

Проблемы проектирования устройств для сетей 5G миллиметрового диапазона

Джек Браун (Microwaves & RF)

В данной статье рассмотрены основные проблемы и задачи, стоящие перед разработчиками усилителей мощности для сетей 5-го поколения миллиметрового диапазона с учётом строгих требований к уровням выходной мощности и линейности и значению КПД устройства.

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные сети 5-го поколения (5G) часто называют по-настоящему «следующим» поколением сетей связи, поскольку их ожидаемые характеристики должны значительно превзойти все параметры текущего 4-го поколения (LTE). Несмотря на то что стандарты 5G ещё однозначно не установлены, многие, кто планирует их введение, согласны с тем, что сети нового поколения должны работать в более широкой полосе, обеспечивающей увеличенную пропускную способность передачи данных. Получить такую полосу возможно, перейдя в область более высоких частот, а именно в область миллиметровых волн (порядка 60 ГГц). Сама область миллиметровых волн хорошо зарекомендовала себя в «умных» системах автомобилей (например, в системах предотвращения столкновений используются радары на 77 ГГц), а возможность обеспечить рабочую полосу от 30 до 300 ГГц является многообещающей характеристикой диапазона, которая удовлетворит требованиям к пропускной способности сетей, особенно по сравнению с достигающими своих пределов параметрами сетей LTE. Тем не менее построение сетей 5G,

использующих все преимущества миллиметрового диапазона, требует увеличения уровней мощности передаваемых сигналов, а это значит, что ключевую роль в развитии новых систем будет играть доступность соответствующих усилителей мощности (УМ).

Проектирование УМ миллиметрового диапазона – задача нетривиальная. Как следует из названия, длины волн сигналов составляют от 1 до 10 мм. С учётом взаимоотношений между частотой, длиной волны и различными параметрами схем, необходимых для работы на столь высоких частотах, основными проблемами при разработке становятся миниатюризация схем и необходимость сохранения мощности сигнала за счёт уменьшения прямых и обратных потерь.

Перспективы 5-го поколения

Ожидания от сетей 5G велики даже несмотря на то, что инфраструктура к ним ещё не готова (см. рис. 1). Ранние поколения сетей беспроводной/сотовой связи строились для передачи голосовых данных, но уже с появлением сетей 2G и 3G ситуация стала меняться. Природа современных сетей связи изменилась во многом благодаря раз-

витию сети Интернет, став более ориентированной на передачу больших объёмов данных, что, в свою очередь, привело к появлению новых требований к скорости передачи данных и пропускной способности сетей.

Появление и развитие Интернета вещей (IoT) также ведёт к созданию устройств с низким энергопотреблением, поскольку большая их часть постоянно находится во включённом состоянии с непрерывным беспроводным подключением к интернету. Это отличает устройства IoT от смартфонов, которые могут находиться в режиме ожидания без постоянного потребления ресурсов сети. Постоянное подключение устройств IoT к сети может диктоваться их назначением – к примеру, устройства для мониторинга состояния здоровья должны непрерывно записывать и передавать данные о состоянии пациента. По различным оценкам, количество устройств IoT, которые должны будут находиться в подключённом к сети состоянии, может достигать нескольких триллионов уже через несколько лет – при этом не учитывается рост количества смартфонов, работающих в тех же сетях. В связи с этим необходимость в сетях с высокой пропускной способностью становится насущной проблемой.

Неизбежность перехода на новое поколение сетей обусловлена также и ограниченностью характеристик текущего поколения (4G). По сравнению с 3G сети 4-го поколения обеспечили значительный прирост производительности благодаря повышенной спектральной эффективности, обеспеченной продвинутыми методами модуляции и кодирования, а также развитием технологий антенн (