поскольку в структуре современных систем и комплексов ВВСТ электроника составляет очень существенную долю (не менее 40 % по цене), производств таких систем окажется экономически нерентабельным. Это не только скажется на экспорте ВВСТ, но и на внутреннем рынке такой продукции.

СВЧ-электроника сегодня – это весьма комплексная область. Она охватывает уровни от материалов и гетероструктур до законченных комплексов и систем, например - систем сотовой связи. Например, развитие такого направления, как системы мобильной связи поколения 5G сдерживалось (и отчасти до сих пор сдерживается) тем, что сама глобальная архитектура сети связи определяется техническими характеристиками только создаваемой СВЧ элементной базы и даже материалов и гетероструктур. То же относится и ко всем другим направлениям - от перспективных систем вооружений до медицинского оборудования.

Это выдвигает принципиальное требование к инфраструктуре организации работ в области СВЧ-электроники и связанных с ней направлений. Во главе угла здесь должны стоять не отдельные исследования, не создание элементной базы и даже РЭА по чьим-то техническим заданиям, а именно совместная работа по созданию финальной продукции. Это означает коренное изменение подходов к организации работ в области создания новой продукции. Но без этого развитие СВЧ-электроники невозможно.

Как в России, как и за рубежом, технологии создания изделий СВЧ электроники отнесены к критичным технологиям, которые во многом определяют облик и тактико-технические характеристики образцов радиоэлектронного вооружения и военной техники.

Современные изделия СВЧ электроники включают широкий спектр различных групп приборов, отличающихся по назначению, физическому принципу действия, конструкции и технологии изготовления:

- электровакуумные приборы СВЧ (далее – ЭВП СВЧ): магнетроны, усилители М - типа, лампы бегущей и обратной волны (далее – ЛБВ и ЛОВ), клистроны, клистроды, гироприборы;

- твердотельные приборы СВЧ в дискретном, монолитном, гибридном и гибридно-монолитном исполнении: СВЧ транзисторы и диоды, малошумящие усилители, усилители мощности, генераторы, синтезаторы частот, фазовращатели, аттенюаторы, переключатели, модуляторы, преобразователи частот (умножители, делители, смесители);

- СВЧ модули (приемные, передающие, приемо-передающие);

- ферритовые приборы СВЧ (вентили, фазовращатели, фильтры, циркуляторы и пр.);

- комплексированные изделия СВЧ (электровакуумные, твердотельные и вакуумно-твердотельные, с применением в своём составе ЭВП СВЧ, твердотельных дискретных приборов и модулей СВЧ, ферритовых приборов СВЧ, изделий силовой и микроэлектроники.

Отдельным сегментом выделяются законченные радиоэлектронные устройства, функционирующие в СВЧ и КВЧ диапазонах.

Как и в целом развитие перспективных технологий электроники, так и развитие современных СВЧ технологий обусловлено прежде всего развитием радиоэлектронных устройств - конечного продукта, предлагаемого потребителям как для гражданского, так и для специального применения.

В части современных тенденций развития таких технологий отмечаем актуальность развития твердотельной СВЧ электроники и мощных вакуумных СВЧ приборов в миллиметровом диапазоне длин волн с уходом в терагерцовый диапазон частот; также следует отметить актуальность в высоком темпе развития технологий твердотельных приборов в дискретном и монолитном исполнении.

По оценкам экспертов, для дальнейшего движения в область повышения частотного диапазона, увеличения мощности СВЧ твердотельных приборов и схем, необходима смена поколений применяемой элементной базы. Наряду с традиционно используемыми гетероструктурными материалами на основе арсенида галлия, необходимо исследование и применение новых материалов, прежде всего InP, разработка гетеробиполярных (HBT) и гетероструктурных (HEMT) транзисторов на его основе. Применение монолитно-интегрированных схем (МИС) на базе НВТ позволяет увеличить КПД и удельную мощность широкополосных МИС в 1,5…2-раза. В области мощных СВЧ усилителей традиционный материал GaAs и гетероструктуры на его основе уступают место GaN. Разработка МИС усилителей мощности на 20-50 Вт диапазона частот 2-18 ГГц является до сих пор не решенной задачей. Таким образом, является актуальной проблема разработки и изготовления линейки GaN МИС усилителей мощности указанного выше диапазона. Значительные усилия требуется направить на развитие и совершенствование технологической оснащенности. На всех ведущих фирмах, занимающихся разработкой твердотельных СВЧ приборов технологическая норма 0,25 мкм (для МИС, работающих на частотах до 30…40 ГГц) должна стать стандартом. Для дальнейшего развития необходимо провести разработку и освоение технологии 0,1…0,15 мкм для МИС миллиметрового диапазона.

В связи с широким внедрением и развитием программ высокого уровня моделирования, в том числе и волновых процессов, учетов эффектов близости, стало возможным проектирование и сборка нового класса элементной базы СВЧ-электроники - совмещающей аналоговую и цифровую часть в рамках одной монолитной микросхемы, а также содержащей передающую или приемную антенны. По мнению специалистов - это один из прорывов в области элементной базы, в корне меняющий принципы конструирования и построения радиоэлектронных устройств. С появлением такой базы инженер получает в свое распоряжение законченный функциональный СВЧ модуль с цифровым интерфейсом и аналоговым СВЧ портом для работы с полностью сформированным СВЧ сигналом. Более того, компоненты с интегрированными антеннами открывают возможность передачи в области динамически перестраиваемой диаграммы направленности, что вообще исключает необходимость работы с аналоговыми СВЧ-трактами. Таким образом, для развития данного направления, является актуальным разработка объемно-интегрированных СВЧ схем приемо-передатчиков, содержащих цифровые и аналоговые узлы, а также исследование конструктивно-технологических принципов 3D сборки СВЧ модулей.

В последние годы разработка ЭКБ для таких компактных, но мощных, схем и устройств как СВЧ генераторы и усилители на частоты большие 20-50 ГГц и мощности в несколько сотен ватт, осуществляется только на приборах вакуумной электроники, основным функциональным элементом которых являются термоэлектронные катодно-сеточные узлы. С появлением алмазных материалов и технологий самоорганизации массивов из наноразмерных объектов с высоким аспектным отношением, появились надежды решить проблему ускоренной деградации автоэмиттеров. В этой связи является актуальной разработка сильноточных катодно-сеточных узлов на основе алмаза и алмазоподобных пленок, а также создание СВЧ-полупроводниковых приборов и устройств на основе алмазных структур, обладающих уникальными электрическими, тепловыми характеристиками и радиационной стойкостью.

В последе время наибольший интерес в области создания современных РЛС различного диапазона длин волн связан с созданием технологий управления СВЧ ФАР и АФАР с помощью оптических систем связи. Применение технологий радиофотоники позволит повысить рабочую полосу частот, обеспечить улучшенную помехозащищенность, улучшить массогабаритные характеристики антенных устройств, обеспечить снижение потерь в линиях передачи сигналов; повысить стабильность и повторяемости АФЧХ от канала к каналу в диапазоне рабочих частот и температур и т.д.

В связи с этим приобретает актуальность разработки компонентной базы радиофотоники, и функциональных узлов и составных частей на их основе, включая оптико-электронные и электронно-оптические преобразователи, фотоприемные устройства, устройства оптического излучения, усилители, линии задержки волоконно-оптических линий, в гибридном и монолитном исполнении. Применение полупроводниковой компонентной базы радиофотоники на основе соединений А3В5 и кремния позволит успешно справиться с поставленными задачами. Однако на сегодняшний момент времени такие разработки для промышленного применения на основе отечественной компонентной базы радиофотоники в РФ практически отсутствуют.

К числу бурно развивающихся направлений СВЧ электроники, непосредственно не связанных с традиционной полупроводниковой элементной базой, относится спинтроника. Неравновесные явления, обусловленные наличием спиновой степени свободы электрона - накопление спинов (спиновая аккумуляция), спиновый поток и перенос вращательного момента в магнитной гетероструктуре составляют основу функционирования спинтронных устройств, таких как магниторезистивные датчики, энергонезависимые запоминающие устройства, спиновые наногенераторы, спиновые диоды и другие. Для продвижения явлений переноса спина в область практической СВЧ спинтроники необходимо проведение детальных исследований самих механизмов переноса спинов - токового, спин-орбитального, температурного, спиновой аккумуляции в условиях неравновесной СВЧ накачки. Необходимо проведение исследований влияния нелинейности на эффекты преобразования потоков и управления магнонными спектрами током и электрическим полем, обратного спинового эффекта Холла, характеризации магнитных гетероструктур с точки зрения перспективности их применения в СВЧ – спинтронике для увеличения частотного диапазона выше 10 ГГц.

В течение последнего десятилетия интенсивно развиваются современные технологии в области терагерцового диапазона частот (в качестве синонима ранее использовались термины «дальний инфракрасный диапазон» или «субмиллиметровые волны»). В настоящее время специалистами предлагается достаточно сбалансированное сочетание трех соответствующих технологий для генерации и обнаружения терагерцового излучения (типичный диапазон частот - от 0,1 ТГц до 4 ТГц): полностью электронные, оптические импульсные, оптические непрерывные системы, в том числе для создания современных систем неразрушающего контроля различных объектов, мониторинга различных процессов (минимальные и максимальные частоты для импульсных систем составляют 0,02 ТГц и 10 ТГц, соответственно). Следует отметить по оценкам экспертов, что в последние годы была практически решена задача по исследованию и разработке матричных твердотельных высокоэффективных приемников, в том числе на базе фотопроводящих антенн, излучения диапазона 0,1-1,0 ТГц. Вместе с тем задача создания источников излучения в данном диапазоне пока еще далека от решения. Таким образом, в данном научно-техническом направлении представляются актуальными, например, исследования по созданию интегрированных твердотельных источников излучения диапазона 0,1-10 ТГц; разработка приборов и устройств терагерцового видения с использованием современных аппаратных методов и методов математической обработки для повышения потребительских характеристик; создание технологии квантово-каскадных лазеров.

**2.2. Сценарии развития рынков и технологий в отраслях и секторах экономики, к которым относится ТП**, **в том числе спроса на основные виды продукции ТП**

**2.2.1. Примеры технологических направлений развития СВЧ-электроники**

Сегодня сложно заниматься прогнозированием развития рынков СВЧ-электроники. Проблема прежде всего в том, что здесь не работают модели линейной аппроксимации, поскольку меняется сама парадигма СВЧ элементной базы, открываются принципиально новые возможности в области создания конечной аппаратуры и систем, появляются принципиально новые рынки. Поэтому возможна некая оценка снизу - это даже не "наиболее пессимистичный" сценарий, а, скорее, заведомо заниженная оценка на основе известных рынков. Тем не менее, назовем лишь некоторые рынки конечной продукции и систем, которые полностью определяются уровнем развития СВЧ-электроники.



**2.2.1.1. Системы мобильной связи**

Самый яркий пример рынка СВЧ-технологий - это системы мобильной беспроводной связи. Именно на долю этих систем сегодня приходится 76 % всех производимых полупроводниковых СВЧ-приборов. Можно утверждать, что именно в результате работ в рамках таких программ, как MIMIC в США (инициирована МО США в 1985 г.) и аналогичных им в других странах были созданы технологии GaAs-приборов, на основе которых стали создаваться первые абонентские и базовые станции систем сотовой связи. По мере их развития, а также развития смежных направлений электроники (снижение энергопотребления цифровых СБИС с ростом степени интеграции, появление новых средств отображения информации и т.п.) началась смена поколений систем сотовой связи. Сначала только голосовая сотовая связь поколения 2G (GSM, CDMA, DAMPS) сменилась (дополнилась) системами передачи данных. Затем появилось поколение 3G - сотовая телефония с возможностью скоростной передачи данных (на уровне 1 Мбит/с). Это стало возможным, с одной стороны, только благодаря достижениям в области цифровой и аналоговой СВЧ-электронике, появлению новых индикаторов и аккумуляторных батарей. С другой стороны, развитие систем 3G стало возможным благодаря развитию проводной инфраструктуры сетей связи. Наконец, само бурное развитие микроэлектронных СВЧ-технологий стало возможным благодаря огромным инвестициям, обусловленным уже сложившимся и бурно развивающимся рынком систем сотовой связи. Технологии определили возможности сетей связи, возможности определили развитие экосистемы сотовой связи - от абонентских терминалов до информационных ресурсов, сложилась новая культура потребления телекоммуникационных услуг. В свою очередь, эта новая индустрия связи определила (и продолжает определять) требования к следующему поколению систем беспроводной связи 4G - WiMAX и LTE. Несложно видеть, что каждое новое поколение систем беспроводной связи - это новый этап в развитии полупроводниковых СВЧ-приборов, цифровых СБИС, МЭМС, средств индикации и т.п. Сегодня (2017 г.) мы переживаем фазу планомерного развития систем 4G (LTE и LTE Advanced). Рынок чипсетов для мобильных систем WiMAX показал свой рекордный уровень в 2011 году - 230 млн., однако уже в 2012, благодаря экспансии LTE, он упал до 218 млн. долл. Однако общий рынок Mobile WiMAX и LTE превысил 300 млн. долл. В целом, общий рынок чипсетов систем 4G (только для поддержки радиоинтерфейсов) к концу 2012 года превысил 1 млрд. долл, и к концу 2017 г. составит не менее 5,8 млрд. долл. (MarketsandMarkets).

После 2013 года началось массовое освоение миллиметрового диапазона длин волн для систем 5G. Под данное направление будет сформирован огромный рынок потребления, что станет локомотивом развития всей мировой СВЧ-электроники, в том числе и российской.

С точки зрения технологий системы связи 5G подразумевают две области развития - ниже 6 ГГц и в миллиметровом диапазоне. В области ниже 6 ГГц речь идет о существенном расширении инфраструктуры базовых станций. Это связано с резким ростом энергопотребления (которое уже сегодня является проблемой для многих крупных сетей). И здесь окажутся массово востребованными твердотельные усилители мощности на основе GaN-технологий благодаря высоким КПД и мощности. Видимая потребность уже привела к необходимости развития технологий получения 150-мм пластин GaN, и этот процесс будет лишь развиваться.

В направлении мм-диапазона станут массово востребованными технологии SiGe-приборов, возможно - аналоговых СВЧ КМОП и GaN МИС. Для развития этой области будут необходимы такие сугубо «военные» технологии, как многоэлементные антенные системы с динамическим формированием диаграммы направленности.

Потенциал рынка абонентских устройств сотовой связи наглядно характеризует статистика: в 2014 году, по различным оценкам, объем продаж только смартфонов составил порядка 370-380 млрд. долл. Только в первом квартале 2015 года в мире было продано свыше 336 млн. устройств, тогда как в первом квартале 2014 года этот показатель составил 281,6 млн. устройств - рост составил 19,6 %. При этом продолжит возрастать и число абонентов - если сегодня в мире свыше 7,6 млрд. активных SIM-карт (больше, чем людей на Земле), то к 2019 году это число превысит 9 млрд.

И это только устройства для людей, причем только наиболее дорогие устройства - смартфоны. С развитием Интернета вещей, коммуникаций типа "машина-машина" (М2М) число терминальных устройств вырастет на порядки. И все это - рынок для СВЧ-технологий.

**2.2.1.2. Интернет вещей и М2М**

Огромный рынок для СВЧ-электроники открывается с развитием таких направлений, как Интернет вещей, связь М2М, интеллектуальные производства и т.п. Здесь, с одной стороны, открываются широкие возможности для самых разных устройств сбора данных, датчиков, в том числе - на основе СВЧ-электроники. Например, речь может идти о массовом рынке датчиков на основе СВЧ RFID-технологий, вкупе с технологиями печатной электроники. С другой стороны, открывается огромный телекоммуникационный рынок для соединения всех этих устройств, причем именно на базе технологий СВЧ-электроники. Эти направления пока только в самом начале своего развития. Так, рынок решений для Интернета вещей уже в 2015 году составит, по различным оценкам, от 4,85 (MarketsandMarkets) до 5,7 (ABI Research) млрд. долл., а к 2020 он должен вырасти до 16,36 млрд. долл. (прогноз MarketsandMarkets) - т.е. темпы роста составят 27,5% в год. Рынок связных решений для М2М только в США к 2020 году превысит 7,2 млрд. долл. Рынок носимых на одежде интеллектуальных устройств (Wearable Computing) к 2020 году достигнет 34,6 млрд. долл. (только рынок электронных устройств - 11,61 млрд. долл.).

К этому же рынку можно отнести системы связи для беспилотных систем - водных, наземных и авиационных. В частности, неотъемлемое требование к таким системам - возможность передачи с борта видеопотоков высокого разрешения, для чего необходимы широкополосные беспроводные каналы связи, т.е. технологии СВЧ-электроники. Например, рынок малых беспилотных летающих аппаратов, по оценке ABI Research, к 2018 году превысит 8,4 млрд. долл. Причем коммерческая составляющая этого рынка достигнет 5,1 млрд. долл., в 2,3 раза превысив объемы военного сегмента, и в 5 раз - объем рынка БПЛА для хобби.

**2.2.1.3. СВЧ-системы радиорелейной связи, оборудование опорных сетей систем беспроводной мобильной связи**

В связи с бурным развитием технологий беспроводной связи, в частности - систем LTE, предусматривающих возможность прямых соединений между базовыми станциями, в начале 2010-х годов резко выросла потребность в средствах создания беспроводных широкополосных каналов связи. В результате стали интенсивно развиваться системы связи Е-диапазона (71-76/81-86 ГГц), обеспечивающие передачу данных со скоростями порядка единиц Гбит/с на расстояния в единицы км (эти характеристики во многом зависят от диаметра антенн). Развитие этого рынка ограничивала стабильно высокая стоимость радиолинка (на уровне 20 тыс. долл.), что в основном было связано с тем, что РЭА таких систем строилась на основе дискретных компонентов. Однако в 2010 году израильская компания Siklu вывела на рынок свой комплект РРЛ стоимостью порядка 5 тыс. долл. за линк. Это стало возможным исключительно благодаря тому, что вся электроника была сведена к двум ИС - КМОП baseband-процессора и SiGe СВЧ-трансивера. Сейчас компания выпускает этот чипсет исключительно для собственных нужд, но нет сомнения, что за ней последуют другие игроки, и вскоре рынок будет наполнен одно- и двухкристальными чипсетами для РРЛ Е-диапазона.

Этот рынок будет еще более активно развиваться в связи с уже начавшимся бумом в области малых сот (ожидаемый объем рынка к 2019 году - 4,8 млрд. долл.). Не менее десятка ведущих производителей уже демонстрируют такие решения, интегрирующие малые базовые станции LTE с каналом подключения к опорной сети на основе РРЛ в диапазоне 60 ГГц. А с развитием технологий 5G потребность в подобных каналах будет расти еще быстрее.

В частности, по данным MarketsandMarkets рынок беспроводных систем связи для опорных сетей в 2014 году превысил 131 млн. долл., к 2018 году ожидается его рост свыше 754 млн. долл. со средними темпами роста на 58% в год. Причем эта оценка представляется заниженной, в силу нелинейного роста спроса на такие системы в силу развития систем 4G.

**2.2.1.3. СВЧ-системы локальной передачи данных**

Рынок локальных и персональных систем беспроводной широкополосной связи динамично развивается с 1998-1999 годов. Прежде всего, речь идет о системах WiFi (IEEE 802.11), к которым позднее присоединились технологии персональной связи Bluetooth (IEEE 802.15.1) и ZigBee (IEEE 802.15.4). Устройства этих стандартов работают в основном в диапазонах от 2,4 до 5 ГГц (есть решения в области 800-900 МГц). Однако примерно с 2010 года началось развитие коммерческих систем передачи данных в диапазоне 60 ГГц. Прежде всего, это системы WiGig (IEEE 802.11ad) и WirelessHD (IEEE 802.15.3c). По сути, речь идет о создании высокоскоростных беспроводных сетей передачи ТВ-контента высокого разрешения.

Высокоинтегрированную элементную базу, поддерживающую спецификацию WirelessHD, начала производить компания SiBeam (США), основанная в 2004 году специалистами Калифорнийского университета в Беркли. SiBeam выступила одним из инициаторов создания альянса WirelessHD. Уже в 2008 году компания представила первый чипсет, реализующий спецификацию WirelessHD 1.0. Позднее компания создала три комплекта чипсетов. Первым был комплект SB9120/SB9110 и SB9121/SB9111 – пара ИС для режимов HRTX и HRTR (для источников и приемников видеосигнала), соответственно. В комплект входит ИС трансивера (SB9110 или SB9111) и baseband­процессор (SB9120 или SB9121). Примечательно, что в ИС трансивера встроена 36­элементная антенная решетка, позволяющая реализовывать фирменную технологию OmniLink60 для динамического формирования ДН.

Следующий комплект ИС – SB9220/SB9210 и SB9221/SB9211 – незначительно отличается от предшественников. Во встроенной антенной решетке используется 32 элемента. В результате при мощности передатчика до 10 дБм эквивалентная мощность в антенне достигает 40 дБм. Примечательно, что никаких внешних СВЧ­элементов или антенн для работы 60­ГГц чипсетов SiBeam не требуется. Разработчик систем не должен заниматься СВЧ­дизайном, используя новую элементную базу как стандартный интерфейсный модуль. Как baseband­процессор, так и СВЧ­трансивер выполнены по кремниевой КМОП­технологии.

В мае 2010 года компания объявила о выпуске ИС нового, двухрежимного трансивера SB8110, поддерживающего требования как спецификации WirelessHD 1.0, так и только что появившейся спецификации альянса Wireless Gigabit (WiGig).

Чипсеты SiBeam уже используются в ряде продуктов. Телевизоры с реализованным интерфейсом WirelessHD выпускают компании Panasonic (TC­P54Z1), LG (55LH95­UA) и Sony (BRAVIA XBR10). Комплекты беспроводных удлинителей HDMI представили фирмы Abocom, Best Buy, Gefen и Cables To Go. По данным компании In-Stat, объем продаж микросхем спецификации WirelessHD возрастет с 1 млн. шт. в 2010 году до 13 млн. шт. в 2014. И сегодня на рынке появляются WirelessHD приборы других производителей.

В апреле 2011 года компания Silicon Image приобрела SiBeam. А уже в мае объявила о выпуске 60-ГГц семейства КМОП-чипсетов Sil6300 третьего поколения, удовлетворяющих последней версии спецификации WirelessHD 1.1. В семейство входят сетевой процессор передатчика режима HRTX Sil6320, сетевой процессор приемника режима HRRX Sil6321 и РЧ-трансивер Sil6310. Процессор Sil6320 и трансивер Sil6310 предназначены для ноутбуков и планшетных ПК, а также для таких бытовых устройств, как аудио/видеоприемники, системы домашнего кинотеатра, телевизионные приставки. Процессор Sil6321 и трансивер Sil6310 найдут применение в цифровых телевизорах, мониторах ПК и фронтпроекторах.

Семейство чипсета Sil6300 поддерживает такие требования спецификации WirelessHD 1.1, как: средняя PHY скорость передачи 1,2 Гбит/с; пять PHY низкоскоростных каналов в каждом высокоскоростном PHY-канале, что позволяет объединять большее число беспроводных локальных сетей видеодоступа; передача видеопотока с разрешением 1080p при частоте смены кадров 60 Гц и 32-бит насыщением цвета, а также 3D-формата; скорость беспроводной передачи 4 Гбит/с. Процессор Sil6320 монтируется в корпус QFN размером 13×13 мм, трансивер Sil6310 – в BGA-корпус размером 12×12 мм.

В июне 2011 года компании Qualcomm Atheros, дочернее предприятие Qualcomm, специализирующееся на сетевых решениях, и Wilocity, выпускающая устройства беспроводной связи в диапазоне 60 ГГц, на выставке Computex 2011 объявили о создании нового трехдиапазонного (60, 2,4 и 5 ГГц) чипсета AR9004TB. Чипсет отвечает требованиям стандартов Wi-Fi 802.11n и WiGig/802.11ad. Кроме того, в AR9004TB реализована поддержка стандарта Bluetooth 4.0, который обеспечивает более высокие скорости передачи данных и снижение энергопотребления по сравнению с предыдущими версиями стандарта. С тех пор компания выпустила ряд новых чипсетов с поддержкой IEEE 802.11ad.

В целом, по данным компании MarketsandMarkets рынок систем WiGig в 2014 составил 269,9 млн. долл., однако к 2019 г. ожидается его взрывной рост до 10,53 млрд. долл. (на 111,2% в год).

В то же время, продолжит развитие и рынок систем Wi-Fi в целом. В 2014 году он составил 12,89 млрд. долл., и ожидается его рост до 26,19 млрд. долл. к 2019 г.

В 2011 году консолидированный объем продаж чипсетов для таких беспроводных СВЧ-систем связи, как Wi-Fi, мобильный WiMAX, LTE, ZigBee и беспроводные видеоинтерфейсы в области бытовой и промышленной электроники составлял примерно 5,5 млрд. долл. Однако к 2020 году он вырастет не менее чем до 20,4 млрд. долл.

### 2.2.1.4. Системы волоконно-оптической связи

Огромное значение для СВЧ-технологий играет рынок систем волоконно-оптической связи. речь идет как о магистральных сетях, так и о технологиях сетей доступа. В первом случае СВЧ-технологии незаменимы в РЭА для реализации протоколов класса 100GB и 400GB Ethernet, стандартов OTN, с агрегатной скоростью в канале на уровне 100 и 400 Гбит/с, соответственно. В таких сетях огромную роль играют электронно-оптические системы, а также системы модуляции/демодуляции и мультиплексирования / демультиплексирования потоков сигналов с указанными скоростями. В этом направлении перспективны системы прямой цифровой модуляции, непосредственно формирующие модулированные мультиплексированные сигналы. В частности, подобные процессоры выпускают компании Ciena и NEL (NTT Electronics), ЦАП которых обеспечивают скорости сэмпирования до 56 Гвыборок/с на канал. Подобные устройства - яркий пример синтеза цифровых и аналоговых СВЧ-технологий, и это направление также будет весьма активно развиваться.

**2.2.1.6. Досмотровые комплексы безопасности**

Это еще один из важнейших рынков для СВЧ-электроники. Речь идет о замене рентгеновских досмотровых комплексов на системы мм-диапазона - в аэропортах и на других объектах. Это важно как с точки зрения медицинской безопасности СВЧ-сканеров, так и с т.з. их возможностей. Рынок таких систем в 2012 году составлял свыше 15 млн. долл. (поскольку был в самом начале развития), однако 2018 году ожидается его рост до уровня свыше 322 млн. долл., в среднем на 66 % в год. Причем речь идет как об активных, так и о пассивных сканерах.

**2.2.1.7. Автомобильные радары, системы активной безопасности**

Автомобильные радары, работающие в диапазоне 77-79 ГГц - одно из направлений, которое в ближайшее время будет развиваться чрезвычайно активно. Пока распространение таких систем минимально, но прогнозируется поистине взрывной рост этого направления - с темпами не менее 130% в год в период до 2018 года.

**2.2.1.5. Радары системы СВЧ-зрения**

Немалая доля рынка СВЧ-технологий связана с радарами. С одной стороны, немалый потенциал связан с традиционными областями применения радаров, как военными, так и гражданскими. Это достаточно стабильные и емкие рынки. В частности, рынок радаров Х-диапазона в 2015 составит порядка 4,12 млрд. долл., а к концу 2020 ожидается рост до 5,08 млрд. долл.

Однако огромный потенциал рынка связан с радарами в области миллиметрового диапазона, системами пассивной локации, СВЧ-зрения. По мнению ряда ведущих аналитиков, тенденция развития методов локации в мм-диапазоне такова, что радар становится обычным датчиком, ценой менее 100 долл. (с тенденцией снижения до единиц долларов) - разумеется, в соответствующем диапазоне мощностей. Можно ожидать, что в ближайшие годы радарами мм-диапазона будут оснащаться смартфоны - так же, как сегодня они оснащаются инерциальными датчиками, камерами и т.п.

Огромен потенциал систем СВЧ-зрения, пассивной локации для автомобильного, авиационного и водного транспорта - например, для систем визуализации в плохих погодных условиях.

## 2.3. Прогноз потребности в кадрах

В качестве примера можно рассмотреть подход к подготовке и развитию научных и инженерно-технических кадров в АО «Российская электроника».

В понимании ГК подготовка кадров - это стратегическая задача. В 2011 году «Росэлектроника» разработала важный документ - Стратегию развития холдинга на период до 2020 года. Ее неотъемлемая часть - план инвестиционного развития, во много связанный с участием холдинга в реализации федеральных целевых программах. В плане четко указано какие проекты, в каких городах и на каких предприятиях предстоит реализовать, чтобы решить нужные государству задачи. Анализируя возможные риски, было выявлено, что один из самых серьезных среди них - именно кадры.

Сегодня кадровая проблема для «Росэлектроники» особенно сложна в силу специфики холдинга. В состав холдинга входит 121 предприятие в 29 регионах РФ, на них трудятся свыше 38 тысяч специалистов - это очень диверсифицированная структура, как регионально, так и по направлениям деятельности. Причем «Росэлектроника» сотрудничает, с учетом присутствия в регионах России, с около 70 вузами.

В 2012 году компания провеластатический аудит кадров на уровне управляющей компании. Выяснили, сколько в холдинге руководителей, научных и инженерно-технических работников. Причем был введен еще такой параметр анализа, как перечень специальностей, дефицитных для холдинга.

Оценку потребности кадров можно показать на примере АО «Российская электроника», как одной из крупных холдинговых структур. Приведены в таблицах 2.6 и 2.7.

Для решения этих проблем в области кадрового обеспечения предприятия АО «Росэлектроника» взаимодействуют с 100 опорными вузами, 26 базовыми кафедрами на предприятиях, 15 институтами РАН, 32 профильными учреждениями среднего специального образования.

Таблица 2.6

Перечень специальностей по высшему образованию, необходимых для реализации инвестиционных проектов на предприятиях АО «Росэлектроника».

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Область | Число специалистов | Число специальностей |
| Физико-математические науки | 29 | 4 |
| Экономика и управление | 2 | 1 |
| Энергетика, Энергетическое машиностроение и Электротехника | 9 | 6 |
| Металлургия, Машиностроение, Металлообработка | 45 | 15 |
| Оружие и системы вооружения | 1 | 1 |
| Приборостроение и оптотехника | 15 | 11 |
| Электронная техника, Радиотехника и Связь | 265 | 79 |
| Автоматика и Управление | 7 | 5 |
| Информатика и Вычислительная техника | 38 | 16 |
| Химическая и Биотехнологии | 6 | 3 |
| Строительство и архитектура | 34 | 11 |
| Безопасность жизнедеятельности, Природоустройство и Защита окружающей среды | 1 | 1 |
| Всего | 452 | 153 |

Таблица 2.7

Перечень специальностей по среднему профессиональному образованию, необходимых для реализации инвестиционных проектов на предприятиях

АО «Росэлектроника».

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Область | Число специалистов | Число специальностей |
| Гуманитарные науки | 2 | 1 |
| Энергетика, Энергетическое машиностроение и Электротехника | 62 | 12 |
| Металлургия, Машиностроение и Металлообработка | 22 | 7 |
| Приборостроение и оптотехника | 21 | 11 |
| Электронная техника, Радиотехника и Связь | 114 | 16 |
| Автоматика и Управление | 1 | 1 |
| Химическая и Биотехнологии | 34 | 4 |
| Строительство и архитектура | 2 | 1 |
| Рабочие профессии, не соответствующие специальностям СПО | 620 | - |
| Всего | 878 | 177 |

Анализ показал, что доля специалистов в возрасте до 30 лет не превышает 17 %. Предприятия остро нуждаются не только в инженерах, хотя список дефицитных для «Росэлектроники» инженерно-технических специальностей насчитывал тогда 12 позиций. Холдингу еще нужны специалисты в области системного проектирования и стратегического планирования, экономисты, способные выполнять стоимостной анализ и обсуждать детали ценообразования с заказчиками, топ-менеджеры и т.д.

Возникла необходимость в прогнозном кадровом аудите. Необходимо прогнозировать потребность в кадрах на 2017-2020 годы. В итоге выявили дефицитные и критичные специальности, с разбивкой по регионам и уровню образования. Например, определили, что холдингу нужны 452 человека с магистерским образованием по 153 специализациям, причем в различных регионах.

Прежде всего, была корректно сформулирована задача и определена стратегия взаимодействия с вузами. Был пересмотрен подход к сотрудничеству с высшими учебными заведениями - проблемы кадрового обеспечения нужно решать только совместно. Самое важное в новом подходе - компания рассматривает вузы как стратегических партнеров, а не только как источник кадров. Это означает, что АО «Росэлектроника» строит работу с вузами в направлении технологического развития, проводить совместные НИОКР и т.д. Намечены основные задачи, над которыми компания намерена работать с вузами в ближайшие пять-семь лет.

Сначала таких задач было четыре - подготовить инженерные кадры, модернизировать производства, удержать молодых специалистов на предприятиях холдинга и обеспечить воспроизводство кадров с учетом миграционных потоков. Однако вопрос необходимо ставить более широко - ориентировать молодежь на работу в высокотехнологичных компаниях РФ, а не только в «Росэлектронике». И тогда количество рано или поздно перейдет в качество: чем более широкий круг вовлекать в профориентационную работу, тем больше шансов, что лучшие из них попадут на предприятия «Ростеха», «Росэлектроники» и партнерских структур. Пришло понимание, что начинать работу нужно со школ, иначе вузам просто некого будет учить.

В итоге появилась задача формирования системы ранней профессиональной ориентации, еще среди школьников. Необходимо агитировать школьников сдавать единый государственный экзамен (ЕГЭ) по профильным для технических вузов дисциплинам. Только так будет сформирована обширная база абитуриентов, из которых вузы смогут выбрать лучших. Ведь согласно статистике, в 2012 году в технические вузы на инженерные специальности поступали ребята со средним баллом ЕГЭ по предмету 55–58. За пять лет из них можно подготовить рядовых инженеров. Однако для подготовки специалистов, необходимых для создания инновационных продуктов, нужны абитуриенты со средним балом за предмет не менее 80.

Актуальна проблема миграции. Лучшие выпускники школ из разных регионов стремятся поступать в столичные вузы, чему система ЕГЭ немало способствует. Это приводит к обеднению базы абитуриентов для региональных вузов, а ведь там действуют предприятия «Росэлектроники». Получив дипломы столичных вузов, молодые специалисты практически не возвращаются даже на подмосковные предприятия, не говоря об удаленных регионах. Между тем «Росэлектронике» нужны специалисты и в Богородицке Тульской области, и в Новосибирске, и в Омске. Это проблема, которую необходимо решить.

Вторая приоритетная задача – подготовка инженерных кадров. Для этого необходима корректировка учебных программ вузов, их адаптация к реальным потребностям холдинга, участие в научной жизни института наших практикующих инженеров, в целом - максимальная открытость друг к другу в отношении любых инициатив.

Крайне важна и третья задача - синхронизировать технологическую модернизацию предприятий холдинга и вузовских лабораторий. Сейчас вузы стали неплохо финансироваться, у них появились средства на оснащение лабораторий. Одновременно и в отрасли ведется программа технологической модернизации. Если удается синхронизировать эти процессы, исчезают многие проблемы. В этом случае студенты учатся, выполняют научные работы на точно таком же оборудовании, с которым они потом встретятся на промышленных предприятиях. Это позволит избежать пресловутого: «забудь, чему тебя учили, начинаем заново». Более того, единство технологического оснащения позволяет привлекать вузы в качестве соисполнителей НИОКР. Это решает многие технические и административные проблемы. Хороший пример подобного подхода - оснащение центра «Нанотехнологии» в МИФИ. Сейчас сотрудничество с этим центром активно развивается.

Не менее серьезна четвертая задача – удержать молодых специалистов на предприятиях холдинга. Даже если удалось убедить молодого человека пойти в профильный вуз, а затем привлечь молодого инженера на предприятие холдинга, это лишь полдела. Нужно показать ему задачи и перспективы. Немаловажна и зарплата.

Много внимания руководство холдинга уделяет пятой задаче - обеспечение кадрами региональные предприятия с учетом миграционных потоков. Необходимо не просто обучить молодых людей, а сделать так, чтобы они в определенное время попали в определенную географическую точку.

Все эти пять задач были сформулированы и инкорпорированы в соглашения с вузами. Причем помимо типового соглашения, в каждом конкретном случае учитывалась специфику вуза. После подписания соглашения вузам в регионах присутствия открываются элементы инвестиционной программы и проекты, под которые АО «Росэлектроника» заинтересовано в специалистах. В итоге формируется вузовскую сеть, которая в разных регионах может помочь в решении различных задач. За 2,5 года интенсивной работы уже заключено 56 таких соглашений. Причем среди стратегических партнеров - не только вузы-бренды, хотя из 15 высших учебных заведений РФ, которые стремятся войти в ТОР-100 ведущих в мире университетов, холдинг сотрудничает с 12. С ними актуализированы взаимоотношения во всех аспектах сотрудничества - базовые кафедры, отдельные социальные и научные проекты, научно-образовательные центры и т.д. Взаимодействует холдинг и с рядом вузов в регионах, где нет предприятий АО «Росэлектроники» - например, с Казанским федеральным университетом.

**2.4. Прогноз развития технологий, относящихся к ТП (наиболее перспективных с точки зрения обеспечения конкурентоспособности), прогноз основных свойств (технических и потребительских характеристик)**

Технологии, которые необходимо развивать в рамках ТП:

1) Полупроводниковые технологии и элементная база

- полупроводники КМОП Si SiGe GaAs GaN InP SiC, графен, алмазы, антимониды;

- СВЧ МЭМС;

- СВЧ АЭК;

- технологии интеграции SiP, SoP, многокристальные 3D-сборки на основе TSV, однокристальные гетеротехнологические МИС;

- технологии корпусирования - HTCC, LTCC и LCP до RFID на основе печатной электроники, освоение технологии пластмассовых корпусов для СВЧ МИС;

- встраиваемые антенные системы (на уровне кристалла/корпуса МИС);

- технологии пассивных СВЧ-элементов;

- технологии защиты функционирования СВЧ элементов, узлов и модулей.

2) Технологии и схемотехнические решения в областях применения СВЧ элементной базы

- телекоммуникации (системы 5G, закрытая беспроводная связь, М2М, оборудование для ВОЛС, широкополосные РРЛ мм-диапазона и т.п.),

- локальные и персональные сети передачи информации (домовые, промышленные, системы межсоединений для суперкомпьютеров, передача на малые расстояния, беспроводная передачи информации между платами и между СБИС и т.п.)

- радарные технологии (автомобильные, морские, бытовые, военные и т.п.)

- системы СВЧ-зрения (пассивные и активные, включая стационарные и портативные досмотровые комплексы, и приборы)

3) Технологии построения систем (системных решений) в основных областях применения (архитектура и принципы организации работы телекоммуникационных сетей, системы безопасности дорожного движения, управления воздушным движением и др.)

Основными потребителями СВЧ приборов и устройств являются предприятия радиоэлектронного профиля, разрабатывающие и серийно выпускающие радиоэлектронную аппаратуру двойного и (или) гражданского назначения. Наиболее крупными из них являются предприятия, входящие в АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» (АО ГСКБ «Алмаз-Антей» (Москва), АО «НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова» (Жуковский Московской обл.), ФГУП «ГРПЗ» (Рязань), ОАО «НИИ «Стрела» (Тула), ОАО МНИИ «Альтаир», ОАО «ВНИИРТ» (Москва), ОАО «ННИИРТ» (Нижний Новгород), а также ОАО «КБП» (Тула), ОАО «КБМ» (Коломна Московской обл.), ОАО «ЦКБА» (Омск), ФГУП «КНИРТИ» (Жуков Калужской обл.), АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», ОАО ГосМКБ «Вымпел», ОАО ГосМКБ «Факел», АО «Российские космические системы», ФГУП «ЦНИИ «Комета» (Москва) и др. Разрабатываемые и выпускаемые ими системы радиоэлектроники на период до 2020 года будут в основном определять загруженность предприятий, в том числе и СВЧ подотрасли.

Исходя из этого, на период до 2020 года сформированы направления развития основных классов приборов и устройств СВЧ и соответствующих технологических базисов, приведенные в Приложении 2.

**Прогноз развития рынков продукции, на разработку (совершенствование) которых направлена деятельность ТП**

**2.5 Идентификация рынков, характеризующихся существенными возможностями распространения основных параметров развития данных рынков**

Развитие СВЧ-электроники прежде всего связано с освоением миллиметрового и субмиллиметрового (терагерцового) диапазонов длин волн. В этих направлениях можно выделить такие секторы развития, как

- телекоммуникационные СВЧ-системы миллиметрового диапазона;

- беспроводные системы межсоединений для суперкомпьютеров

- системы сверхвысокоскоростной ближней связи (диапазоны порядка 320 ГГц);

- системы СВЧ-связи между компонентами на плате,

- СВЧ-передача энергии на ближние и дальние расстояния;

- СВЧ-сенсоры и технологии, СВЧ RFID-технологии

- радарные технологии - от самых масштабных до массовых, пользовательских радаров (видимо, уже в ближайшем будущем - основной инструмент навигации в автономных беспилотных наземных и летательных системах);

- СВЧ-зрение, пассивная СВЧ-локация;

- микроволновая наноскопия (наноразмерная микроскопия), аналитические ТГц-инструменты

- биомедицинские приложения СВЧ

- СВЧ-биосенсоры

Маркетинговые оценки рынка систем миллиметрового диапазона затруднены в силу исключительной новизны этого направления - здесь создаются принципиально новые решения, новые типы элементной базы, конечных устройств и систем, поэтому аналитики в своих оценках опираются на существенно ограниченную оценочную базу (таблица 2.1, 2.2, 2.3 и 2.4). В 2014 году рынок технологий миллиметрового диапазона оценивался экспертами MarketsandMarketsв 208,1 млн. долл. (явно без учета многих направлений, таких как локальные системы связи диапазона 60 ГГц, с сильно заниженной оценкой систем связи Е-диапазона, в принципе не учтены такие тренды, как Интернет вещей (системы связи М2М) и системы мобильной связи 5G, и т.д.). Тем не менее, эти эксперты предсказывают рост рынка к 2020 году до уровня 1,699 млрд. долл., со средним темпом роста до 42,7% в год (и до 2018 года с темпами среднегодового роста 59,1 %). К оценкам этой компании в области систем мм-диапазона нужно подходить с большой осторожностью, поскольку база оценки явно занижена, не учтены многие направления (например, такое, как WiGig, которое эта же аналитическая компания в 2014 оценивала в 270 млн. долл. с перспективой к 2019 в 10 млрд. долл.), но можно использовать некую как оценку «снизу».

Тем не менее, из исследования четко следует, что в 2014 г. доля военного и аэрокосмического сектора на рынке систем миллиметрового диапазона составила порядка 2,6 %, и эта доля сохранится в дальнейшем. Что принципиально - при среднегодовом темпе роста в денежном исчислении в 59,1 %, аналитики указывают на рост товарной продукции в штучном исчислении в 104,8 %. Это свидетельствует **о постоянном снижении цен** **на продукцию** (таблица 2.5). Особенно крупным **ожидается падение цен** на **решения в области радаров - автомобильных (на 435 %), судовых (460 %),** а также **военных и аэрокосмических (450 %)**. Еще существеннее - на **573 % ожидается падение цен в области спутниковых телекоммуникационных систем.**

Эта тенденция лишний раз подчеркивает значимость промышленного развития направления технологий мм-диапазона (и, соответственно, всей СВЧ-электроники) - в ближайшие три года изделия СВЧ-электроники, создаваемые в рамках устаревших технологий, окажутся в разы дороже аналогов по себестоимости, не говоря про их технические и эксплуатационные характеристики.

Таблица 2.1. Глобальный рынок технологий мм-диапазона по видам продуктов, млн. долл.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Среднегодовой темп роста, % (2013-2018) |
| Сканеры и системы визуализации | 15,04 | 25,47 | 46,23 | 81,47 | 138,92 | 229,12 | 322,65 | 66,16 |
| Радары и спутниковые системы связи | 4,61 | 7,54 | 13,25 | 22,64 | 37,49 | 59,25 | 82,92 | 61,52 |
| Телекоммуникационное оборудование | 48,83 | 78,67 | 134,09 | 224,30 | 363,40 | 551,48 | 759,54 | 57,38 |
| Другие продукты | 3,82 | 4,69 | 7,67 | 10,21 | 12,63 | 16,35 | 21,11 | 35,10 |
| **Всего** | 72,30 | 116,38 | 201,24 | 338,61 | 552,45 | 856,20 | 1186,23 | 59,10 |

Таблица 2.2. Глобальный рынок технологий мм-диапазона по областям применения, млн. долл.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сектор потребления | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Среднегодовой темп роста, % (2013-2018) |
| Телекоммуникационные системы мобильные системы связи | 49,35 | 78,99 | 135,14 | 225,89 | 365,64 | 555,03 | 764,63 | 57,46 |
| Сектор бытовой и коммерческой аппаратуры | 15,88 | 26,15 | 46,29 | 79,38 | 131,81 | 211,94 | 292,32 | 62,06 |
| Здравоохранение | 1,20 | 2,45 | 5,21 | 10,54 | 20,28 | 37,19 | 57,90 | 88,22 |
| Промышленность | 2,58 | 3,48 | 5,33 | 7,18 | 9,12 | 11,79 | 15,06 | 34,06 |
| Транспорт | 1,06 | 1,78 | 3,22 | 5,65 | 9,60 | 15,58 | 22,37 | 65,88 |
| Оборонный и аэрокосмический сектор | 1,88 | 3,05 | 5,30 | 8,96 | 14,67 | 22,93 | 31,71 | 59,74 |
| Перспективные и только развивающиеся направления | 0,35 | 0,48 | 0,75 | 1,03 | 1,32 | 1,73 | 2,24 | 35,99 |
| Всего | 72,30 | 116,38 | 201,24 | 338,61 | 552,45 | 856,20 | 1186,23 | 59,10 |

Источник: MarketsandMarkets Analysis

Таблица 2.3. Глобальный рынок компонентов мм-диапазона, млн. долл.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип компонентов | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Среднегодовой темп роста, % (2013-2018) |
| Антенны и трансиверы | 0,34 | 0,57 | 1,02 | 1,79 | 3,02 | 4,84 | 6,93 | 64,76 |
| Коммуникационные и сетевые компоненты | 0,28 | 0,50 | 0,97 | 1,80 | 3,22 | 5,45 | 8,23 | 74,86 |
| Интерфейсы | 0,10 | 0,19 | 0,39 | 0,75 | 1,40 | 2,46 | 3,83 | 82,43 |
| Источники частотного сигнала и связанные компоненты | 14,38 | 23,77 | 42,16 | 72,66 | 121,24 | 191,95 | 271,44 | 62,75 |
| Средства визуализации | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,09 | 0,15 | 0,26 | 0,39 | 72,60 |
| ВЧ- и радиокомпоненты | 0,56 | 0,95 | 1,72 | 3,02 | 5,15 | 8,31 | 12,00 | 66,05 |
| Датчики и средства управления | 0,19 | 0,33 | 0,62 | 1,13 | 1,99 | 3,32 | 4,94 | 71,68 |
| Источники питания им батареи | 0,26 | 0,46 | 0,87 | 1,57 | 2,77 | 4,61 | 6,85 | 71,48 |
| Прочие компоненты | 0,61 | 1,18 | 2,40 | 4,67 | 8,73 | 15,32 | 23,84 | 82,49 |
| **Всего** | 16,74 | 27,98 | 50,19 | 87,48 | 147,67 | 236,53 | 338,43 | 64,63 |

Таблица 2.4. Глобальный рынок компонентов мм-диапазона тыс. единиц продуктов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип компонентов | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Среднегодовой темп роста, % (2013-2018) |
| Антенны и трансиверы | 12,82 | 22,83 | 45,87 | 92,60 | 192,95 | 379,19 | 692,94 | 97,90 |
| Коммуникационные и сетевые компоненты | 19,24 | 35,86 | 75,49 | 159,75 | 349,31 | 721,13 | 1385,97 | 107,70 |
| Интерфейсы | 12,83 | 22,89 | 46,09 | 93,20 | 194,59 | 383,22 | 702,92 | 98,35 |
| Источники частотного сигнала и связанные компоненты | 32,09 | 57,23 | 115,22 | 233,01 | 486,48 | 958,01 | 1754,85 | 98,30 |
| Средства визуализации | 0,11 | 0,25 | 0,60 | 1,75 | 4,83 | 12,04 | 27,00 | 154,15 |
| ВЧ- и радиокомпоненты | 25,67 | 47,33 | 98,57 | 206,42 | 446,72 | 912,82 | 1736,93 | 105,56 |
| Датчики и средства управления | 19,25 | 34,38 | 69,31 | 140,34 | 293,42 | 578,77 | 1061,92 | 98,59 |
| Источники питания им батареи | 6,42 | 13,07 | 29,78 | 67,69 | 157,92 | 345,87 | 701,90 | 121,82 |
| Прочие компоненты | 25,61 | 49,06 | 106,06 | 229,76 | 513,67 | 1082,90 | 2122,82 | 112,44 |
| **Всего** | 154,04 | 282,90 | 586,99 | 1224,52 | 2639,90 | 5373,94 | 10187,24 | 104,78 |

Источник: MarketsandMarkets Analysis

Таблица 2.5. Глобальный рынок технологий мм-диапазона - динамика средней приведенной цены продажи устройства в различных секторах применения, тыс. долл.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сектор потребления | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Общее снижение цен продаж, % (2013-2018) |
| Телекоммуникационные системы мобильные системы связи | 9,691 | 8,867 | 7,595 | 6,308 | 4,909 | 3,808 | 2,783 | -218.65 |
| Сектор бытовой и коммерческой аппаратуры | 31,966 | 29,379 | 26,512 | 23,360 | 19,282 | 16,109 | 12,023 | -144.35 |
| Здравоохранение | 15,186 | 16,364 | 16,688 | 16,197 | 14,378 | 12,413 | 9,386 | -74.34 |
| Промышленность | 3,819 | 3,036 | 2,505 | 1,813 | 1,213 | 910 | 733 | -314.19 |
| Транспорт | 9,477 | 7,738 | 6,166 | 4,739 | 3,366 | 2,303 | 1,421 | -444.70 |
| Оборонный и аэрокосмический сектор | 10,368 | 8,495 | 6,783 | 5,221 | 3,738 | 2,509 | 1,427 | -495.37 |
| Перспективные и только развивающиеся направления | 5,755 | 4,588 | 3,793 | 2,753 | 1,839 | 1,382 | 1,116 | -311.15 |
| Всего | 10,795 | 9,873 | 8,571 | 7,190 | 5,650 | 4,461 | 3,260 | -202.82 |

Источник: MarketsandMarkets Analysis

## 2.6. Виды продукции ТП, имеющие наилучшие рыночные перспективы в кратко-, средне- и долгосрочном периоде

Как отмечалось выше, СВЧ-электроника находится примерно на такой же стадии развития, на которой находилась электроника в момент промышленного развития микроэлектроники (примерно к середине 1970-х годов). Тогда до уровня массового промышленного применения были доведены и освоены технологические возможности, приемы проектирования и конструирования РЭА, которые были заложены при изобретении планарной технологии (1959 г.). Это предопределило роль электроники как системообразующей отрасли, определяющей облик других направлений промышленности. Отсутствие собственной отрасли электроники для любого государства фактически означает отсутствие национальной технологической безопасности и полную зависимость от стран-производителей электронной продукции.

Сегодня аналогичный процесс, на качественно новом уровне, мы видим в области СВЧ-электроники. Здесь явно видны следующие тренды:

1) в области приборных структур

- «классические» кремниевые технологии КМОП вышли на уровень СВЧ-электроники;

- до уровня промышленного развития доведены технологии других полупроводниковых материалов (GaN, SiC, GaAs, SiGe, InP);

- на подходе - такие "новые" материалы, как алмаз, графен, антимониды и т.д., а также технологии приборных структур на их основе;

- развиваются принципиально новые СВЧ-технологии и подходы, такие как приборы на основе квантовых точек (каскадные лазеры на квантовых ямах), другие 1D-квантовые приборы СВЧ-электроник, радиофотоника и др.

2) в области интеграции

- созданы и развиваются различные технологии интеграции и корпусирования, прежде всего - 3D-корпусирования и 3D многокристальных микросборок. Развиваются технологии изготовления корпусов на основе низкотемпературной керамики (LTCC) и на основе ЖК-полимеров (LCP). Они уже сделали возможным формирование законченной СВЧ-системы, включая антенну, в корпусе;

- технологии мм-диапазона позволяют формировать антенную решетку непосредственно на подложке СВЧ-микросхем;

- появляются технологии 3D-микросхем, объединяющих в рамках одного кристалла приборные структуры на основе различных полупроводниковых материалов и технологий.

3) в области рынка и применения

Возможности СВЧ-электроники уже сформировали потребность в конечных системах - телекоммуникационных, радарных, в области электронно-оптических систем, аналитического и медицинского оборудования, ВВСТ и т.п. Это формирует устойчивый рынок, самоподдерживающий развитие. В результате уже наблюдается устойчивый тренд к снижению цены СВЧ-компонентов, причем в области мм-диапазона такое снижение с 2012 по 2018 г. по отдельным направлениям должно составить от 300 до 600%, что связано с все более массовым производством и высокой интеграцией на уровне элементной базы.

## 2.7. SWOT-анализ альтернативных продуктов и услуг. Выявление барьеров, рисков и ограничений развития продукции ТП

### 2.7.1. Сильные стороны реализации деятельности ТП «СВЧ-электроника»

1. Специфика современного этапа развития электроники такова, что рынки для продукции СВЧ-электроники только формируются. Это потенциально позволяет отечественным компаниями занять значимое место на только формирующихся рынках - отечественных и зарубежных

2. Успешная реализация проектов в области СВЧ-электроники открывают новые возможности для развития смежных отраслей промышленности

3. Важность развития СВЧ-электроники для оборонно-промышленного комплекса такова, что именно это направление в значительной мере определяет вектор развития и основные тактико-технические характеристики современных средств ВВСТ.

4. Во всех областях материальной деятельности, связанной с СВЧ-электроники, прогнозируется взрывной рост рынков, т.е. объемов потребления продукции. Это очень значимый фактор как для стратегических инвесторов, так и для развития промышленности России в целом.

5. Компетенции ряда российских предприятий, научных центров позволяют создавать конкурентоспособную продукцию в области СВЧ-электроники

### 2.7.2. Внутренние проблемы, мешающие реализации проектов в области СВЧ-электроники

1. Отсутствие в стране массового, серийного производства изделий СВЧ-электроники

2. Технологическое отставание отечественных предприятий. Причем, в силу комплексности направления «СВЧ-электроника», проблема не решается технологической модернизацией отдельных предприятий.

3. Отсутствие отечественных средств САПР, в том числе - систем моделирования СВЧ-приборов и модулей.

4. Разобщенность профессионального сообщества по множеству признаков (участие/неучастие в выполнении ГОЗ, производители ЭКБ - приборостроительные компании - создатели финишных комплексов и систем, эксплуатационные организации, межотраслевая разобщенность и т.д.). Отсутствие единого центра организации работ в области СВЧ-электроники, в комплексном ее понимании.

5. Отсутствие комплексных государственных программ в области СВЧ-электроники, направленных на ее полноценное развитие (не в военном аспекте, который по значимости не превышает 5%) и позволяющих вовлечь в развитие этого направление широкий спектр отечественных компаний и специалистов.

6. Очень малое число специалистов, комплексно понимающих проблемы СВЧ-электроники

7. Явно недостаточное для развития этого направления число исследовательских центров, профильных вузовских лабораторий, низкая вовлеченность в это направление компаний малого бизнеса.

### 2.7.3. Внешние факторы: возможности для развития СВЧ-электроники

1. СВЧ-электроника - область, наиболее сильно подверженная влиянию различных экспортных ограничений. Более того, ряд **компаний-производителей элементной база СВЧ-электроники выпускаю ее только для своего внутреннего потребления, не поставляя ее никому - поскольку именно она обеспечивает конкурентные преимущества и высокую добавленную стоимость их конечной продукции.** Поэтому для развития российская промышленности, как и для обеспечения обороноспособности государства, развитие собственной СВЧ-электроники просто необходимо

2. **СВЧ-электроника сегодня - объективно основной драйвер развития нового поколения товаров и услуг в ряде наиболее массовых индустриальных направлений,** таких как связь, автотранспорт, системы безопасности, бытовая электроника, медицина, системы вооружений и т.п. С учетом предыдущего тезиса развитие российской СВЧ-электроники объективно необходимо для всего гражданского сообщества России.

3. Весь мир сегодня в области СВЧ-электроники находится на стадии фундаментальных и прикладных исследований, НИКОР. Более того, ряд направлений, например, Интернет вещей, системы связи 5G, также находятся на стадии первичных обсуждений, в частности, в сфере **5G - а это потенциально крупнейшее направление развития для СВЧ-электроники** - еще не началась процедура стандартизации. Это **благоприятный фактор для российских производителей успеть со своей продукцией на первые стадии формирования продуктовых рынков.**

### 2.7.4. Возможные барьеры и внешние риски развития СВЧ-электроники

1. Очень неблагоприятный инвестиционный климат в стране, не позволяющий привлечь средства серьезных инвесторов

2. Чрезвычайно высокая стоимость кредитов, без которых немыслимо существование любого производства

3. Основные материалы, технологическое и контрольно-измерительное оборудование, средства САПР, контрактные производители кристального уровня СВЧ-электроники находятся за рубежом. Сегодня и в ближайшей перспективе в стране нет и не будет возможностей для замкнутого цикла производства изделий СВЧ-электроники. Сейчас этот фактор проявляет еще не в полной мере, но в случае дальнейших осложнений политической обстановки он может стать решающим. В частности, производство ВСЕХ средств САПР находится в руках нескольких компаний США, необходимого контрольно-измерительного оборудования - США, Германии и Японии, и т.д.

4. Возможная нестабильность национальной валюты, что существенно при сильной зависимости от экспортных поставок (материалы, компоненты, технологическое оборудование)

5. Возможная нестабильность финансирования в рамках уже существующих государственных программ, акцент государства именно на оборонных аспектах СВЧ-электроники (и соответственно, недостаток внимания к наиболее значимым коммерчески направлениям развития). В частности, это препятствует вовлечению в СВЧ-электронику компаний малого и среднего бизнеса - а именно они во всем мире являются носителями инноваций, без которых развитие СВЧ-электроники невозможно.

6. Высокая активность ведущих мировых производителей в области СВЧ-электроники и телекоммуникационных технологий на ее основе, резко усиливающаяся в 2014-2015 годах, с появлением ясного представления о развитии нового поколения систем мобильной связи 5G и Интернета вещей.

# Раздел 3. Направления исследований и разработок, наиболее перспективные для развития в рамках платформы

## 3.1. Направления исследований и разработок, по которым участники ТП заинтересованы координировать свои действия и/или осуществлять кооперацию друг с другом на доконкурентной стадии

Исходя из вышеизложенного и потребностей рынка гражданской продукции и продукции двойного назначения, а также из целей и задач ФЦП и ГП формируются направления исследований и разработок, наиболее перспективные для развития в рамках ТП «СВЧ технологии». При этом исследования и разработки формируются по трем взаимозависимым направлениям, представленным на рисунке 3.1.

**3. Исследования и разработки в области СВЧ радиоприборостроения**

**2. Исследования и разработки в области электронных СВЧ компонентов**

**1. Исследования и разработки в области электронного материаловедения**

Рисунок 3.1 - Направления исследований и разработок, наиболее перспективные для развития в рамках платформы

Исследования и разработки в области электронного материаловедения и в области электронных СВЧ компонентов рассматриваются как базис для разработки и внедрения радиоприборостроительных технологий, как финального продукта ТП, имеющего перспективный рынок.

Наиболее значимые и перспективные технологические направления (классы задач), которыми необходимо заниматься в рамках ТП:

* мощные СВЧ-усилители (GaN и другие материалы);
* аналоговые СВЧ-схемы для различных диапазонов частот и мощностей;
* СВЧ КМОП- и БиКМОП-технологии;
* СВЧ МЭМС и НЭМС;
* СВЧ АЭК;
* Алмазные СВЧ-структуры;
* УНТ, графеновые СВЧ-приборы, СВЧ наноэлектроника;
* перспективные метаматериалы для СВЧ;
* технологии и материалы терагерцового диапазона, генерация и детектирование терагерцового излучения в полупроводниковых гетероструктурах;
* наноэлектромагнетики для ТГц-задач;
* технологии печатной электроники для СВЧ-применений;
* радиофотоника, викселоника, фотонные ИС;
* перестраиваемые каскадные лазеры на квантовых ямах;
* системы моделирования и САПР для СВЧ приборов и устройств;
* измерения в области СВЧ;
* антенные системы (системы, моделирование, реконфигурация, компоненты, материалы, интеграция и т.д.), интегрированные антенны мм- и суб-мм- (ТГц-) диапазонов;
* новые технологии микросборок, 3D-модулей и т.п. СВЧ-диапазона.

Исследования и разработки во всех этих направлениях представляют интерес для многих участников ТП, поскольку носят базовый, межвидовой характер для создания новых приборов, конечных продуктов и систем.

Необходимо понимать, что сегодня многие направления и области применения СВЧ-электроники только формируются. Поэтому очень важная задача, помимо чисто технологических исследований - анализ и поиск новых областей применения, создание принципиально новых конечных решений, интеграция в мировую систему разработки и производства конечной продукции. Именно эти задачи и призвано решать объединение «Технологическая платформа». Для этого, прежде всего, необходимы две составляющие:

* анализа тенденций и возможных направлений развития,
* объединение всех субъектов материального производства, связанных с СВЧ-электроникой - как в плане создания продуктов (от исследований материалов и разработки средств проектирования до создания и эксплуатации законченных решений, систем, сетей связи и т.п.), так и в области государственного управления, нормативно-законодательной, регуляторной и инвестиционной деятельности.

Структурно первую задачу должен решать отдельный аналитический центр СВЧ-электроники, занимающийся комплексным изучением тенденций и рынков СВЧ-электроники. Его можно создать, например, на базе ИСВЧПЭ РАН как межотраслеовой научной организации, глубоко погруженной в проблемы СВЧ электроники.

Для решения второй задачи необходима структура, созданная в рамках объединения «Технологическая платформа». Основная задача такой структуры - инициирование комплексных проектов в области СВЧ-электроники и управление реализацией этих проектов. По сути, это минимальный аппарат, менеджеры проектов и привлеченные эксперты.

## 3.2. Перечень продукции ТП. Группы перспективных технологий, которые предполагается развивать в рамках стратегической программы исследований и разработок ТП. Цели и задачи технологической ТП, уточненные/актуализированные исходя из состава и структуры направлений кооперации R&D на доконкурентной стадии

### 1. В области электронного материаловедения:

1.1. Создание оптимизированных приборных гетероструктур на основе арсенида галлия с удельной плотностью мощности более 1,5 Вт/мм.

1.2. Создание оптимизированных гетероструктур на основе нитрида галлия и других широкозонных материалов для мощных СВЧ приборов в дм-, см- и мм-диапазонах длин волн.

1.3. Создание алмазных приборных структур.

1.4. Создание гетероструктур на основе узкозонных полупроводниковых материалов (антимонидов) для СВЧ приборов и устройств с малым потреблением.

1.5. Создание МЭМС и НЭМС структур.

1.6. Создание нового поколения ферритовых материалов.

1.7. Разработка новых видов катодных материалов.

1.8. Разработка и серийное освоение композитных конструкционных материалов на основе Al-SiC для корпусов и оснований электронных модулей нового поколения.

1.9. Метаматериалы, нанокомпозиты и керамика на основе решетчатых (упорядоченных) упаковок наносфер SiO2 для элементов различных СВЧ устройств и покрытий

Материалы нового поколения, относящиеся к метаматериалам, позволяют применять новые решения, в частности, возникающие при использовании метасред с запрещенной фотонной зоной в СВЧ диапазоне, для разработки современных устройств радиоэлектроники. Оказалось, что можно создать материалы, которые в заданном частотном диапазоне (включая не только гигагерцовый, но и терагерцовый, инфракрасный и видимый) будут обладать отрицательными (или близкими к нулю) диэлектрической проницаемостью и (или) магнитной восприимчивостью.

Наиболее перспективно направление, связанное с применением магнитных нанокомпозитов на основе опаловых матриц, в различных СВЧ устройствах, в частности, невзаимных устройств СВЧ, а также, в различных фазовращающих элементах, в частности, в циркуляторах СВЧ (включая вентильного типа) с предельно достижимыми характеристиками, поскольку, указанные магнитные нанокомпозиты имеют хорошие гиромагнитные свойства при небольших магнитных потерях. В АО «ЦНИТИ «Техномаш» впервые в мире были разработаны опытные технологические процессы получения:

- метаматериалов - композитных материалов на основе решетчатых упаковок наносфер SiO2 (опаловых матриц) и 3D нанорешеток кластеров металлов переходных групп (Ni, Fe, Co, Pd и другие) и их сплавов размерами до 20-30 нм с большой микроволновой проводимостью в диапазоне 1 МГц-300 ГГц, а также метаматериалов, относящихся к типу с отрицательной магнитной восприимчивостью или с показателем преломления близким к нулю; отмечается, высокая термостабильности (вплоть до 800 °С) как и очень высокая лучевая прочность для подобных материалов;

- керамик - композитных материалов на основе решетчатых упаковок наносфер кремнезема с малым коэффициентом отражения и 3D нанорешеток кластеров размерами до 30 нм магнитных (ферриты различного типа, магнитные и немагнитные металлы и другие), пьезоэлектрических, магнитодиэлектрических, а также мультиферроидных материалов для систем с малым уровнем отраженных паразитных сигналов или с малым уровнем поглощения в радиодиапазоне.

Фактически, появились метаматериалы (нанокомпозиты с упорядоченными подрешетками кластеров различного типа) с эффективными отрицательными или близкими к нулевым значениям диэлектрической или магнитной проницаемостью, материалы с большой микроволновой проводимостью в широком частотном диапазоне и с управляемыми диэлектрическими, включая СВЧ диапазон (10-60 ГГц и выше) характеристиками при использовании магнитных или электрических полей.

1.10. Создание структур АЭК.

### 2. В области электронных СВЧ компонентов:

2.1. Создание параметрических рядов СВЧ транзисторов и МИС на основе Si, GaAs, SiGe, антимонидов в дм-, см- и мм-диапазонах длин волн.

2.2. Разработка и изготовление твердотельной элементной базы генерации и детектирования излучения терагерцового диапазона.

2.3 Исследования по совершенствованию технологии создания и конструкций СВЧ транзисторов и МИС на основе гетероструктур традиционных полупроводниковых материалов: кремния и арсенида галлия с целью получения предельно достижимых электрических и эксплуатационных параметров.

2.4 Разработка технологии создания СВЧ транзисторов и МИС на основе широкозонных полупроводниковых материалов (GaN, SiC, InP, алмаз, графен), в том числе КВЧ (60-200 ГГц) диапазона.

2.5 Разработка технологии создания многофункциональных однокристальных МИС СВЧ, включающих в свой состав аналоговые, переключательные и цифровые схемы класса «система на кристалле».

2.6 Разработка технологии для создания многофункциональных многокристальных СВЧ модулей класса «система в корпусе», в том числе на основе использования многослойных керамических плат с встроенными пассивными компонентами и цепями согласования.

2.7 Разработка технологии создания и базовых конструкций мощных многолучевых малогабаритных электровакуумных приборов и комплексированных устройств на их основе с низкими уровнями питающих напряжений.

2.8 Разработка и создание СВЧ приборов и устройств на новых физических принципах действия, в том числе гироприборов, приборов с ВТСП-магнитными системами, усилителей оротронного типа.

2.9 Создание микровакуумных СВЧ приборов на основе автоэмиссионных и вторичноэмиссионных катодов.

2.10 Исследования по созданию алгоритмов, моделей и программного обеспечения для решения 2- и 3-мерных электронно-оптических задач и моделирования электровакуумных приборов СВЧ (клистронов и ламп бегущей волны), ориентированных на использование кластерных вычислительных систем, многопроцессорных систем и графических ускорителей.

2.11 Разработка технологии создания и базовых конструкций мощных вакуумных СВЧ приборов миллиметрового и террагерцового диапазонов и комплексированных устройств на их основе.

2.12 Разработка базовой технологии создания дрейфовых диодов с резким восстановлением (ДДРВ) на основе полупроводниковых материалов Si и SiC, предназначенных для формирования сверхкоротких видеоимпульсов в сверхширокополосных (СШП) системах.

2.13 Разработка и создание приемно-передающих модулей для сверхкороткоимпульсных сверхширокополосных систем с длительностью импульса от 0,05 до 1 нс.

2.14. Разработка технологии создания СВЧ резонаторов, фильтров и генераторов на основе объёмных акустических волн в тонких пьезоэлектрических пленках.

2.15. Создание СВЧ устройств на основе радиочастотных МЭМС и НЭМС.

2.16. Создание приборных рядов МИС приемо-передающих трактов коротковолновой части мм- и терагерцового диапазонов.

2.17. Создание приборных рядов СВЧ транзисторов с выходной мощностью: 15..100 Вт на частотах до 14 ГГц; 1..20 Вт на частотах до 37,5 ГГц; 0,5..5 Вт на частотах до 60 ГГц; 0,2..2 Вт на частотах до 94 ГГц.

2.18. Создание переключательных диодов на рабочие частоты до 150 ГГц, генераторных диодов с рабочими частотами.

2.19. Технология создания мощных низковольтных клистронов с многолучевыми ленточными потоками, радиально неоднородными зазорами между пролётными трубами, и бестоковым сеточным управлением, обеспечивающих в «S» - «W» диапазонах частот минимальную наработку 10-40 тыс. часов.

АО «НПП «Фаза» имеет обширный опыт разработок и серийного выпуска различных мощных вакуумных СВЧ приборов, в т.ч. мощных многолучевых клистронов.

Многолучевые клистроны, благодаря появлению новых возможностей компьютерного моделирования, а также новых поколений металлообрабатывающего и иного оборудования, имеют хорошие перспективы для дальнейшего развития.

В передатчиках РЛС в настоящее время всё более сильную конкуренцию вакуумным приборам составляют твёрдотельные устройства в том числе с пространственным сложением мощности (АФАР).

Однако есть ряд применений особенно в коротковолновой части СВЧ диапазона, где мощные усилительные ЭВП (прежде всего клистроны и ЛБВ) могут иметь существенные преимущества по сравнению с системами, построенными на твёрдотельных приборах, особенно в стоимостном выражении.

Однако для этого необходимо создание нового поколения мощных ЭВП, обладающего следующими характеристиками: относительно низкими рабочими напряжениями; высокими значениями КПД (не менее 40-50%); сеточной модуляцией; увеличенным до десятков тысяч часов сроком службы.

Для решения этих задач необходимы разработки следующих технологий.

1. Реализация систем многоленточных потоков с возможностью эффективной фокусировки и сопровождения ленточных пучков вдоль всего пространства взаимодействия прибора и сеточным управлением.

Это позволяет существенно увеличить рабочую (эмиттерную) площадь катода, по сравнению с обычным многолучевым катодом; эффективность взаимодействия электронных потоков с СВЧ полями в пространстве взаимодействия клистрона, а также добиться одной из важнейших задач, состоящей в необходимости снижения межэлектродных напряженностей полей до величин не более 5 кВ/мм.

2. Использование радиально неоднородных зазоров между пролётными трубами клистронов для выравнивания значений входной мощности насыщения клистрона для всех частей электронных потоков независимо от их радиальной координаты относительно оси прибора.

Это позволяет значительно увеличить размеры (площадь) пролётных труб клистрона с соответствующей возможностью увеличения рабочих токов клистрона.

3. Разработка нового поколения металлопористых катодов (МПК) с увеличенным объёмом матрицы катода, обеспечивающим увеличение запасов эмиссионно-активного вещества, а также применения различных модификаций МПК, обеспечивающих беспрепятственную доставку вещества к поверхности катода и использование различных плёночных покрытий эмиттирующей поверхности для увеличения срока службы катода.

Целью создания подобной технологии является увеличение срока службы МПК до 10-40 тыс. ч при токоотборе не менее 30-40 А/см2.

### 3. В области СВЧ радиоприборостроения:

3.1. Создание оптимизированных для массового производства и использования в бытовых условиях технологий управления абонентским устройством с помощью жестов и голосовых команд.

3.2. Создание малогабаритных радиолокационных систем с АФАР в см- и мм-диапазонах длин волн.

3.3. Разработка технологии создания комплексированных сложнофункциональных блоков и радиоэлектронных устройств на основе нового поколения СВЧ ЭКБ с высокой плотностью компоновки комплектующих для информационных и телекоммуникационных систем.

3.4. Разработка и серийное освоение аппаратуры широкополосной беспроводной связи, навигации и интеллектуальных многофункциональных приемных устройств и терминалов инфотелекоммуникационных сетей.

3.5. Разработка и серийное освоение аппаратуры радиорелейных систем связи и телекоммуникаций Е-диапазона.

3.6. Разработка комплексов специального назначения (досмотровые комплексы, охранные системы, системы радиолокационного наблюдения).

3.7. Разработка высокоточного метрологического оборудования, включая оборудование технологических цепочек разработки и производства СВЧ ЭКБ

3.8 Развитие электронной техники миллиметрового и терагерцового диапазонов, соответствующее мировой тенденции развития этого вида техники.

Перспективность применения миллиметровых и субмиллиметровых волн обусловлена целым рядом их особенностей, среди которых:

* исключительно широкая полоса частот по сравнению с сантиметровыми волнами и другими радиодиапазонами;
* узкие диаграммы направленности антенн при малых их габаритах и возможность генерации сверхкоротких импульсов;
* особенности в спектрах поглощения и излучения атомов, молекул и кристаллов, содержащие важную информацию о строении веществ и протекающих в них процессах.

Например, чрезвычайно широкая полоса частот терагерцового диапазона позволяет создавать высокоскоростные линии связи, высокоточные РЛС, способные работать в сложной электромагнитной обстановке; способность проникать через непрозрачные среды применяется для получения изображений с высоким разрешением, устройств дистанционной идентификации объектов и т.д.

Излучение терагерцового диапазона применяется в радиоспектроскопии газов и твердых тел, при изучении физических постоянных и свойств материалов, диагностике плазмы больших концентраций, в радиоастрономии и др. Изучение взаимодействия терагерцового излучения с биологическими средами открывает широкие возможности для использования ТГЧ в биологии и медицине.

Достижения в этом диапазоне обеспечивают информационно-технологическое превосходство не только в области обороны и безопасности, но и в других областях науки и техники.

Задача освоения ТГЧ диапазона является весьма специфичной, требующей большого объема исследований и инвестиций. Должен быть решен ряд основных научно-технических и технологических задач, в том числе необходимо разработать:

* мощные, эффективные и компактные источники терагерцового излучения;
* твердотельную и вакуумную электронную компонентную базу;
* высокочувствительные приемники излучения;
* элементы ТГЧ – трактов (направленные ответвители, детекторные устройства, согласованные и рассогласованные нагрузки и т.д.);
* измерители мощности;
* измерительную аппаратуру для контроля параметров ТГЧ-устройств;
* методы цифровой обработки сигнала в этом частотном диапазоне.

Достигнутые к настоящему времени результаты деятельности могут быть использованы при решении целого ряда специальных задач: при разработке научных основ физического материаловедения и структур, в т.ч. конструкционных и сверхпроводящих материалов; методов субмиллиметровой спектроскопии сверхвысокого разрешения; методов и систем для диагностики поверхности, параметров слоев полупроводниковых структур, специализированной твердотельной элементной базы СВЧ диапазона и др.

3.9. Улучшение характеристик цифровых блоков (повышение частоты)

Приоритетное развитие сверхвысокочастотной (СВЧ) техники является одним из основных направлений, определяющих технический уровень современных РЭС.

Одной из основных тенденций в создании РЭС передового мирового уровня является максимальная замена аналоговых блоков на цифровые, причём на всё более высоких частотах. В идеале, оцифровка должна начинаться сразу после предварительного усиления принимаемых антеннами сигналов и даже без предварительного усиления. Поэтому, в современных РЭС, под обработкой сигналов, следует понимать, прежде всего, оцифровку сигналов. А это значит, что необходимо решать задачи оцифровки аналоговых сигналов в диапазоне до десятков, и даже сотен, гигагерц. А когда речь идёт о современных скоростях передачи сигналов, то называются цифры в сотни и тысячи Тбит/сек.

В современных условиях развития науки и техники можно говорить о достижении полупроводниковой ЭКБ своих физических пределов в области цифровых устройств и устройств СВЧ, в которых уже используются транзисторы с длинами затвора или толщинами базы в десяток атомов.

Мировая тенденция инновационного развития ЭКБ уже абсолютно чётко определилась - это переход от электронных устройств к фотонным, или другими словами, переход от электроники к фотонике. Принципиальное отличие фотоники от привычной нам электроники заключается в том, что в фотонных устройствах вместо электрона используется фотон. А с появлением высокоскоростных волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) с полосами пропускания в десятки ГГц, сформировалась новая отрасль науки и техники, которую за рубежом, как правило, называют микроволновой фотоникой (microwave photonic - MWP), а в РФ - как правило, радиофотоникой***.***

В настоящее время в мире уже создана полноценная многопрофильная фотонная промышленность, которая помимо разработки и производства различных компонентов, занимается созданием финишных продуктов инновационного характера, как для военных, так и гражданских задач.

Приведём наиболее яркие примеры использования элементов MWP в современной аппаратуре ведущих мировых производителей (Northrop Grumman, Lockheed Martin, BAE Systems и другие):

- сверхширокополосные многоканальные супергетеродинные приёмники для РЛС;

- высокостабильные и перестраиваемые автогенераторы сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн с рекордными характеристиками по спектрам сигналов;

- многоканальные сверхширокополосные мультиплексоры СВЧ и другие аналоговые СВЧ-процессоры: умножители частоты, фазовые манипуляторы, детекторы и смесители;

- сверхширокополосные линии задержки СВЧ сигналов;

- малогабаритные сверхмощные источники СВЧ сигналов с удельной излучающей мощностью до 100 МВт/дм2;

- входные каскады радиоприёмников, способные выдержать воздействия не только оружия функционального поражения СВЧ-трактов, но и электромагнитного импульса ядерного взрыва.

Наиболее ярким примером использования элементов и методов MWP является проводимые за рубежом работы по созданию сверхширокополосных аналого-цифровых преобразователей с диапазоном частот до 100 ГГц и выше.

Наиболее ярким примером использования элементов и методов MWP является проводимые за рубежом работы по созданию сверхширокополосных аналого-цифровых преобразователей с диапазоном частот до 100 ГГц и выше.

Существующие проблемы

Узкая специализация разработок РЭС военного назначения требует большой номенклатуры сложнофункциональных устройств, что вызывает необходимость применения ЭКБ специализированного применения. Существующая номенклатура ЭКБ общего военного применения (перечень МОП 44 001) не обеспечивает потребность разработчиков перспективных РЭС.

При совместной деятельности с разработчиками и изготовителями ЭКБ выявляются следующие общие проблемы создания новых типов специализированной ЭКБ.

**Проблемы узкой специализации**

Одной из основных тенденций в проектировании ГИМ СВЧ в течении последних 10-15 лет является переход от функциональных узлов СВЧ на дискретной ЭКБ к функциональным узлам СВЧ в виде МИС СВЧ.

Основными технологиями при производстве этих МИС СВЧ являются следующие полупроводниковые технологии:

- GaAs 0,25 μm рНЕМТ - для производства МИС СВЧ с диапазоном рабочих частот до 18-20 ГГц;

- GaAs 0,13 μm рНЕМТ и GaAs 0,15 μm рНЕМТ - для производства МИС СВЧ с ДРЧ до 40 ГГц и выше.

Для производства таких МИС СВЧ требуется сложнейшее, и как следствие, очень дорогостоящее технологическое оборудование, для обеспечения нормального функционирования которого, в свою очередь, требуется наличие соответствующей - причём тоже весьма капиталоёмкой – инфраструктуры, однако, даже при наличии финансовых ресурсов, нельзя гарантировать того, что производство таких МИС СВЧ будет налажено. Последнее будет возможно лишь после того, как будет решён ещё ряд проблем - причём, по большей части даже не научно-технического, а нормативно-организационно характера.

Главная из этих проблем заключается в том, что работа на упомянутом выше дорогостоящем оборудовании - после наладки и запуска - не может быть остановлена. Прекращение работы на таком оборудовании является чрезвычайной ситуацией, так как для приведения его в рабочее состояние после выключения снова придётся проводить сложнейшие и дорогостоящие пуско-наладочные работы, выпуск пробных партий и т.д.

Следовательно, производителю МИС СВЧ необходимо найти сотни - если не тысячи - заказчиков на эту и ей аналогичные МИС СВЧ, чтобы обеспечить требуемую непрерывную загрузку своего технологического оборудования.

Поэтому, производственные мощности приходится загружать более востребованной - и как правило - намного более узкополосной ЭКБ.

Эту проблему нашим зарубежным коллегам удалось решить следующим образом: были созданы т.н. фаундри-фабрики, которые предлагают на рынке не готовую продукцию, а технологические услуги по изготовлению полупроводниковой ЭКБ. Таким образом, эти фаундри-фабрики занимаются только производством и практически не проявляют никакой инициативы в области разработки, а функцию разработки взяли на себя т.н. дизайн-центры, которые были созданы в тех организациях, которые являются потенциальными потребителями производимых МИС СВЧ, например, таких, как Lockheed Martin, Northrop Grumman, Raytheon, Thales, Finnmeccanica. т.д. Эти дизайн-центры - на основе предоставляемых фаундри-фабриками нормативных документов с описанием технологических возможностей данной фаундри-фабрики и библиотек базовых элементов - стали разрабатывать именно те МИС СВЧ, которые были необходимы тому предприятию, при котором данный дизайн-центр был создан. Такие дизайн-центры стали называть дизайн-центрами кристального уровня.

Таким образом, в результате появления «фаундри-индустрии» производители высокотехнологичной и наукоёмкой продукции - в виде фаундри-фабрик - избавились от проблем, связанных с маркетингом и разработкой востребованных на рынке МИС СВЧ, а также загрузкой их технологического оборудования, а разработчики РЭС получили возможность оперативно создавать требуемые для их изготовления МИС СВЧ.

Так же необходимо отметить, что специализация фаундри-фабрик, в настоящий момент, не ограничивается только полупроводниковым производством. В режиме фаундри-фабрик могут функционировать, например, технологические линии по корпусированию МИС СВЧ в SMT-Package, BGA\_ED и корпуса типа Microlithic™ mixers, а также те технологические линии, которые используются для изготовления различных многослойных полосковых плат, на которых могут быть реализованы различные интегральные полосковые узлы и гибридные интегральные полосковые узлы.

В настоящий момент, в режиме фаундри-фабрики, уже работает, например, один из технологических участков в РНИИРС (г. Ростов-на-Дону), который специализируется на технологии LTCC.

Можно предположить, что в ближайшем будущем будут экономически рентабельны и широко востребованы фаундри-фабрики, которые будут специализироваться и на других современных и перспективных технологиях - например, PCB, LCP, МЭМС, технологиях точной механической и лазерной обработки материалов, технологиях синтеза различных органических и неорганических материалов и других перспективных технологиях, перечни которых будут обновляться ежегодно.

Такого рода – «неполупроводниковые» - фаундри-фабрики будет целесообразно создавать на предприятиях, которые будут специализироваться на разработке и производстве ГИМ СВЧ. Так же, на таких предприятиях, как правило, создаются специализированные проектные подразделения, которые - опять же явочным порядком - принято называть дизайн-центрами системного уровня.

Так, например, в АО «КТРВ» разработан проект создания дизайн-центра системного уровня (на базе АО «ЦКБА») и организации производственно-технологического комплекса по разработке и производству многофункциональных СВЧ модулей типа СвК (или ГИМ СВЧ - в соответствии с действующими нормативными документами). Необходимо отметить, что таких производственно-технологических комплексов потребуется гораздо больше, чем полупроводниковых «фаундри-фабрик», и потому их создание при крупнейших концернах и корпорациях отечественного ВПК может быть вполне оправдано, причём как с научно-технической точки зрения, так и с экономической.

Проблемы нормативной базы

Для обеспечения возможности серийного и устойчивого серийного производства современных и перспективных МИС СВЧ и транзисторов СВЧ с использованием различных модификаций технологий рНЕМТ, mHEMT и HBT необходимо:

- создать в РФ мощную и современную научно-техническую базу;

- создать высокотехнологичное производство, оснастив его самым современным и совершенным технологическим оборудованием;

- сформировать коллектив из высококвалифицированных специалистов,

- изменить структуру производственных и юридических взаимоотношений между производителями МИС СВЧ и транзисторов СВЧ и разработчиками РЭС военного и специального назначения.

**Проблемы изготовления**

Базовой технологией изготовления современных малошумящих и широкополосных МИС СВЧ и транзисторов СВЧ является технология изготовления т.н. Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor (рНЕМТ), для реализации МИС СВЧ с диапазоном рабочих частот до 18-20 ГГц используются следующие технологии: либо GaAs 0,15 μm рНЕМТ (у TriQuint Semiconductor), либо GaAs 0,25 μm рНЕМТ (у Compound Photonics и United Monolithic Semiconductor).

Отечественная полупроводниковая промышленность пока не освоила в серийном производстве GaAs 0.25 μm рНЕМТ и тем более GaAs 0.15 μm рНЕМТ.

Кроме перечисленных выше технологий для изготовления современных МИС СВЧ и транзисторов СВЧ широко используются и другие технологии:

- Metamorphic High Electron Mobility Transistor - метаморфных транзисторов с высокой подвижностью электронов (принятая аббревиатура mHEMT);

- Heterojunction Bipolar Transistors - гетеропереходных биполярных транзисторов (принятая аббревиатура - HBT) и её разновидностей в виде single HBT - однопереходных гетеробиполярных транзисторов (принятая аббревиатура - SHBT) и double HBT - двухпереходных гетеробиполярных транзисторов (принятая аббревиатура - DHBT).

Эти технологии осваиваются отечественными специалистами, на экспериментальном уровне.

Кроме полупроводниковых технологий, в настоящий момент огромное значение имеют и технологии корпусирования МИС СВЧ и транзисторов СВЧ.

Наиболее привлекательным конструктивно-технологическим решением для реализации ЭКБ, требуемой для изготовления ГИМ СВЧ являются МИС СВЧ в КТПМ.

Три ключевых технологии корпусирования:

- SMT-Package;

- Microlithic™ mixers;

- BGA\_ED.

Ни одна из этих технологий отечественными предприятиями не освоена.

Необходимо ознакомиться с уникальной технологией Microlithic™ mixers, а также технологией изготовления сверхмалогабаритного гибридного интегрального полоскового узла М2-0026.

Отечественная полупроводниковая промышленность пока не освоила в серийном производстве технологии изготовления диодных МИС с использованием диодов с барьером Шоттки (ДБШ). Эти ДБШ, как правило, являются либо низкобарьерными (ток смещения 1 мА достигается при напряжении смещения менее 0,3 В), либо вообще являются т.н. диодами с нулевым смещением (Zero Bias).

«Высокие» технологии необходимы не только для изготовления описанной выше ЭКБ, но и для её монтажа.

К общим проблемам изготовления ЭКБ можно отнести следующие:

1) недостаточная обеспеченность предприятий-производителей сложнофункциональной ЭКБ современным технологическим оборудованием;

2) практически полное отсутствие на предприятиях-производителях сложнофункциональной ЭКБ автоматизированных процессов контроля и диагностики их параметров;

3) практически полное отсутствие налаженного отечественного производства новых СВЧ диэлектрических и СВЧ материалов, необходимых для создания передовой сложнофункциональной ЭКБ (в лучшем случае имеется производство таких материалов в лабораторных условиях в виде экспериментальных образцов, либо производится размещение заказов на их производство в иностранных фирмах);

4) практически полное отсутствие на предприятиях-производителях сложнофункциональной ЭКБ современных технологий корпусирования в металлические и, особенно, в многовыводные керамические корпуса типа SMT (surface-mount technology).

5) острый дефицит квалифицированных кадров.

Проблема получения потребителем от изготовителей ЭКБ заведомо годных типов специализированной ЭКБ так же является актуальной задачей. Как правило, изготовители ЭКБ могут косвенно проверить только электрофизические параметры специализированной сложнофункциональной ЭКБ при мониторинге технологического процесса. Функциональные параметры такой ЭКБ приходится проверять потребителю. Это очень трудоёмкая и дорогостоящая операция. Однако изготовитель РЭС, как потребитель специализированной сложнофункциональной ЭКБ, в большей степени имеет возможность проверки параметров такой ЭКБ в составе конструктивно-сборочных единиц РЭС, чем изготовитель ЭКБ.

Для обеспечения возможности серийного и устойчивого серийного производства современных и перспективных МИС СВЧ и транзисторов СВЧ с использованием различных модификаций технологий рНЕМТ, mHEMT и HBT необходимо:

* создать в РФ мощную и современную научно-техническую базу;
* создать высокотехнологичное производство, оснастив его самым современным и совершенным технологическим оборудованием;
* сформировать коллектив из высококвалифицированных специалистов,
* изменить структуру производственных и юридических взаимоотношений между производителями МИС СВЧ и транзисторов СВЧ и разработчиками РЭС военного и специального назначения.

**Проблема размещения заказов**

Как правило, годовая потребность в конкретном типе специализированной ЭКБ для конкретной РЭС - даже при серийном производстве - составляет всего несколько тысяч штук, а в некоторых случаях - и несколько сотен штук. Поэтому, с размещением заказов на изготовление такой ЭКБ всегда возникают очень серьёзные проблемы.

3.10. Разработка и серийное освоение комплексов специального назначения (досмотровые комплексы, охранные системы, системы радиолокационного наблюдения, системы скрытой связи) и многофункциональных приемных устройств на основе сверхкороткоимпульсных сверхширокополосных радиолокационных систем.

Все направления, перечисленные в п. 3 исследований взаимосвязаны между собой и ориентированы на развитие рынков продукции прежде всего двойного и гражданского назначения.

3.11. Повышение выхода годных и рентабельности производств СВЧ приборов.

3.12. Создание и развитие отечественных СВЧ-фаундри, аналогичных зарубежным TriQuint, WinSemi, IHP, Omnic, Cree и др. со стабильным технологическим процессом, приемлемым выходом годных (от 35 до 50 %).

3.13. Создание для вновь осваиваемых технологических процессов стандартизованных технологических дизайн-китов (PDK), совместимых с современными серийными лицензионными САПР МИС СВЧ (ADS, AVR, Cadence, Synopsys), доступных и пригодных для передачи отечественным (и зарубежным – республика Беларусь) дизайн-центрам (СВЧ фаблес), что должно обеспечивать номинальную загрузку производства собственными и сторонними проектами (в режиме MPW или ENG).

3.14. Вовлечение в процесс загрузки отечественных СВЧ-фаундри специализированных дизайн-центров по проектированию СВЧ приборов, в том числе на базе ВУЗов, располагающих современными лицензионными САПР МИС СВЧ, квалифицированными кадрами схемотехников, топологов, специалистов по моделям и отлаженным маршрутом сквозного проектирования, адаптированным под технологии конкретных зарубежных и отечественных производств СВЧ приборов.

3.15. Привлечение существующих и развивающихся в стране экспериментальных технологических линеек, в том числе на базе организаций РАН и ВУЗов, в качестве стратегических партнеров предприятий СВЧ подотрасли для отработки без ущерба для выпуска серийной продукции новых и совершенствования существующих технологических процессов, конструктивно –технологических, схемотопологических решений с последующим переносом и внедрением полученных результатов на базовые серийные производства.

### 4. В области радиофотоники

4.1 Разработка быстродействующего фотоприемника на основе GaAs. Наименование элемента: быстродействующий фотоприемник на технологической платформе GaAs. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для преобразования СВЧ-модулированного оптического сигнала в СВЧ сигнал.

4.2 Разработка лазера-гребенки на технологической платформе GaAs. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для генерации оптического сигнала с плотным спектральным уплотнением.

4.3 Разработка лазера с распределенной обратной связью на технологической платформе GaAs. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для генерации оптического сигнала с грубым спектральным уплотнением.

4.4. Разработка модулятора на основе кольцевых микрорезонаторов на технологической платформе GaAs. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для модуляции оптического сигнала с плотным спектральным уплотнением.

4.5. Разработка интерференционного модулятора на технологической платформе GaAs. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для модуляции оптического сигнала с грубым спектральным уплотнением.

4.6. Разработка решетки для ввода/вывода света в / из кристалла. Область применения/назначение: работа в составе радиофотонных устройств для ввода / вывода света в / из кристалла.

4.7. Разработка мультиплексора на основе массива волноводов на технологической платформе GaAs. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для мультиплексирования света по каналам.

4.8. Разработка быстродействующего фотоприемника на технологической платформе InP спектрального диапазона 800-1700 нм. Область применения/назначение: работа в составе радиофотонных устройств для преобразования СВЧ-модулированного оптического сигнала в СВЧ сигнал.

4.9. Разработка одночастотного вертикально-излучающего лазера спектрального диапазона 1300-1550 нм. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для преобразования СВЧ-модулированного сигнал в оптический сигнал.

4.10. Разработка одночастотного лазерного излучателя с распределенной обратной связью спектрального диапазона 1550 нм. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для преобразования СВЧ-модулированного сигнал в оптический сигнал.

4.11. Разработка одночастотного лазерного излучателя с интегрированным модулятором спектрального диапазона 1300-1550 нм. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для преобразования СВЧ-модулированного сигнал в оптический сигнал, для стробирования в радиофотонных АЦП и использования в качестве синхронизующего сигнала в системах передачи данных.

4.12. Разработка СВЧ интегральных схем миллиметрового диапазона длин волн. Область применения/назначение: работа в составе радиофотонных устройств для усиления СВЧ-сигнала. В результате выполнения работ на первом этапе (2016-2018 гг.) и на втором этапе (2019-2021 гг.) ожидается достижение следующих параметров приборов.

4.13. Разработка интерференционного модулятора на полимерной технологической платформе. Область применения/назначение: работа в составе радиофотонных устройств для модуляции оптического сигнала СВЧ сигналом.

4.14. Разработка сверхвысокоскоростного оптоэлектронного АЦП. Область применения / назначение: работа в составе РЛС с АФАР для оцифровки радиосигнала в реальном времени.

4.15 Разработка оптоэлектронного сверхширокополосного СВЧ фильтра. Область применения/назначение: обработка СВЧ сигналов в оптическом диапазоне длин волн для применения в различных радиотехнических системах приема, передачи и обработки информации.

4.16 Разработка оптоэлектронного сверхширокополосного дуплексера. Область применения / назначение: обработка СВЧ сигналов в оптическом диапазоне длин волн для применения в различных радиотехнических системах приема, передачи и обработки информации.

4.17 Разработка оптоэлектронного СВЧ умножителя частоты. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для преобразования частоты СВЧ сигнала.

4.18 Разработка оптоэлектронного СВЧ смесителя частот. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для преобразования частоты СВЧ сигнала.

4.19 Разработка оптоэлектронного сверхширокополосного фазовращателя. Область применения / назначение: работа в составе радиофотонных устройств для управления фазой СВЧ сигнала.

### В области радиофотонной компонентной базы:

* Определение оптимальных материальных платформ для активной и пассивной части ФИС.
* Разработка технологии получения и освоение производства материалов для ФИС.
* Определение оптимальных маршрутов проектирования ФИС и требуемых программных продуктов.
* Разработка единой библиотеки моделей дискретных радиофотонных компонентов.
* Разработка единой библиотеки моделей элементов ФИС.
* Разработка библиотеки моделей сложно-функциональных блоков (IP-блоков) ФИС.
* Разработка моделей основных радиофотонных узлов (трактов) передачи и обработки информации на базе ФИС.
* Разработка оптического приемопередатчика, интегрированного с СВЧ узлами ППМ для АФАР Х-диапазона.
* Разработка оптического приемопередатчика, интегрированного с СВЧ узлами ППМ для АФАР мм-диапазона.
* Разработка ФИС диаграммообразующего устройства для безынерционного (многолучевого) обзора пространства.
* Разработка ФИС многоканального передатчика и ФИС многоканального приемника со спектральным разделением каналов для организации трактов с вынесенными передающими/приемными радиотехническими позициями.
* Разработка передатчика сигналов с векторной оптической модуляцией и когерентный оптический приемник для систем когерентной оптической связи.
* Разработка ФИС для радиофотонного АЦП.
* Разработка лазерного модуля с полосой непосредственной модуляции не менее 18 ГГц.
* Разработка лазерного модуля с непрерывным излучением с узкой спектральной линией (менее 1 кГц) и относительным шумом интенсивности менее минус 160 дБн/Гц.
* Разработка сборки с перестраиваемым в диапазоне 1525-1570 нм лазером (ITLA).
* Разработка лазерного модуля с активной синхронизацией мод для применения в радиофотонном АЦП.
* Разработка эрбиевого волоконного усилителя с коэффициентом к- том шума не более 4 дБ, коэффициентом усиления не менее 40 дБ.
* Разработка полупроводникового волоконного усилителя с коэффициентом шума не более 6 дБ, к-том усиления не менее 25 дБ.
* Разработка лазерного модуля с электроабсорбционным модулятором с полосой непосредственной модуляции не менее 25 ГГц.
* Разработка электрооптического модулятора интенсивности на основе интерферометра Маха-Цандера с полосой модуляции не менее 40 ГГц.
* Разработка электрооптического квадратурного модулятора на основе интерферометров Маха-Цандера с полосой модуляции не менее 18 ГГц.
* Разработка фотодиодного модуля с полосой 40 ГГц.
* Разработка фотодиодного модуля с максимальной мощностью выходного СВЧ сигнала 10 дБм на частоте до 18 ГГц.
* Разработка балансного фотодиодного модуля с полосой 40 ГГц.
* Разработка комплекта управляющей электроники для дискретных радиофотонных компонентов.
* Определение оптимальных путей построения радиотехнических систем с использованием радиофотонных технологий.
* Разработка многоцелевого радиофотонного локатора S и X диапазона.
* Разработка многоцелевого радиофотонного локатора X и Ки диапазона.
* Разработка многоцелевого радиофотонного локатора X и Ка диапазона.
* Разработка многоцелевого радиофотонного локатора мм-диапазона.
* Разработка унифицированного панорамного приемника радиотехнической разведки со спектральным разделением каналов с диапазоном рабочих частот до 40 ГГц.
* Разработка многоканального радиофотонного АЦП с частотой обрабатываемых сигналов до 18 ГГц.
* Разработка многоканального радиофотонного АЦП с частотой обрабатываемых сигналов до 40 ГГц.
* Разработка линии сверхширокополосной радиосвязи с низкой вероятностью перехвата.
* Разработка сверхмалогабаритного оптоэлектронный генератор с частотой выходного сигнала до 18/40 ГГц.
* Разработка оптоэлектронного генератора сетки частот S диапазона.

**3.3. Направления собственных (российских) научных исследований и разработок, для обеспечения российских предприятий-производителей техническими и технологическими решениями, важнейшими с точки зрения их конкурентоспособности (в средне- и долгосрочном периоде)**

В настоящее время в области создания электронных СВЧ компонентов в рамках федеральных целевых программ реализуется ряд проектов, направленных на создание перспективных СВЧ приборов и устройств для применения в радиоэлектронной аппаратуре различного функционального назначения, наиболее значимые из которых приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Направления ИиР** | **Тематика ИиР** | **Характеристика результатов и оценка их значимости для решения задач технологических проектов** | **Применение** |
| 1 | Технология создания AlGaN/GaN СВЧ транзисторов и МИС на подложках из полиалмаза и SiC, включая технологии изготовления подложек и гетероструктур | Реализована в рамках ФЦП  2012-2015 гг. | Значительное продвижение.  Повышение выходной мощности и КПД передающих устройств.  Уровень значимости – высокий | Радиоэлектронная аппаратура космического применения.  Радиолокационные средства управления воздушным движением.  Системы специального назначения |
| 2 | Технология создания многокристальных СВЧ модулей класса «система в корпусе» | Реализована в рамках ФЦП  2012-2015 гг. | Значительное продвижение.  Возможность создания малогабаритных РЭС с АФАР.  Уровень значимости - высокий | Радиолокационные системы мониторинга нефте- и газопроводов, акваторий портов и аэродромов, ледовой и метеообстановки.  Системы связи, телевидения и Интернет на быстродвижущихся объектах.  Радиолокационные средства управления воздушным движением.  Системы специального назначения |
| 3 | Технология создания СВЧ аналого-цифровых и цифро-аналоговых МИС на SiGe | Реализована в рамках ФЦП  2012-2015 гг. | Значительное продвижение.  Снижение массогабаритных показателей РЭС при значительном росте функциональных возможностей.  Уровень значимости - высокий |
| 4 | Технология создания многофункциональных МИС СВЧ, включающих аналоговые, ключевые и цифровые схемы класса «система на кристалле» | Реализована в рамках ФЦП  2012-2015 гг. | Значительное продвижение.  Повышение технологичности изготовления и надежности РЭС с АФАР. Снижение стоимости.  Уровень значимости - высокий |
| 5 | Технология создания передающих устройств цифрового телевизионного сигнала COFDM на основе клистродов с выходной мощностью 50-100 кВт и КПД 30-40 % | Реализована в рамках ФЦП  2012-2014 гг. | Значительное продвижение.  Освоение рынка вещательных станций цифрового телевидения  Уровень значимости - высокий | Передающие центры вещания цифрового телевидения |
| 6 | Технология создания основных функциональных узлов для мощных вакуумных приборов с КПД до 70% сантиметрового диапазона, а также  мощных вакуумных приборов (включая гибридные многоствольные пространственно-развитые или планарные конструкции) миллиметрового и террагерцового диапазонов | Реализована в рамках ФЦП  2012-2015 гг. | Продвижение в коротковолновую часть миллиметрового диапазона до 100ГГц и освоение терагерцового диапазона до 1000 ГГц.  Обеспечение технологической независимости в области основных СВЧ компонентов |  |
| 7 | Технологии создания интеллектуальных многофункциональных приемных устройств и терминалов инфотелекоммуникацион-ных сетей | Реализована в рамках ФЦП 2013 – 2015 гг. | Значительное продвижение. Освоение рынка массовой бытовой и профессиональной телекоммуникационной техники с интеллектуальными функциями. Уровень значимости – высокий. | Бытовые и профессиональные телекоммуникационные системы, и устройства |

# Раздел 4. Тематический план работ и проектов платформы в сфере исследований и разработок

## 4.1. Детализированный план работ и проектов в сфере исследований и разработок, которые предполагается выполнить на первом этапе деятельности ТП (в первоочередном порядке)

Тематический план работ и проектов ТП в сфере исследований и разработок формируется ежегодно по трем основным взаимосвязанным технологическим направлениям, приведенным в разделе 3, на основе предложений участников ТП и реализуется в соответствии с алгоритмом, приведенным на рисунке 4.1.

**Государство**

**Министерства и ведомства**

**ФЦП**

**ТП «СВЧ технологии»**

42 организации

Наблюдательный совет

НТС

Экспертный совет

**Стратегическая программа исследований**

**Госкомпании**

Проекты (тематический план)

**Продукты, коммерциализованные результаты**

**Бюджетные средства**

**Бюджетные средства**

**Предложения**

**Предложения**

Закупки

**Экспертиза**

**Прогноз НТР**

**Прогноз НТР**

**Фонды**

**Средства фондов**

**Рынки товаров и услуг**

Рисунок 4.1 Алгоритм формирования и реализации тематического плана работ и проектов ТП «СВЧ технологии» в сфере исследований и разработок. Примечание – в настоящее время в состав ТП «СВЧ технологии» входит 69 организаций

Основной при формировании тематического плана работ является:

* Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 года;
* Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года;
* Основ политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2020 года и дальнейшую перспективу;
* Основ политики Российской Федерации в области развития электронной компонентной базы на период до 2010 года и дальнейшую перспективу;
* Государственной программы вооружения на период до 2020 года, а также результаты фундаментальных, прикладных и прогнозных исследований, результаты реализации и планы выполнения НИОКР и капитального строительства в рамках федеральных целевых программ «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008-2015 годы, «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2011-2020 годы», комплексных целевых программ развития СВЧ электроники для обеспечения перспективных и существующих систем вооружения и военной техники, радиоэлектронной аппаратуры двойного и гражданского (общепромышленного) применения, достигнутый к настоящему времени и планируемый на программный период технический уровень изделий отечественной СВЧ электроники и научно-технический и производственно-технологический уровень предприятий СВЧ подотрасли, входящих в Холдинг АО «Российская электроника», а также предприятий и организаций СВЧ подотрасли, являющихся стратегическими партнерами Холдинга (в первую очередь, это организации Российской академии наук и предприятия оборонного промышленного комплекса, разрабатывающие и серийно производящие СВЧ устройства и компоненты).

На первом этапе деятельности ТП (в первоочередном порядке), необходимо выполнить разработку базовой технологии и организацию высокотехнологического производства изготовления высокоэффективных теплоотводящих элементов конструкции из поликристаллического алмаза для активных компонентов изделий электронной техники.

Также важно провести исследование перспективных типов сверхвысокочастотных приборов, разработку технологических принципов их изготовления (монолитные интегральные схемы усилителей для диапазона частот 92-96 ГГц). Указанные работы приведены в таблице № 4.1.

**Таблица 4.1**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Шифр  работы | Заказчик | Генеральный  заказчик | Исполнитель | Дата и  № договора | Сроки выполнения | Объем работ тыс. рублей | |
| всего | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| **Постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологического производства»** | | | | | | | | |
| 1 | ОКТР «Разработка базовой технологии и организация высокотехнологического производства изготовления высокоэффективных теплоотводящих элементов конструкции из поликристаллического алмаза для активных компонентов изделий электронной техники», шифр «Теплоотвод» | АО «НПП «Исток» им. Шокина»,  г. Фрязино, МО | Министерство образования и науки Российской Федерации (Минобрнау-ки РФ) | ИСВЧПЭ РАН | 33/211-13 от 22.02.2013 | 22.02.2013-30.12.2015 | | 180000,0 |
| 2 | ОКТР «Разработка перспективных СВЧ компонентов для высокоплотных радиоэлектронных модулей нового поколения» шифр «Ультрамодуль» | АО «Концерн радиостроения «Вега», г. Москва | Минобрнауки РФ | НИЯУ МИФИ, АО «МРТИ РАН» | 02.G25.31.0087 от 22.05.2013 | 23.05.2013-31.12.2015 | | 186800,0 |
| **ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008 – 2015 годы** | | | | | | | | |
| 2 | НИР «Исследование перспективных типов сверхвысокочастотных приборов, разработка технологических принципов их изготовления (монолитные интегральные схемы усилителей для диапазона частот 92-96 ГГц)», шифр «2013 -24-14-426-0004-001» | Министерство образования и науки Российской Федерации | Министерство образования и науки Российской Федерации | ИСВЧПЭ РАН | 14.427.12.0001 от 30.09.2013 | 30.09.2013-15.11.2015 | | 19500,0 |

**Таблица 4.2**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Шифр работы | Генеральный заказчик | Исполнитель | Индустриальный партнер |
| **ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического**  **комплекса России» на 2014 – 2020 годы:** | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | ПНИ «Разработка наногетероструктур на подложках фосфида индия для приборов СВЧ наноэлектроники (диапазон 100 - 300 ГГц)», шифр «2014-14-576-0056-059» | Министерство образования и науки Российской Федерации | ИСВЧПЭ РАН | ОАО «НИИПП», г. Томск |
| 2 | ПНИ «Разработка базовой технологии создания МИС усилителей мощности и малошумящих усилителей на нитридных наногетероструктурах для приемо-передающих модулей на частоту 8-12 ГГц» , шифр «2014-14-579-0003-063» | Министерство образования и науки Российской Федерации | ИСВЧПЭ РАН | ОАО «ОКБ –Планета», г. Великий Новгород |
| 3 | ПНИ «Разработка конструкторско-технологических решений создания МИС усилителей мощности на широкозонных полупроводниках для современной радиоаппаратуры в поддиапазоне частот 42-46 ГГц», шифр «2014-14-576-0139-014» | Министерство образования и науки Российской Федерации | ИСВЧПЭ РАН | ОАО «НПП «Радиосвязь», г. Красноярск |
| 4 | ПНИ «Разработка конструктивно-технологических принципов создания однокристальных приемо-передающих модулей для современных широкополосных систем беспроводной связи и передачи информации в диапазоне частот 57-64 ГГц», шифр «2014-14-579-0128-8421» | Министерство образования и науки Российской Федерации | ИСВЧПЭ РАН | ОАО «ГЗ «Пульсар», г. Москва |
| 5 | Исследование процессов излучения электромагнитных волн терагерцевого диапазона частот для разработки новых эффективных когерентных и некогерентных твердотельных спин-инжекционных генераторов и их технологий | Министерство образования и науки Российской Федерации | АО «НПП «Исток» им. Шокина» | ФИРЭ РАН, ИПТМ РАН;  МФТИ, МГТУ МИРЭА, НИУ «МИЭТ» |
| 6 | Роботизированная авианесущая платформа радиолокационного зондирования, радионавигации, дальней и воздушно-космической связи | Министерство образования и науки Российской Федерации | ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) Федеральный Университет» (КФУ), | Институт физики КФУ, Высшая Школа Информационных Технологий и Информационных Систем КФУ и ЗАО РК «Вектор» |
| 7 | Разработка компонентной базы СВЧ и силовой электроники на основе нитрида галлия | Министерство образования и науки Российской Федерации | ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» | НИЯУ «МИФИ», ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, НИУ «МИЭТ», ФГБУН НТЦ микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН, ООО «Резонанс»; ООО «Нитридные кристаллы» |
| 8 | Разработка технологий и образцов радиоэлектронных изделий для ракетно-космической и атомной промышленности на основе рационального использования отходов и неликвидных групп природного алмазного сырья с целью повышения показателей эффективности его переработки и рационального использования | Министерство образования и науки Российской Федерации | МГТУ МИРЭА | ОАО «Центральный научно-исследовательский технологический институт «Техномаш» |
| 9 | Исследование и разработка семейства высокочастотных приемо-передающих модулей на основе отечественных интегральных микросхем с высокими параметрами, разработанных по нитрид-галлиевой (GaN) технологии, для создания перспективных радарных систем, используемых в аппаратуре космического назначения | Министерство образования и науки Российской Федерации | Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) | Закрытое акционерное общество «ПКК Миландр» (ЗАО «ПКК Миландр») |
| 10 | Разработка технологии создания элементной базы для приемо-передающих модулей активных фазированных антенных решеток мм-диапазона длин волн и серийный выпуск МИС на ее основе | Министерство образования и науки Российской Федерации | Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) | АО «НИИ полупроводниковых приборов» (АО «НИИПП») |
| **ОКР, выполняемые по договорам со сторонними организациями** | | | | |
| 1 | СЧ ОКР «Разработка приемо-передающих модулей для аппаратуры скрытного функционирования и освоение их серийного производства», шифр «Многоцветник-И1-ГЗП» | Министерство промышленности и торговли Российской Федерации | ИСВЧПЭ РАН | АО «ГЗ «Пульсар» |

## 4.2. Работы и проекты, которые предполагается выполнять совместно несколькими участниками ТП (при координации действий и/или в кооперации участников друг с другом на доконкурентной стадии)

Ведутся работы, выполняемые несколькими участниками ТП совместно на доконкурентной стадии, например, совместные работы ИСВЧПЭ РАН, АО «НИИПП», ОАО «ОКБ-Планета», АО «НПП «Радиосвязь», АО «ГЗ «Пульсар», для освоения миллиметрового диапазона длин волн (таблица №4.2), обеспечивающих создание сетей пятого поколения (5G).

Цель создания сетей пятого поколения очевидна - взрывной, экспоненциальный рост трафика в сетях абонентского доступа. По прогнозам, к 2017 году ежемесячный объем трафика превысит 6⋅1018 байт. К 2020 году объем трафика по сравнению с 2010 годом может вырасти тысячекратно. И это вполне естественно - с развитием микроэлектронных технологий массовый пользователь получил в свое распоряжение недорогое устройство, обладающее огромной производительностью и выдающимися средствами отображения информации. И все эти устройства - потребители трафика. Чем выше производительность и лучше экран, тем больше трафика. И эта тенденция создания все более производительных мобильных устройств продлится и в дальнейшем. Причем речь уже идет не только о увеличении разрешения видеокартинки - хотя вскоре на мобильных устройствах все захотят иметь HDTV. Но ведь появится и мобильное 3D-видео, и средства передачи тактильных ощущений, и чего еще только не придумают.

Примерная схема организации и взаимодействия предприятий для разработки и мелкосерийного производства ППМ мм-диапазона приведена на рисунке 4.2.

Крайне актуальными задачами, которые необходимо решать в самое ближайшее время, являются:

* государственная поддержка единственной отечественной фабрики АО «Светлана-Рост», работающей в режиме «фаундри», с полным циклом изготовления специализированных СВЧ МИС с приемкой «5» по заказам отечественных дизайн-центров;
* разработка и реализация федеральной целевой программы по созданию отечественных минифабрик и технологических участков при крупных производителях радиоэлектронной аппаратуры для вооружения, военной и специальной техники с полным циклом изготовления малых партий специализированных СВЧ МИС с приемкой «5», разработанных отечественными дизайн-центрами.

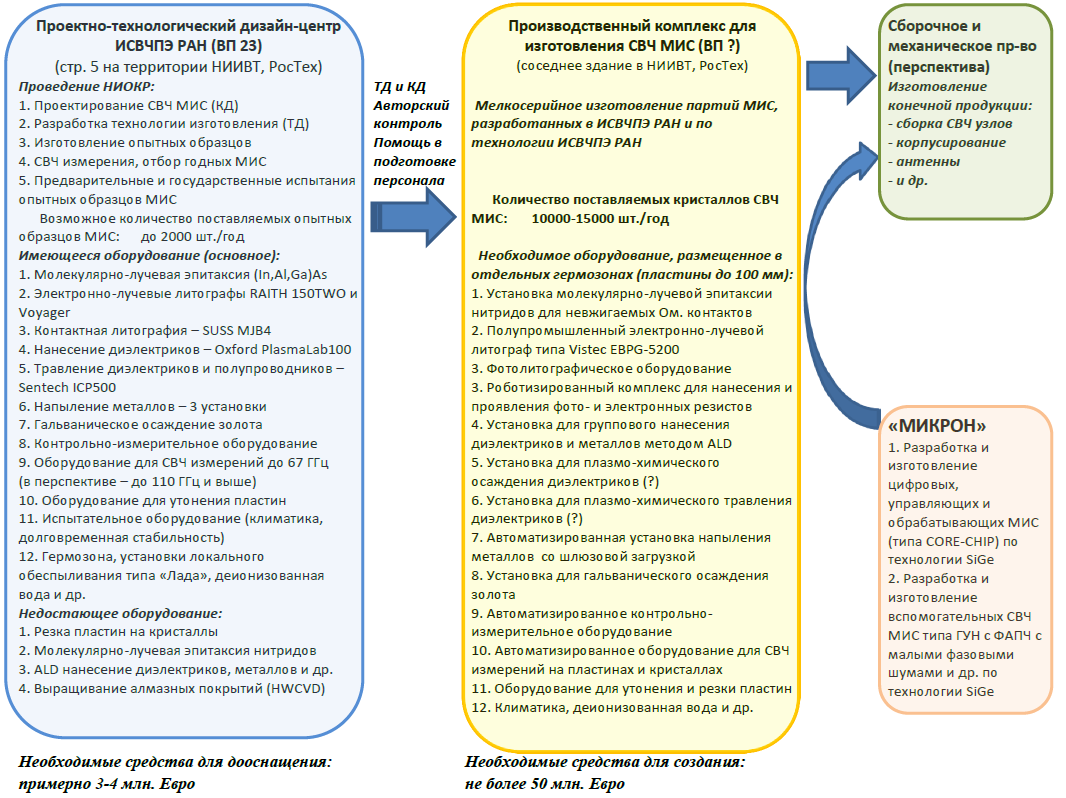


Рисунок 4.2 Взаимодействия предприятий и институтов в рамках ТП «СВЧ технологии»

# Раздел 5. Мероприятия по коммерциализации технологий и совершенствованию механизмов управления правами на результаты интеллектуальной деятельности

При реализации мероприятий в сфере деятельности технологической платформы необходимо уделять самое пристальное внимание вопросам использования ранее созданных технологий. Это позволит значительно сократить временные и финансовые издержки при достижении целей и задач технологической платформы. При этом следует действовать по нескольким направлениям – как через покупку лучших зарубежных технологий, с последующей их адаптацией к производству внутри страны, так и путем привлечения перспективных отечественных разработок, как известных, уже хорошо зарекомендовавших себя, так и еще не получивших свою реализацию, но обладающих потенциально высокой эффективностью. Одним из вариантов такого использования, может стать создание совместных предприятий с носителями необходимых для реализации технологической платформы инновационных знаний и технологий, а также совместных центров разработок и инжиниринга. В качестве таких технологических партнеров могут выступать российские высшие учебные заведения и научные организации.

Ограничительными факторами для ведения деятельности в данном направлении является финансовая составляющая, а также недостаток доступной широкому кругу лиц информации о существующих разработанных технологиях, их параметрах и возможностях. Еще одним ограничивающим фактором, который возникает при привлечении зарубежных технологий, является их частая недоступность по причине различных политических факторов.

Для организационного, финансового, экспертного и информационного обеспечения патентования РИД, полученных в ходе реализации технологической платформы, необходимо обеспечивать реализацию следующих мер:

* организация и проведение комплексной экспертизы полученных участниками результатов интеллектуальной деятельности с целью выявления результатов, способных к правовой охране;
* выбор режима правовой охраны созданных результатов интеллектуальной деятельности - патентной охраны или режима ноу-хау, а также при выборе режима патентной охраны, определение списка стран патентования;
* обеспечение определенного законодательством режима конфиденциальности для интеллектуальной собственности, охраняемой в режиме ноу-хау;
* осуществление действий, направленных на защиту интеллектуальных прав участников технологической платформы в Российской Федерации и за рубежом;
* урегулирование вопросов распределения прав на полученные в ходе реализации технологической платформы РИД между участниками;
* разработка системы мер, направленных на выявление нарушений интеллектуальных прав на РИД, принадлежащих участникам технологической платформы.

Для эффективного взаимодействия между участниками технологической платформы с целью достижения поставленных целей, необходимо выработать механизмы, позволяющие использовать полученные результаты интеллектуальной деятельности всеми участниками, для которых это необходимо. С этой целью требуется создать среду свободного обращения РИД с единым банком данных, к которому в любой момент может обратиться каждый из участников технологической платформы и получить на определенных условиях в пользование необходимые ему в данный момент РИД. Для этого потребуется создать реестр РИД участников технологической платформы и выработать механизмы и условия обращения РИД.

Для проведения эффективной коммерциализации РИД необходимо проведение ряда мероприятий.

Предлагается создать центральный единый орган по коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности, состоящий из высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт в бизнес-сопровождении технологических проектов, а также в привлечении финансов для их реализации.

Также необходимо создание единой информационной системы, содержащей сведения обо всех вновь создаваемых и привлекаемых участниками технологической платформы РИД. Важным элементом построения эффективной системы коммерциализации РИД является также единый подход к выработке локальных нормативных актов и формирования Программ инновационного развития, а также процедур контроля их реализации и выполнения ключевых показателей результативности и эффективности.

## 5.1. Выявление возможностей и ограничений использования ранее созданных РИД для достижения целей и задач ТП

Направления деятельности технологической платформы «СВЧ технологии»:

* выявление возможностей и ограничений использования ранее созданных результатов интеллектуальной деятельности для достижения целей и задач платформы;
* разработка системы мер по организационному, финансовому, экспертному и информационному обеспечению патентования результатов интеллектуальной деятельности, полученных в ходе реализации технологической платформы;
* разработка мероприятий по совместному использованию результатов интеллектуальной деятельности участниками платформы;
* разработка мероприятий по содействию коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности.

С целью выявления возможностей и ограничений использования ранее созданных результатов интеллектуальной деятельности (РИД) для достижения целей и задач платформы, а также совместному использованию результатов интеллектуальной деятельности участниками платформы были предложены следующие ограничения использования ранее созданных результатов интеллектуальной деятельности:

* распространение коммерческой тайны на РИД;
* непроработанность механизмов оценки РИД, порядка передачи РИД для совместного пользования, а также налоговых и иных последствий такой передачи.

В качестве возможной и потенциально наиболее значимой области коммерциализации технологий СВЧ-электроники можно рассматривать следующее поколение систем мобильной связи 5G.

**5.2. Система мер по организационному, финансовому, экспертному и информационному обеспечению патентования РИД, полученных в ходе реализации ТП**

В настоящее время ведется работа по заключению соглашений о конфиденциальности с целью получения доступа к РИД и оценки целесообразности их совместного использования участниками платформы.

В качестве примера приведем пункт из договора между головным исполнителем и индустриальным партнером в рамках выполнения комплексного проекта по заказу Минобрнауки России:

***«4 Распределение и передача прав на РИД и материальные результаты и совместные действия по завершении ПНИЭР***

*4.1 Права на РИД, создаваемые в рамках работ, финансируемых Индустриальным партнёром, принадлежат Индустриальному партнёру.*

*Участник конкурса обязан совершить юридически значимые действия по закреплению прав за Индустриальным партнёром на каждый признанный патентоспособным РИД, создаваемым в рамках работ, финансируемых Индустриальным партнёром, и обеспечению его правовой охраны*

*4.2 До вступления Индустриального партнёра во владение и пользование или пользование и распоряжение правами на РИД, создаваемые в рамках работ, финансируемых за счет субсидии, отчётная документация, указанная в разделе 3 настоящего Договора, должна использоваться Индустриальным партнёром исключительно для целей выполнения работ, предусмотренных Планом-графиком, и не может быть передана третьим лицам.*

*4.3 К завершению последнего этапа выполнения работ по Плану-графику Участник конкурса и Индустриальный партнёр обязуются заключить лицензионный договор (далее – ЛД) на полученные Участником конкурса и зарегистрированные РИД, созданные за счет средств субсидии, согласно статьям 1234 и 1235 Гражданского Кодекса Российской Федерации.*

*4.4 Обязательными и неизменяемыми условиями заключения договора по пункту 4.3 являются следующие положения:*

*4.4.1 ЛД должен быть зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности;*

*4.4.2 Участник конкурса не передает Лицензиату право заключать сублицензионные договоры без предварительного письменного согласия Получателя субсидии.*

*4.4.3. За неисключительное право и за передаваемую техническую документацию Индустриальный партнёр уплачивает Участнику конкурса вознаграждение согласно следующему порядку:*

*– первоначальный платеж в размере 10 000 (десять тысяч) рублей;*

*– текущие отчисления уплачиваются в размере 0,1 процента от продажной цены продукции (работ, слуг), изготовленной (выполненных, оказанных) Индустриальным партнером и/или третьими лицами по выданной им лицензии;*

*– платежи, предусмотренные подпунктом 4.4.3 настоящего Договора производятся в течение 30 дней, следующих за отчетным годовым периодом;*

*– Индустриальный партнёр предоставляет Участнику конкурса сводные бухгалтерские данные по объему производства и реализации продукции (работ, слуг) в течение 30 дней, следующих за отчетным годовым периодом.*

*4.4.4 Возможные споры при заключении ЛД должны быть разрешены путем переговоров или передачей на рассмотрение третейского суда, выбранного по согласию сторон.*

*4.4.5 Участник конкурса обязуется оказывать Индустриальному партнёру по его запросу консультационную помощь в использовании результатов ПНИЭР при проведении необходимого объема опытно-конструкторских (опытно-технологических) работ для промышленного внедрения результатов ПНИЭР, а также для обучения персонала Индустриального партнёра методам и приёмам работы, относящимся к производству продукции, Участник конкурса по просьбе Индустриального партнёра командирует на предприятия Индустриального партнёра необходимое количество специалистов.*

*Порядок возмещения расходов Участника конкурса, связанных с указанными видами работ, определяется дополнительным соглашением к Договору.*

*4.4.6 Если к Индустриальному партнёра будут предъявлены претензии или иски по поводу нарушения прав третьих лиц в связи с использованием лицензии по ЛД, Индустриальный партнёр известит об этом Участника конкурса. Индустриальный партнёр по согласованию с Участником конкурса обязуется урегулировать такие претензии или обеспечить судебную защиту.*

*4.5 После представления Индустриальному партнёру исключительной лицензии или уступки ему прав на РИД он:*

*4.5.1 должен направлять Минобрнауки России сведения об изменении режима правовой охраны, о распоряжении исключительными правами, переданными Участником конкурса Индустриальному партнёру, или об использовании в собственной производственной деятельности созданных результатов как объектов государственного учёта в течение установленных статьями 1281, 1363, 1457 и 1467 части 4 Гражданского кодекса Российской Федерации соответствующих сроков действия исключительных прав на охраняемые результаты интеллектуальной деятельности;*

*4.5.2 по требованию Минобрнауки России обязан предоставить лицу (лицам), указанному Минобрнауки России, всю необходимую отчетную, техническую и иную документацию, включая ее электронные версии, описание результатов интеллектуальной (научно-технической) деятельности, а при необходимости – безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на использование таких результатов;*

*4.5.3 обязан совершать действия, предусмотренные Положением о единой государственной информационной системе учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2013 г. № 327.».*

## 5.3. Мероприятия по совместному использованию результатов интеллектуальной деятельности участниками ТП

Для совместного использования результатов РИД между участниками технологической платформы оформляются двусторонние договора, в которых оговариваются права собственности и порядок патентования результатов.

Доходы от совместного использования результата интеллектуальной деятельности или средства индивидуализации, либо от совместного распоряжения исключительным правом на такой результат или на такое средство распределяются между всеми правообладателями в равных долях, если соглашением между ними не предусмотрено иное.

Вузы, участвующие в ТП по своему назначению призваны осваивать новейшие достижения в области технологий и прежде всего СВЧ технологий и распространять свои знания и полученные интеллектуальные результаты среди участников ТП. НИУ МИЭТ, как один из лидеров в области полупроводниковой электроники и СВЧ техники осваивает новые, в том числе и программные продукты и предлагает их для предприятий ТП.

Национальный исследовательский университет «МИЭТ» и компания Синопсис, мировой лидер в области программного обеспечения, интеллектуальной собственности и услуг для ускорения инноваций в интегральных схемах и электронных системах, сегодня объявили о добавлении новых курсов в двухлетнюю магистерскую программу «Synopsys-МИЭТ», что сделает возможным широкое применение продукта компании Synopsys - Galaxy Custom Designer® в образовательной среде. Благодаря этим курсам, магистранты программы «Synopsys-МИЭТ» углубят свои знания и навыки и станут высококвалифицированными специалистами, способными удовлетворить растущий спрос в России на проектирование аналоговых и аналого-цифровых ИС. Наше сотрудничество с Синопсис, мировым лидером в разработке программного обеспечения для систем автоматизированного проектирования интегральных схем (САПР), позволяет предоставлять студентам нашей совместной программы современную образовательную среду с использованием лицензионных версий пакетов САПР Synopsys для университетов, в том числе продукта Galaxy Custom Designer, а также специально разработанные учебные материалы.

Для расширения возможностей по совместному использованию результатов интеллектуальной деятельности ВУЗ проводит следующие мероприятия:

* организация научно-производственных центров предприятия при ВУЗе;
* организация НИЛ университета на базе предприятия;
* создание университетом и организацией совместных предприятий и реализация совместных научно-производственных проектов;
* передача отдельных бизнес-процессов предприятия на аутсорсинг в ВУЗ;
* работа в университете консалтингового центра, оказывающего услуги предприятиям.

## 5.4. Мероприятия по содействию коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности

Функционирование системы стимулирования участников процесса коммерциализации РИД определяет Координационный совет по научно-технической политике и интеллектуальной деятельности как консультационный и совещательный орган при Руководителе учреждения.

При организации стимулирования участников коммерциализации РИД, прежде всего, должен быть определен удельный вес прироста прибыли от коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности, предусмотренных программой инновационного развития, который может быть направлен на премирование участников.

Создание национальной инновационной инфраструктуры было провозглашено на государственном уровне в качестве стратегического направления развития страны в целом и научно-технологической сферы в частности в 1997 г. С тех пор создавались отдельные элементы (государственные фонды, технопарки, инновационно-технологические центры, Венчурный инновационной фонд и т.п.), но вне связи друг с другом и с другими секторами экономики (такими, как промышленность и сфера образования). При этом заимствование зарубежного опыта происходило путем переноса отдельных элементов целостных экономических механизмов и потому не приводило к ожидавшимся результатам. В итоге, несмотря на положительный опыт целого ряда инициатив, прорыва в области инновационного развития экономики не произошло. Главной проблемой остается отсутствие действенных экономических механизмов, стимулирующих как инвестирование в инновационную сферу, в создание нововведений.

В современных условиях развитие инновационной экономики страны невозможно без присутствия в регионах организаций, которые могли бы играть роль интеллектуальных интеграторов для формирования уникальной материальной и научно-методической базы научных исследований, внедрения в промышленность наукоемких технологий, привлечения инвестиций, и обеспечения на этой основе подготовки высококвалифицированных специалистов, конкурентоспособных в условиях жесткой мировой конкуренции.

Наиболее подготовленные к решению данной задачи являются ведущие вузы страны, которые обеспечивают подготовку кадров по широкому спектру направлений и проводят исследования в различных областях науки и техники.

Одним из лидирующих вузов страны с интегрированной научно-образовательной структурой является Национальный исследовательский университет Московский институт электронной техники НИУ МИЭТ.

С начала 90-х годов МИЭТ активно занимается новым видом деятельности — инновационной. Начало этому было положено в 1991 году созданием Зеленоградского научно-технологического парка под учредительством МИЭТа. В 1998 году при МИЭТе создан Инновационный центр новых технологий, в 2000 году - Зеленоградский инновационно-технологический центр, в 2001 году, при поддержке Министерства образования и науки РФ, Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и Префектуры Зеленоградского АО г. Москвы принят к реализации проект создания первой в России «Технологической деревни» - новой современной научно-производственной структуры, позволяющей обеспечить участников инновационной деятельности научно производственной базой и комплексом необходимых услуг для успешного создания и производства конкурентоспособной научно-технической продукции. В 2005 году первая очередь проекта введена в эксплуатацию и включена в состав особой экономической зоны технико-внедренческого типа - ОЭЗ ТВТ «Зеленоград».

Развитие инновационного комплекса университета в рамках проекта «Технологическая деревня МИЭТ»

«Технологическая деревня МИЭТ» является частью научно-образовательного и инновационного комплекса Национального исследовательского университета МИЭТ Инновационный комплекс МИЭТ расположен на территории Особой экономической зоны, где успешно эксплуатируется высокотехнологичные производства, проектируется и строится удобная инфраструктура, формируется благоприятная среда для самореализации и развития специалистов. В настоящее время на площадке Технологической деревни МИЭТ в 2 Га размещено более 100 малых инновационных компаний, сконцентрирован значительный интеллектуальный потенциал, разработана и подготовлена для производства высокотехнологичная продукция, сформирована научно-производственная инфраструктура свыше 24 тыс.кв.м, в том числе действующая сеть центров коллективного пользования. Технологическая деревня обеспечена очистными сооружениями, электроэнергией и современными инженерными коммуникациями.

Интеграция науки, образования и инновационной деятельности на площадях Технологической деревни МИЭТ позволяет оперативно решать сложнейшие научно-технические задачи регионального значения в таких областях, как нано- и микроэлектроника, информационно-телекоммуникационные технологии, биомедицина и др.

Для развития Технологической деревни МИЭТ в течение ближайших 5 лет будет задействовано дополнительно 2 Га, произведено техническое перевооружение действующего производственного здания общей площадью 6 тыс. кв. м., и построено новое административно-производственное здание общей площадью 27 тыс. кв.м, с выделением производственной зоны не менее 4 тыс.кв.м., что, несомненно, приведет к значительной активизации и повышению качества инновационной деятельности.

Характерная особенность инновационной структуры МИЭТ состоит в том, что деятельность каждого из ее элементов направлена на решение определенного круга задач. При этом строится и реализуется оптимальная модель взаимодействия, исключающая дублирование функций:

* Центр коммерциализации и трансфера технологий систематизирует информацию о перспективных инновационных разработках университета и наукоемких компаний Зеленограда, способствует их передаче в реальный сектор экономики.
* Экспериментальный завод «Протон» производит инновационную продукцию на основе разработок МИЭТ, малых и средних научно-технических фирм Зеленограда.
* Инновационные научно-технические компании вовлекаются в Комплексные инновационные проекты, используют научно-производственную инфраструктуру Центров коллективного пользования для создания и опытного производства инновационной продукции, взаимодействуют с университетом по вопросам кадрового обеспечения.
* Зеленоградский инновационно-технологический центр создает условия для роста развитых наукоемких компаний региона, предоставляя в их распоряжение инновационную инфраструктуру, финансовую и консалтинговую поддержку.

Проведение работ по реализации идеи создания центров на базе вуза.

На экспертном совете Инновационного территориального кластера «Зеленоград» НИУ МИЭТ представил идею по развитию двух проектов «Создание специализированного диагностико-метрологического центра общего доступа для оказания услуг по исследованиям, диагностике, измерениям и испытаниям ЭКБ, в том числе в нанометровом диапазоне» и «Создание центра расширенного доступа к новейшим базовым технологиям 3D -интеграции изделий микро- и наноэлектроники и электронных устройств на их основе».

# Раздел 6. Меры в области подготовки и развития научных и инженерно-технических кадров

## 6.1. Развитие образовательных и профессиональных стандартов в сфере деятельности ТП

В настоящий момент разработаны и утверждены Минтруда и Минюстом следующие профессиональные стандарты (ПС), в которых непосредственное участие осуществляли участники ТП:

Инженер-технолог в области производства наногетероструктурных СВЧ-монолитных интегральных схем,

Инженер-технолог в области производства наноразмерных полупроводниковых приборов и интегральных схем;

Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле

Специалист по проектному управлению в области разработки и постановки производства полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий;

Специалист по функциональной верификации и разработке тестов функционального контроля наноразмерных интегральных схем;

Инженер-конструктор аналоговых сложнофункциональных блоков (СФ-блоков);

Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков;

Инженер-проектировщик фотошаблонов для производства наносистем (включая наносенсорику и интегральные схемы).

Данные ПС, а также действующие образовательные стандарты: 11.04.03 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (уровень бакалавриата) 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (уровень магистратуры) 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (уровень бакалавриата), 11.04.03, Конструирование и технология электронных средств (уровень магистратуры) в соответствии с Законом РФ «Об образовании» используются при разработке образовательных программ уровня бакалавриата и магистратуры.

Развитие образовательных и профессиональных стандартов в сфере деятельности платформы осуществляется совместно с базовыми ВУЗами (кафедрами ВУЗов), имеющими аккредитацию на подготовку специалистов и инженеров по профильным специальностям предприятий Холдинга АО «Росэлектроника».

Предусматривается совершенствование действующих и разработка новых программ профессионального и дополнительного образования с учетом потребностей бизнеса в сфере деятельности платформы, начиная, как правило, с 3-го курса обучения в базовом (профильном) ВУЗе. Обеспечение их реализации на базе ведущих ВУЗов в необходимых объемах планируется осуществлять методами стажировки молодых специалистов и закреплением дипломных работ и преддипломной практики на ведущих предприятиях Холдинга (рисунок 6.3).

Предусматривается совершенствование профильной и уровневой структуры подготовки специалистов с учетом потребностей бизнеса в сфере деятельности платформы, развитие механизмов непрерывного образования путем привлечения аспирантов к выполнению работ по тематике предприятий и обучение молодых специалистов в заочной аспирантуре профильных ВУЗов.

Предполагается содействие мобильности научных и инженерно-технических кадров и обмена кадрами между организациями - участниками технологической платформы (стажировки, обмен и другие формы).

Необходимо формирование механизмов мониторинга кадрового обеспечения предприятий - участников технологической платформы, а также уровня подготовки их научных и инженерно-технических кадров.

С этой целью должна быть разработана долгосрочная программа многоуровневой подготовки (переподготовки) и развития научных и инженерно-технических кадров в рамках технологической платформы «СВЧ технологии» с участием ведущих предприятий Холдинга – ОАО «НПП «Исток» им. Шокина», ФГУП «НПП «Пульсар», ФГУП «НПП «Алмаз», ФГУП «НПП «Салют», ФГУП «НПП «Торий», ОАО «Светлана», ФГУП «НИИМА-Прогресс», ведущих предприятий петербургского Кластера ЗАО «Завод им. Козицкого», ФГУП «НИИТ», ОАО «МАРТ» и ведущих профильных ВУЗов – МИРЭА, МИФИ, МИЭТ, МГУ им. М.В. Ломоносова, МГТУ им. Н. Баумана, СПбГЭТУ ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), ННГУ им. Н.И. Лобачевского, СГУ им. Н.Г. Чернышевского, ТУСУР и др. при участии профильных организаций Российской академии наук – ИРЭ РАН и его филиалов Фрязинского и Саратовского, ИСВЧ ПЭ РАН, ИФП СО РАН, ИФМ РАН и др. (рисунок 6.4)

**Образовательные программы вузов, востребованные ТП:**

«Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», «Радиотехника», «Конструирование и технология электронных средств», «Информатика и вычислительная техника», «Электроника и наноэлектроника», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», «Нанотехнология в электронике» - **ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»**.

«Инфокоммуникационные технологии и системы связи», «Электроника и наноэлектроника», «Системное программирование» - **Московский институт электроники и математики (МИЭМ) (присоединен к ВШЭ).**

«Электроника и наноэлектроника», «Химическая технология» - **Ивановский государственный химико-технологический университет (ИГХТУ).**

«Электронные приборы и устройства» (направление «Электроника и наноэлектроника»), «Конструирование электровакуумных приборов СВЧ» -

**Саратовского ГТУ.**

«Радиоэлектронные системы и устройства локации, навигации и управления», «Интегрированные системы безопасности», «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов», «Технология и организация промышленного и гражданского строительства» - **УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.**

«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Материаловедение и технологии материалов» - **ФГБУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» г. Йошкар-Ола.**

«Химическая технология» - **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ).**

«Физикохимия процессов и материалов» - **ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет».**

«Конструирование и технологии электронных средств», «Машиностроение (машины и технологии обработки металлов давлением)», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Радиотехника», «Информатика и вычислительная техника», «Радиотехника (Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов)», «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи (Системы радиосвязи спец. назначения)», «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», «Конструирование и технология электронных средств, «Электроника и наноэлектроника», «Приборостроение», «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем», «Управление в технических системах» - **ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ).**

«Радиотехника» - **НОУ ВПО «Институт радиоэлектроники, сервиса и диагностики».**

«Электрооборудование и электрохозяйства предприятий, организаций и учреждений», «Промышленное и гражданское строительство», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Промышленная теплоэнергетика», «Информационные системы и технологии», «Машиностроение (бакалавры)», «Информационная безопасность (бакалавры)», «Информатика и вычислительная техника (бакалавры)», «Системы, сети и устройства телекоммуникаций (аспирантура)», «Менеджмент (Президентская программа подготовки управленческих кадров для организаций народного хозяйства РФ)» - **ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет».**

«Основы проектирования приборов СВЧ» - **СГУ.**

«Государственное и муниципальное управление», «Организация работы с молодежью» - **ФГБОУ ВО «Вятский государственный гуманитарный университет».**

«Экономика и управление» - **АНО ВПО Московский гуманитарно-экономический институт Кировский филиал**.

«Информатика и вычислительная техника», «Информационная безопасность», «Компьютерная безопасность», «Радиофизика и физическая электроника» - **ФГБОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского» (ОмГУ им. Ф.М. Достоевского).**

«Компьютерные технологии в научных исследованиях» - **НГТУ.**

«Физика», «Конструирование и производство радиоэлектронной аппаратуры» - **Волгоградский государственный технический университет (ВГТУ).**

«Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств (САПР электронной компонентной базы СБИС)», «Интерактивное проектирование СБИС», «Основы конструирования и технология производства РЭС» - **Сиб ГУТИ.**

«Автоматика и телемеханика на ж/д транспорте», «Информационные системы и технологии», «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», «Управление и автоматика в технических системах», «Мехатроника и робототехника» - **ФГБОУ ВО «ОмГУПС».**

«Проектирование приборов и систем» - **ФГБОУ ВО «НИУ «МИЭТ».**

«Электроника и наноэлектроника», «Технология машиностроения» - **Мордовский государственный университет им. Огарева.**

«Материаловедение и технологии материалов», «Технология машиностроения», «Оборудование и технология сварочного производства», «Специальные организационно-технические системы» - **ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет».**

«Управление инновационный проектами» - **ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина».**

«Физико-технический» факультет **УлГУ**.

«Электронные приборы и устройства» факультета электронной техники и приборостроения **Саратовского технического университета.**

«Нано- и микроэлектроники факультета нано- и биомедицинских технологий **Саратовского Государственного Университета.**

«Микроэлектроника и полупроводниковые приборы» по специальностям 210100 «Электроника и микроэлектроника»,«Микросистемная техника», «Наукоемкие технологии радиоэлектроники» - **МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского (присоединен к ФГБОУ ВО «МАИ»).**

«Электронное машиностроение» **МГТУ им. Н.Э. Баумана.**

«Электронные приборы и устройства», «Радиотехника», «Электроника и наноэлектроника», «Конструирование и технология электронных средств» - **ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (РГРТУ).**

«Технологические машины и оборудование», «Наноматериалы», «Физика», «Стандартизация и сертификация» - **ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».**

«Радиофизический факультет» - **ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».**

«Проектирование и технология электронных средств», «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах» - **Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого.**

«Информатика и вычислительная техника» - **НАЧОУ ВПО СГА.**

«Сверхвысокочастотные приборы и устройства» и кафедра «Электронные приборы» **Московского энергетического института.**

«Химическая технология монокристаллов, материалов и изделий электронной техники», «Химическая технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов» - **Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технологический университет) (СПбГТИ).**

«Электрофизика, электрофизические установки», «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро и наноэлектроника на квантовых эффектах», «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», «Информатика и вычислительная техника», «Радиоэлектронные системы», «Радиотехника», «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», «Системы автоматизированного проектирования», «Средства связи с подвижными объектами», «Аудиовизуальная техника» - **Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ**.

«Организация и технология защиты информации», «Фотоника и оптоинформатика» - **ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО).**

«Аудиовизуальная техника», «Приборостроение» - **ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения».**

«Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», «Радиоэлектронные системы», «Радиотехника», «Средства связи с подвижными объектами», «Аудиовизуальная техника», «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» - **ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП).**

«Радиосвязь, радиовещание и телевидение», «Радиотехника» - **ФГОБУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. Проф. М.А. Бонч-Бруевича».**

«Физика полупроводников», «Телекоммуникационные системы и компьютерные сети», «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника» - **ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургского государственного политехнического университета» (СПбПУ им. Петра Великого).**

«Информатика и вычислительная техника», «Конструирование и технология электронных средств», «Нанотехнологии и микросистемная техника», «Радиотехника», «Электроника и наноэлектроника», «Конструкторско-технологической обеспечение машиностроительных производств» - **ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ).**

«Оптотехника» - **ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия».**

«Техническая защита и информации», «Информационная безопасность автоматизированных систем» - **ФГАОУ ВО НИЯУ «МИФИ».**

«Обеспечение единства измерений» - **Санкт-Петербургский филиал ФГАОУ ДПО «Академия стандартизации, метрологии и сертификации».**

«Информационные системы и компьютерные сети» - **НОУ ДПО ЦПК «Академия информационных систем».**

«Информационная безопасность» **- ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет».**

В настоящее время усовершенствовано действующих и разработано новых – 14 программ профессионального и дополнительного образования с учетом потребностей бизнеса в сфере деятельности ТП.

## 6.2. Совершенствование действующих и разработка новых программ профессионального и дополнительного образования с учетом потребностей бизнеса в сфере деятельности ТП. Обеспечение их реализации на базе ведущих вузах в необходимых объемах

Формирование кадровых ресурсов на основе программ опережающей профессиональной подготовки и переподготовки является одним из основных условий успешной реализации инновационного развития отрасли в целом.

Говоря о подготовке кадров для наукоемких предприятий, в том числе производственных компаний наноиндустрии, необходимо признать, что время жизни современных промышленных технологий сегодня уже соизмеримо или меньше времени базовой подготовки специалистов в системе профессионального образования, и продолжает уменьшаться.

В ситуации, когда рынок труда в высокотехнологичном секторе экономики очевидно востребует оперативное решение своих кадровых задач, не представляется возможным полагаться лишь на подготовку по основным программам профессионального образования в классическом формате шестилетнего обучения (здесь и далее речь идет об учреждениях высшего профессионального образования, поскольку современные наукоемкие производства, как показывают исследования рынка труда и практический опыт, в первую очередь нуждаются именно в специалистах с высшим образованием: инженерах-технологах и инженерах-разработчиках).

Становится все более очевидной необходимость задействовать механизм подготовки кадров с помощью коротких образовательных программ дополнительного профессионального образования (профессиональной переподготовки и повышения квалификации), а также за счет практико-ориентированных программ магистерской подготовки, в которых образовательные результаты и, соответственно, содержание блока специальных дисциплин определяются при участии рынка труда – производственных компаний.

Главная цель разработки и реализации инновационных образовательных программ в МИЭТ – создание и внедрение такой системы организации образовательных ресурсов, которая включала бы потенциал всех участвующих в образовательных партнеров: институтов развития, российских и зарубежных вузов, научно-технических компаний и научного сообщества – для профессиональной постановки и решения задачи кадрового обеспечения новых и быстроразвивающихся наукоемких компаний.

При этом решаются следующие задачи:

* создание новой инфраструктуры на рынке труда, обеспечивающей трансляцию его меняющейся конъюнктуры системе образования и их конструктивное взаимодействие;
* выработка процедур взаимодействия в цепочке «предприятие – научно-образовательная организация», обеспечивающих выявление квалификационно-кадровых потребностей предприятий, формирование партнерств «предприятие-заказчик – вузы-исполнители»
* формирование заказа на кадровое обеспечение предприятия, размещение его на рынке образовательных услуг и обеспечение требуемого уровня его исполнения;
* разработка и апробация образовательных программ для удовлетворения кадровых потребностей компаний наноиндустрии;
* формирование на рынке труда открытой сети системообразующих организаций подготовки кадров, в том числе вузов, способных оперативно реагировать на меняющуюся конъюнктуру рынка труда: воспринимать, педагогически интерпретировать и реализовывать его образовательный запрос, стать «открытой системой» для современной экономики;
* создание интерактивной научно-образовательной среды нового типа, обеспечивающей практико-ориентированную подготовку и переподготовку специалистов по заказу производственных компаний, которые обладали бы общими и профессиональными компетенциями в области исследования, разработки, внедрения и использования современных нанотехнологий**;**
* подготовка нормативной среды для создания системы непрерывного образования, ориентированной на сопровождение кадровых ресурсов для новых и быстроразвивающихся наукоемких производств: разработка профессиональных стандартов, требований к сертификации квалификаций инженерного состава предприятий и выпускников вузов, включая фонды оценочных средств, позволяющих оценить уровень их готовности к выполнению трудовых функций, определенных профстандартами;
* создание сетевой структуры повышения квалификации преподавателей и научных сотрудников вузов в области освоения новых образовательных технологий;
* распространение в системе высшего профессионального образования лучших образовательных технологий и практик.

Разработанная и успешно применяемая в МИЭТ на протяжении ряда лет образовательная технология включает в себя два основных элемента: организацию ресурсов для подготовки и переподготовки кадров по заказам предприятий и управление качеством образовательных программ.

В кадровом обеспечении быстро развивающегося высокотехнологичного сектора экономики роль рынка труда, как заказчика, является определяющей, без нее система профессионального образования теряет реальные ориентиры, а академический формат подготовки кадров не всегда обеспечивает развитие и внедрение действующих, и, тем более, перспективных технологий. При этом эффективное присутствие на рынке образовательных услуг интересов производителей требует специальных условий, которые должны быть созданы и приняты как ими самими, так и образовательными учреждениями.

К разработке программ МИЭТ привлекаются ведущие специалисты АО «НПП «Исток» им. Шокина», АО «НПП «Пульсар», АО «НИИМЭ и Микрон», НИИ системных исследований РАН, ГУП НПЦ «Элвис», ЗАО ПКК «Миландр», Зеленоградского инновационно-технологического центра и многих других.

Особое внимание уделяется использованию в учебном процессе новейших аппаратно-программных комплексов и технологического оборудования.

В частности при подготовке разработчиков УБИС в лабораторном практикуме программ, разработанных МИЭТ, используются лицензионные САПР компаний Cadence, Synopsys, современный технологический базис для формирования наноразмерных элементов СБИС, в том числе установки фотолитографии MA-15DE BSA ([Canada Analytical & Process Technologies](http://www.captcanada.com/aboutus.html" \l "capt#capt)), наноимпринт литографии (FC-150, SUSS, Германия), плазмохимического осаждения сверхтонких и тонких диэлектрических материалов.–Si 500, SENTECH, Германия), плазмохимического травления PX 250, March Plasma Sistem, США, вакуумного нанесения SI 500 PPD, SENTECH, Германия, AXXIS, Kurt Lesker, США.

Схематично образовательная технология, разработанная МИЭТ может быть представлена схемой, показанной на рисунке 6.2.

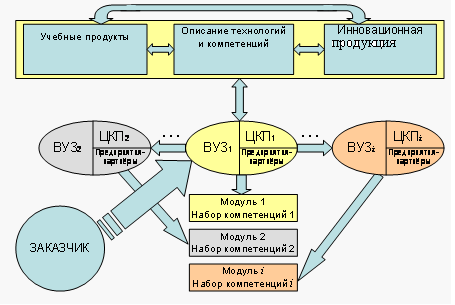


Рисунок 6.2 Технология разработки и реализации заказных образовательных программ

Разработанная и реализуемая в МИЭТ технология подготовки и переподготовки кадров предусматривает профессиональное взаимодействие вузов и производственных предприятий при разработке и реализации заказных образовательных программ, гарантирует ориентацию образовательных ресурсов на запросы рынка труда и высокий уровень квалификации выпускаемых специалистов.

## 6.3. Совершенствование профильной и уровневой структуры подготовки специалистов с учетом потребностей бизнеса в сфере деятельности ТП, развитие механизмов непрерывного образования

Современная тенденция развития электроники предполагает реализацию функционально законченного электронного изделия как сложной многоуровневой системы. Возрастающая сложность таких систем требует наличия квалифицированных разработчиков, способных решать задачи не только текущего уровня проектирования электронного изделия, но и смежных уровней и системы в целом. Эффективная реализация сложной многоуровневой системы возможна только в случае наличия соответствующей подготовки кадров. Создание отечественного производства СВЧ схем является приоритетной задачей государственной политики по обеспечению устойчивого функционирования электронной отрасли. Подготовка и переподготовка кадров для этой стратегически важной отрасли экономики имеет в данной ситуации определяющее значение.

Следует отметить, что эволюция системы подготовки кадров для высокотехнологичных предприятий в 90-е и 2000 –е годы происходила слишком медленно в силу недостаточной открытости системы профессионального образования рынку труда. В последние годы ситуация начала меняться. Так, в настоящее время уже более 50 высших учебных заведений реализуют лицензированные программы профессиональной подготовки по нанотехнологиям, однако темпы модернизации экономики и развития ее наукоемкого сектора явно все еще значительно превышают возможности системы образования в кадровом обеспечении новых и быстро развивающихся производственных компаний.

В этих условиях необходим запуск адекватного механизма, обеспечивающего оперативный ответ на кадровые запросы высокотехнологичных отраслей экономики. Речь идет о подготовке специалистов к выполнению их трудовых функций на рабочих местах, которых ранее либо не существовало, либо функции их существенно изменились, а в некоторых случаях сами рабочие места еще только должны будут появиться на предприятиях в процессе реализации инновационных проектов. Вводимые технологии зачастую являются не просто инновационными, но единственными в своей области. Они не имеют аналогов в отечественной практике, а их внедрение требует новых профессиональных компетенций, которые не формировались действующими образовательными программами учреждений профессионального образования. Как следствие, непременным условием успешного введения новых наукоемких технологий в условиях жесткого лимита времени, диктуемого, в том числе, растущей конкуренцией, является быстрая ликвидация квалификационных дефицитов персонала, осваивающего рабочие места на новых производствах.

Привязка профессиональных, а точнее, квалификационных характеристик выпускников образовательных программ к заданным технологическим параметрам предприятий требует от образовательных учреждений не только высокой технологической культуры, чем они, как правило, обладают в достаточной мере, но и владения инструментами новой методической организации образовательных программ, включая привлечение больших материально-финансовых, информационных и кадровых ресурсов, как собственных, так и партнерских, в том числе, интеллектуальных и технических ресурсов предприятий-заказчиков, что для многих вузов уже является проблемой. В свою очередь, от предприятий ожидается адекватная оценка своего кадрового потенциала, включая его профессиональные дефициты, а также точная постановка задач на подготовку кадров. Совместное участие в ТП ведущих предприятий и учреждений высшего образования позволяет в значительной мере способствовать преодолению таких трудностей. Совместное участие в НИР и НИОКР позволяет чувствовать насущные задачи и потребности предприятий.

Для обеспечения качества образовательного процесса в МИЭТ проводятся следующие мероприятия:

* изучение и анализ документации (для оценки эффективности разработки образовательных программ с учетом интересов проектной компании-работодателя);
* проведение профессиональной экспертизы учебно-методического обеспечения программы: учебных планов и программ учебных курсов/дисциплин, а также элементов учебно-методического комплекса;
* встречи со студентами/слушателями и представителями компании-заказчика;
* участие в мероприятиях, открытых для внешних сторон (в основном, аттестационного характера);
* анализ тематики выпускных работ студентов/слушателей, согласованных с работодателями, с обоснованием выбора тем;
* корректировка программ о ходе реализации с учетом замечаний студентов/слушателей и работодателей, анализ полученных данных;
* проведение анкетирования представителей компании-заказчика на этапе разработки программы и по ее завершении;
* проведение анкетирования студентов/слушателей по итогам реализации программы.

Консолидация ресурсов сети вузов, использование объединенных материальных (исследовательское, производственное и учебное оборудование, лабораторные практикумы, вычислительные ресурсы, базы даны, компьютерные сети и т.п.), методических и кадровых ресурсов становится принципиальным моментом при выполнении заказа на инновационную образовательную услугу. Такой подход представляется наиболее эффективным не только в условиях оперативного кадрового обеспечения при освоении принципиально новых технологий, но и для совершенствования регулярной деятельности учреждений профессионального образования, в частности при выборе специализаций при разработке основных образовательных программ.

АО «Росэлектроника» сегодня взаимодействует с десятками опорных вузов, с 32 профильными учреждениями среднего специального образования, с 15 институтами РАН, на предприятиях Холдинга действуют 46 базовых кафедр вузов.

На предприятиях холдинга реализуется молодежная политика. Основная задача кадровых инициатив - показать студентам, школьникам и их родителям, что в России есть такая высокотехнологическая отрасль - электроника, что там платят деньги и есть интересные проекты. Был сформирован годовой цикл активности ХК (ИС) АО «Росэлектроника». В него входят как наши внутрихолдинговые мероприятия, так и более глобальные проекты, которые мы активно поддерживаем.

Прежде всего, в начале учебного года стартует Всероссийский студенческий конкурс прорывных проектов в области IT-технологий - «IТ-прорыв» (www.tvoystart.ru). Он проходит в две стадии - региональный этап и финал. Уже несколько лет «Росэлектроника» выступает его оператором. Сейчас в нем участвуют студенты более 70 вузов по всей стране. Будущие специалисты в сфере информационных технологий соревнуются между собой в пяти номинациях: IТ в образовании, энергетике, мобильных технологиях, медицине и радиоэлектронике. «IТ-прорыв» позволяет талантливым студентам даже из самых удаленных регионов заявить о себе.

С 2016 года совместно с Союзом машиностроителей России конкурс «IT-прорыв» интегрируется с олимпиадой школьников «Звезда – таланты на службе обороны и безопасности». При этом для учащихся школ открывается возможность участвовать в студенческом конкурсе «IT-прорыв». Основная идея такой интеграции: проводя посредством олимпиады большой отбор среди школьников по профильным для нас дисциплинам, для региональных вузов формируется база перспективных абитуриентов. Холдинг стремится обеспечить талантливому подростку выбор между столичными вузами и родным регионом - а сейчас очень многие такой альтернативы просто не видят. В конечном итоге молодому человеку предлагается социальная и образовательная лестница, вплоть до заключения своего рода социального договора. В частности, мы можем говорить о целевом наборе в вузы с взаимными обязательствами, новый закон «Об образовании» делает данные процедуры реальными.

Еще одна инициатива – форум «Инженеры будущего», который АО «Росэлектроника» вместе с Союзом машиностроителей проводит ежегодно. В частности, во время форума «Инженеры будущего» 2014 г. была реализована инициатива холдинга - «Факультет радиоэлектроники». На приглашение выступить с лекциями или провести мастер-классы для участников форума откликнулись более 50 экспертов. Они рассказали не только о радиоэлектронике и проектировании электронных компонентов, но и о смежных областях, например, о патентовании, защите авторских прав, о существующих государственных регламентах выполнения НИОКР, о госпрограммах и многом другом. Проводились конкурсы среди разработчиков ЭКБ, в которых участвовали как студенты, так и молодые инженеры.

Внутри холдинга проводится внутренний конкурс молодых стратегов «Роль и место моего предприятия или вуза в стратегии ХК (ИС) АО «Росэлектроника» и радиоэлектронной отрасли». В нем может принять участие как инженер ХК (ИС) АО «Российская электроника» до 35 лет, так и студент или аспирант опорных вузов. Победители конкурса показывают свои амбиции как управленца, стратега. Им предоставляется право в течение недели стажироваться в управляющей компании холдинга. Это позволят молодому человеку понять, насколько ему интересно работать по выбранному профилю. Это очень важно в плане удержания специалистов - надо предоставлять им выбор, позволять проявить свои таланты в разных направлениях. Иначе они просто уйдут.

Совместно с Союзом машиностроителей России АО "Росэлектроника" инициировала большую всероссийскую акцию «Работай в России». Ее суть - ребята, смотрите на российские компании, которые решают масштабные задачи страны, в которой вы живете (рисунок 6.5). Важно отметить и активное участие ГК «Ростех» в деятельности международного движение Worldskills, цель которого - повышение престижа рабочих профессий и развитие профессионального образования. В этом направлении холдинг сотрудничает с Агентством стратегических инициатив.

Принципиально, что все мероприятия годового цикла последовательно связаны друг с другом и по сути отражают карьерную стратегию молодого человека.

Эта модель может быть распространена на другие холдинги и предприятия, вовлеченные в деятельность ТП.

28 декабря 2013 года подписан Указ Президента Российской Федерации № 967 «О мерах по укреплению кадрового потенциала Российской Федерации», который закрепил принципы реализации Программы социальной поддержки граждан Российской Федерации, самостоятельно поступивших в ведущие иностранные образовательные организации и обучающихся в них по специальностям и направлениям подготовки, качество обучения по которым соответствует лучшим мировым стандартам, и по обеспечению их трудоустройства в организации, зарегистрированные на территории Российской Федерации, в соответствии с полученной квалификацией. Впоследствии Программа была утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 20 июня 2014 года № 568.

С целью более глубокой и всесторонней профессиональной подготовки рабочих кадров в области радиоэлектроники целесообразно начинать готовить специалистов со школьной скамьи, обучая школьников таким востребованным специальностям, как:

- фотолитограф;

- оператор прецизионного оборудования;

- сборщик полупроводниковых приборов;

- наладчик технологического оборудования и т.д.

Обучение непосредственно на экспериментальных производственных участках позволяет учащимся сразу адаптироваться к производственным условиям, на месте отработать практические навыки.

Для этих целей целесообразно создание Межокружного городского центра профессиональной подготовки рабочих кадров в области радиоэлектроники.

Выпускники школ, прошедшие подготовку в Центре, проявившие способности и интерес к радиоэлектронике, и предполагающие в дальнейшем работать в радиоэлектронной промышленности и смежных областях, могут получить финансовую поддержку предприятий на обучение в ВУЗе.

В соответствии с тезисом о выстраивании современной системы среднего профессионального образования, высказанному Президентом РФ в Послании Федеральному собранию на 2017 год, целесообразно создание Центров дуального образования для адресной подготовки специалистов среднего технического звена по согласованным основным и дополнительным образовательным программам в интересах предприятий радиоэлектроники через проведение учебной и производственной практики и осуществления иных видов учебной деятельности непосредственно на базовом предприятии.

В настоящее время проводится работа по созданию Образовательно-производственного центра дуального образования на базе интеграции Государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения города Москвы «Колледж автоматизации и информационных технологий № 20» и АО «Государственный завод «Пульсар».

## 6.4. Содействие мобильности научных и инженерно-технических кадров и обмена кадрами между организациями — участниками технологической ТП (стажировки, обмен и другие формы)

В настоящий момент по инициативе НИУК МИЭТ – участника ТП СВЧ создается Ассоциация Российских вузов, готовящих специалистов для радиоэлектронной промышленности России.

В инициативную группу входят:

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, НИУ Московский авиационный институт, Нижегородский государственный университет им. Лобачевского Н. И., Южный федеральный университет, НИУ «МЭИ», НИУ «МИФИ», Воронежский государственный технический университет, Ярославский государственный технический университет, НИУ Самарский аэрокосмический университет им. академика С.П. королева, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Основной целью деятельности Ассоциации является Обеспечение высококвалифицированными кадрами предприятий – разработчиков и производителей ЭКБ и РЭА, в том числе СВЧ.

При этом решаются следующие Задачи:

* Участие в МРГ Коллегии ВПК и Совете главных конструкторов по ЭКБ с целью формирования кадровой политики в области ЭКБ.
* Мониторинг кадровой потребности предприятий ВПК.
* Участие в разработке профессиональных и образовательных стандартов.
* Организация и обеспечения функционирования системы распределённой подготовки кадров по целевым заказам предприятий ВПК.
* Разработка программ профессиональной переподготовки.
* Координация профильных проектов инициативной молодёжи.
* Обеспечение мобильности научных и инженерно-технических кадров и обмена кадрами между организациями (стажировки, обмен и другие формы).

Программа «Глобальное образование» направлена на сохранение и приумножение научных, педагогических, медицинских и инженерных кадров, управленческих кадров в социальной сфере, а также на поддержку граждан Российской Федерации, самостоятельно поступивших в ведущие иностранные образовательные организации, и их последующее трудоустройство.

Государственным заказчиком Программы является Министерство образования и науки Российской Федерации.

Предприятия, входящие в состав Технологической платформы «СВЧ технологии» готовы предоставить рабочие места для трудоустройства участников программы «Глобальное образование».

## 6.5. Формирование механизмов мониторинга кадрового обеспечения предприятий ‒ участников технологической ТП, а также уровня подготовки их научных и инженерно-технических кадров

В кадровом обеспечении быстро развивающегося высокотехнологичного сектора экономики роль рынка труда, как заказчика, является определяющей, без нее система профессионального образования теряет реальные ориентиры, а академический формат подготовки кадров не всегда обеспечивает развитие и внедрение действующих, и, тем более, перспективных технологий. При этом эффективное присутствие на рынке образовательных услуг интересов производителей требует специальных условий, которые должны быть созданы и приняты как ими самими, так и образовательными учреждениями. Реализация нашей технологии мониторинга кадрового обеспечения предусматривает следующие шаги:

* Изучение запросов компаний – заказчиков образовательных услуг в подготовке новых высококвалифицированных специалистов и адаптации действующего персонала предприятий к новым производственным задачам и трудовым функциям;
* Прием заказа производственной компании на формирование кадрового обеспечения вводимых технологий.
* Формирование квалификационных характеристик рабочих мест в новых производственных технологиях.
* Разработка технического задания на адаптацию действующего персонала или подготовку новых кадров к освоению вводимых технологий.
* Разработка заказных образовательных программ и УМК.
* Набор студентов в специализированные группы.
* Реализация учебного процесса.
* Организация специализированных рабочих мест для практики обучающихся как силами Университета, так и предприятий-партнеров.

Процедура предполагает также организацию внутреннего мониторингареализации образовательной программы и УМК (само-мониторинга) со стороны исполнителя, т.е. систематического отслеживания существенных характеристик процессов и результатов образовательного процесса для выявления степени их соответствия заявленным целям.

Обратная связь от компаний, по заказу которых разрабатываются и реализуются образовательные программы показывает, что большинство из них (90 % опрошенных представителей компаний) считают, чтоопределять систему знаний, умений и профессиональных компетенций, которыми должны обладать выпускники образовательной программы, должны вуз и компания совместно.

По итогам реализации наших заказных программ работодатели отмечают, что «ВУЗ может подготовить кадры именно такой квалификации, какая нужна компании» (100 % участников опроса работодателей, проведенного после завершения обучения сотрудников их компаний), и достаточно высоко оценивают программы как по параметру эффективности взаимодействия с МИЭТ, так и по ряду ключевых показателей качества обучения.

Информацию о предприятиях участниках ТП «СВЧ технологии» для определения специальности для трудоустройства можно посмотреть на сайте: <http://isvch.ru/tp/>

**Годовой цикл в рамках акции «Работай в России»**

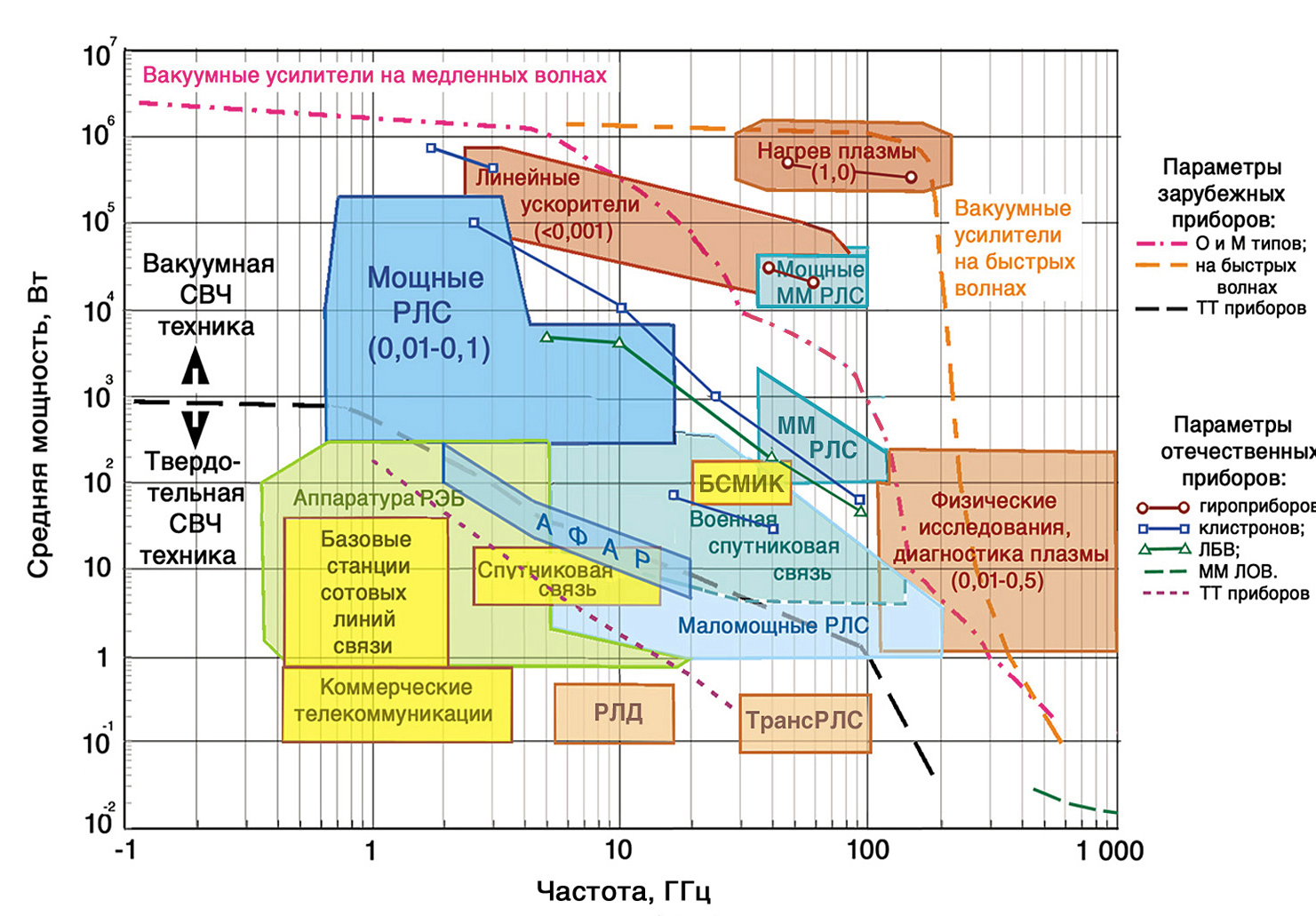


Рисунок 6.5 - Цикл привлечения молодых специалистов в технологической платформе «СВЧ технологии»

**Приложение 1**

**Области использования частотного диапазона радиоэлектронными устройствами**

**и технический уровень основных СВЧ приборов и устройств**



**Приложение 2**

**Направления развития основных классов**

**приборов и устройств СВЧ на период до 2020 года**

|  |
| --- |
| **1. Твердотельная электронная компонентная база СВЧ** |

| Основные ТТХ | Достижимые значения параметров | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2013 г. | 2015 г. | 2020 г. | | 2025 г. |
| *1.1. Генераторные диоды СВЧ на широкозонных полупроводниковых материалах:* | | | | | |
| Мощность генерации на частоте, мВт/ГГц | 500/37 100/100 | 30…50/300 | 50…60/300 | | |
| *1.2. Транзисторы СВЧ генераторные:* | | | | | |
| Выходная мощность на частоте, Вт/ГГц | 500/1  40/3  6/10  1/12 | 1000/1  100/3  25/10  1/12 | 1000/1  200/3  50/10  25/15 | | 1000/1  200/3  75/10  50/15 |
| *1.3. Транзисторы СВЧ малошумящие:* | | | | | |
| Коэффициент шума на частоте, дБ/ГГц | 0,3/12 1,5/60 | 0,3/12 1,5/60 | 1,0…1,5/100 | | |
| *1.4. МИС генераторы малошумящие и высокостабильные:* | | | | | |
| Верхняя частота, ГГц | 37,5 | 60-100 | 220 | | 240 |
| Нестабильность частоты, отн. ед. | 10-4-10-6 | 10-5-10-7 | 10-5-10-7 | | |
| Непрерывная выходная мощность, мВт | 10-30 | 20-50 | 20-50 | | |
| *1.5. МИС генераторы с электрической перестройкой частоты:* | | | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 0,3-100 | 0,3-200 | 0,3-300 | | |
| Выходная мощность, мВт | 10-300 | 10-300 | 10-300 | | |
| Полоса перестройки, % | 10…67 | 10…67 | 10…67 | | |
| Долговременная нестабильность частоты, отн.ед. | 10-5 | 10-5 | 10-5 | | |
| *1.6. Генераторы шума твердотельные:* | | | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 0,3…150 | 0,3-300 | 0,3-300 | | |
| Уровень СПМШ, дБ/кТ0 | 20 | 30 | 30 | | |
| *1.7. Малошумящие монолитные усилители см и мм диапазонов длин волн (в том числе на НЕМТ- структурах и тройных соединениях):* | | | | | |
| Коэффициент шума на частоте 4 ГГц, дБ | 1-2 | 0,8 | 0,5 | | |
| Коэффициент шума на частоте 60 ГГц, дБ | 3-4 | 2,5 | 1,5 | | |
| Коэффициент шума на частоте 90-100 ГГц, дБ | 5-6 | 4-5 | 3,5 | | |
| Полоса частот, % | 10…33 | 10…66 | 10…66 | | |
| *1.8. МИС малошумящие широкополосные усилители:* | | | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 1-26, 26-40 | 1-60 | 1-60 | 1-100 | |
| Коэффициент шума, дБ | 6 | 5 | 5 | | |
| *1.9. МИС усилители мощности:* | | | | | |
| Выходная мощность на частоте 9 ГГц, Вт | 10-12 | 20 | 30 | | |
| Выходная мощность на частоте 40 ГГц, Вт | 5 | 8 | 10 | | |
| Выходная мощность на частоте 110 ГГц, Вт | 1-1,5 | 2 | 3 | | |
| Удельная мощность на частоте 10 ГГц, Вт/мм | 0,7-0,8 | 1,5-1,8 | 3,0-3,5 | | |
| КПД в см диапазоне, % | 35 | более 40 | 40-50 | | |
| КПД в мм диапазоне, % | 20-25 | 25-30 | 30-40 | | |
| *1.10. МИС сверхширокополосные усилители мощности:* | | | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 1-18, 18-26, 26-40 | 1-18, 18-26, 26-40 | 1-110 | | |
| Мощность, Вт | 1-2 | 2-3 | 5 | | |
| Удельная мощность, Вт/мм | 0,7-0,8 | 1,5-1,8 | 3,0-3,5 | | |
| *1.11. МИС и функциональные устройства для приемо-передающих модулей АФАР Х-диапазона:* | | | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 9-10,5 | 8,0-12,5 | 8,0-12,5 | | |
| Выходная мощность импульсная, Вт | 10-12 | 15 | 25 | | |
| КПД, % | 30 | 45 | 45-50 | | |
| Коэффициент шума, дБ | 1,5…1 | менее 1 | менее 1 | | |
| Дискрет фазы, град. | 5,128 | 2,8 | 2,8 | | |
| Время переключения фазы, мкс | 0,05 | 0,025 | 0,0125 | | |
| *1.12. Модули-синтезаторы частот для РЛС и средств РЭП:* | | | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 0,5-18, 18-26, 26-40 | 0,5-170 | 0,5-170 | | |
| Время переключения, мкс | 0,3...0,05 | 0,1...0,003 | 0,1...0,003 | | |
| Нестабильность частоты, отн. ед. | 10-10 | 10-12 | 10-12 | | |
| *1.13. МИС-преобразователи сигналов (умножители, делители, коммутаторы, аттенюаторы, детекторы, смесители и пр.)* | | | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 0,3…30 | 0,3…60 | 0,3…100 | | |
| *1.14. Линии задержки* | | | | | |
| Задержка, мкс | 3 | 10 | до 100 | | |
| *1.15. Переключатели СВЧ сигналов* | | | | | |
| Число каналов | 2, 3, 4, 8 | 2, 3, 4, 8 | 2-64 | | |
| Диапазон частот, ГГц. | 0,3…18 | 0,3…26 | 0,3…40 | | |
| Входная импульсная мощность, Вт | 50 | 100 | до 1000  (средняя до 50) | | |
| ***Характеристика технологического базиса твердотельной СВЧ электроники*** | | | | | |
| Материалы | материалы группы  А3В5, А2В6 | материалы группы  А3В5, А2В6 | материалы группы  А3В5, А2В6, алмаз | | |
| Технология | НЕМТ, НВТ | LD MOS, SIT, НЕМТ, НВТ | LD MOS, SIT, НЕМТ, НВТ | | |
| Эпитаксия | МОСVD, МЛЭ | МОСVD, МЛЭ | МОСVD, МЛЭ | | |
| Диаметр пластин, мм | 75-100 | 100-150 | 100-150 | | |
| Топологическое разрешение, мкм | 0,15…0,1 | 0,1…0,07 | 0,1…0,07 | | |
| **Характеристика технологического базиса интеграции СВЧ электроники (SiP, SoP, многокристальные 3D-сборки)** | | | | | |
| Материалы подложек и корпусов | оксидная керамика, НТСС, материалы печатных плат | оксидная, нитридная керамика, НТСС, LTCC, SiC, Si | оксидная, нитридная и комбинированная керамика, НТСС, LTCC, SiC, Si, полимеры, гибридные структуры | | |
| Технология | гибридная | гибридная, SiP, SoP | гибридная, SiP, SoP TSV, 3DMS | | |
| Базовый размер подложек и микрокоммутационных плат, мм | 48х60 | 100х100 | 200х200 | | |
| Базовое топологическое разрешение, мкм | 75-100 | 40-100 | 10-100 | | |
| **2. Электровакуумные приборы СВЧ** | | | | | |

| Основные ТТХ | Достижимые значения параметров | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 2011 г. | 2015 г. | 2020 г. |
| *2.1. Широкополосные ЛБВ средней и большой мощности непрерывного действия для средств РЭП и техники связи* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 1-40 | 1-40 | 1-40 |
| Полоса частот, % | 100 | 120 | 130 |
| Выходная мощность на частотах до 18 ГГц, кВт | 0,2 | 0,5 | 1 |
| *2.2. ЛБВ импульсного действия средней мощности для РЛС* | | | |
| Максимальная рабочая частота, ГГц | 100 | 100 | 100 |
| Выходная импульсная мощность, кВт  (в Х-диапазоне)  (в Ku-диапазоне)  (в Ka-диапазоне) | 17  3  1 | 20  6  2 | 60  6  2 |
| Полоса усиливаемых частот, %  (в Х-диапазоне)  (в Ku-диапазоне)  (в Ka-диапазоне) | 8  4  4 | 10  6  5 | 10  8  6 |
| Неравномерность коэффициента усиления при постоянной входной мощности, дБ | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| *2.3. ЛБВ бортовых космических средств связи* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 45 | 60 | 100 |
| Выходная мощность в непрерывном режиме, Вт | 50 | 100 | 100 |
| КПД, % | 50 | 60 | 65 |
| Наработка, тыс.ч | 100 | 150 | 150 |
| *2.4. Клистроны широкополосные мощные непрерывного действия для средств тропосферной связи* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 0,4-1.5 | 1-10 | 1-15 |
| Выходная мощность, кВт | 20 | 500 | 500 |
| Диапазон перестройки частоты, % | 10-14 | 5 | 10 |
| КПД, % | 35 | 40 | 40 |
| *2.5. Клистроны импульсного действия для ВТО бронетанковой техники* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 40 | 100 | 100 |
| Мощность выходная импульсная, кВт | 0,5 | 1 | 3 |
| Мощность выходная средняя, Вт | 100 | 100-150 | 200 |
| *2.6. Мощные импульсные клистроны для РЛС обнаружения и целеуказания* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 1-18 | 1-18 | 1-26 |
| Управляющее напряжение, кВ | 5-7 | 3 | 1 |
| *2.7. Мощные импульсные клистроны мм диапазона длин волн для информационных РЭС наземного и космического базирования* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 36 | 100 | 100 |
| Мощность выходная импульсная, кВт | 30 | 10-30 | 100 |
| Полоса частот, МГц | 200 | 300 | 500 |
| *2.8. Мощные импульсные гироусилители (клистроны, ЛБВ) мм диапазона длин волн для РЛС наземного базирования* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 36 | 36 | 100 |
| Мощность выходная импульсная, кВт | 400 | 300 | 500 |
| Полоса частот, МГц | 100 | 200-500 | 300-500 |
| КПД, % | 20 | 30 | 30 |
| *2.9. Безнакальные импульсные магнетроны для бортовых РЭС* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 10-40 | 10-40 | 10-40 |
| Мощность выходная импульсная, кВт | 3-10 | 3-10 | 1-10 |
| Напряжение анода, кВ | 6-8 | 4-6 | 2-4 |
| *2.10. Импульсные магнетроны мм диапазона длин волн для мобильных РЭС ВТО* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 100-150 | 100-150 | 100-150 |
| Мощность выходная импульсная, кВт | 4 | 6-10 | 10 |
| Длительность импульса, мкс | 0,07 | 0,03 | 0,02 |
| Скважность | 5000 | 2000 | 2000 |
| *2.11. Импульсные магнетроны, синхронизированные мм диапазона длин волн для мобильных РЛС и РЭС ВТО* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 100 | 100-150 | 100-150 |
| Полоса частот, МГц | 200 | 250 | 300 |
| Мощность выходная импульсная, кВт | 0,1-0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Длительность импульса, мкс | 2 | 2-5 | 2-5 |
| Скважность | 500 | 200 | 100 |
| *2.12. Сверхмощные импульсные усилители и генераторы (релятивистские клистроны и магнетроны, виркаторы) см диапазона длин волн для энергетических средств поражения* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 3-30 | 3-30 | 3-30 |
| Мощность выходная импульсная, МВт | 50 | 150 | 1000 |
| Полоса частот, % | 0,5 | 2,5 | 5 |
| КПД, % | 30 | 30-50 | 30-50 |
| Длительность импульса, мкс | 0,5 | 2,0 | 2,5 |
| Скважность | 2000 | 1000 | 500 |
| *2.13. Сверхмощные непрерывные ЛБВ для РЛС* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 0,4-1,5 | 0,4-1,5 | 0,4-1,5 |
| Выходная мощность, кВт | 100 | 100 | 100 |
| Полоса усиливаемых частот, % | 10 | 10 | 15 |
| КПД, % | 25 | 35 | 45 |
| ***Характеристика технологического базиса электровакуумной СВЧ электроники*** | | | |
| Обработка металлов | механическая и электроискровая | механическая, электроискровая и лазерная | механическая, электроискровая и лазерная |
| Точность обработки элементов конструкций, мкм | 0,3-0,5 | 0,2-0,3 | 0,1-0,2 |
| Формоустойчивость электродов, образующих электронно-оптические и электронно-динамические системы, мкм | 10 | 5-10 | 5-7 |
| Точность изготовления программируемых по длине пленочных поглотителей, % | 20 | 5-10 | 5-7 |
| Точность и соосность прошивки прецизионных отверстий и глубоких каналов в ЭОС и в замедляющих системах, мм | ±0,015 | ±0,01 | ±(0,005…0,01) |
| Чувствительность контроля герметичности, л.мк.тор/с | 10-12 | 10-14 | 10-14 |
| Плотность тока катода многолучевых ЭОС с управляющим электродом, А/см2 | до 20 | 100 | более 100 |
| Относительный уровень управляющего напряжения (Uупр/Uа), % | 6-8 | 3-8 | 3-6 |
| Срок службы многолучевых ЭОС с управляющим электродом, тыс. час | 50 | 100 | 150 |
| САПР | двухмерные | трехмерные | трехмерные |

|  |
| --- |
| **3. Ферритовые приборы СВЧ** |

| Основные ТТХ | Достижимые значения параметров | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 2011 г. | 2015 г. | 2020 г. |
| *3.1. Ферритовые вентили и циркуляторы высокого уровня мощности* | | | |
| Мощность непрерывная, Вт |  |  |  |
| на частотах 26-40 ГГц | 500-2000 | 50-2000 | 50-2000 |
| 93-96 ГГц | - | 100-500 | 100-500 |
| 130-150 ГГц | - | 50-200 | 100-300 |
| Прямые потери, дБ | 0,2-0,6 | 0,2-0,5 | 0,2-0,3 |
| Обратные потери, дБ | 20 | 20 | 20 |
| *3.2. Ферритовые фазовращатели* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 30-37,5 | 30-37,5 | 100 |
| Энергия переключения, мкДж | 80 | 40-80 | 20 |
| Время переключения фазы, мкс | 10-30 | 5-10 | 1-5 |
| *3.3. СВЧ перестраиваемые фильтры на МСВ* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 4-18 | 4-26 | 4-40 |
| Полоса частот, МГц | 10-350 | 10-350 | 10-350 |
| Потери, дБ | 5-6 | 4-5 | 2-4 |
| Заграждение, дБ | 35 | 35-50 | 40-60 |
| ***Характеристика технологического базиса ферритовой СВЧ электроники*** | | | |
| Точность обработки ферритовых вкладышей и арматуры приборов по мере продвижения в верхние частоты, мкм | 1-3 | 0,5-1,5 | 0,5-1,0 |
| Уровень допустимой неравномерности плотности по объему ферритового вкладыша, % | 0,2 | 0,1 | 0,05 |
| Стабильность техпроцесса обжига ферритов, % | 3 | 1,5 | 1,0-1,5 |
| Тангенс диэлектрических потерь феррошпинелей с намагниченностью 3500…5000 Гс, tg δε·104 | 1 | 0,5 | 0,3-0,5 |
| Тангенс магнитных потерь феррошпинелей с намагниченностью 3500…5000 Гс, tg δμ·104 | 5 | 3 | 1-3 |
| **4. Акустоэлектронные приборы СВЧ** | | | |

| Основные ТТХ | Достижимые значения параметров | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 2020 г. | 2025 г. | 2030 г. |
| *4.1. Фильтры и фильтры-мультиплексеры на основе объёмных акустических волн в тонких пьезоэлектрических пленках* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 5,5-12 | 4,5-15 | 3,5-20 |
| Полоса пропускания по уровню 3дБ, % | 1-3 | 1-3 | 1-3 |
| Затухание в полосе пропускания, дБ | 1,5-4,5 | 1,5-4,5 | 1,5-4,5 |
| Затухание в полосе задерживания, дБ | 30 | 40 | 50 |
| Коэффициент прямоугольности АЧХ фильтра, ед. | 1,4-1,9 (30дБ/3дБ) | 1,4-1,9 (40дБ/3дБ) | 1,4-1,9 (50дБ/3дБ) |
| Размеры корпуса фильтра, мм | 3×3×0,9 | 1,6×2,0×0,9 | 1,6×2,0×0,9  (интеграция в функциональные устройства) |
| *4.2. Генераторы на основе резонаторов на объёмных акустических волнах в тонких пьезоэлектрических пленках)* | | | |
| Диапазон частот, ГГц | 5,5-12 | 4,5-15 | 3,5-20 |
| Подстройка частоты, ×10-3 | 1 | 2 | 2 |
| СПМФШ при отстройке 10 кГц, дБ/Гц | -100 | -110 | -120 |
| Размеры корпуса фильтра, мм | 12,8×12,8×3 | 5×5×1,5 | 1,6×2,0×0,9 |
| ***Характеристика технологического базиса акустоэлектронной СВЧ электроники*** | | | |
| Материалы пьезоэлектрических тонких пленок | AlN, ZnO | AlN, ZnO | AlN, ZnO |
| Толщина пьезоэлектрических тонких пленок, мкм | 0,1-5 | 0,1-5 | 0,1-5 |
| Диаметр ростовой пластины, мм | 50 | 100 | 150 |
| Способ герметизации | Металлокерамический корпус | Металлокерамический корпус / Сварка пластин | Сварка пластин |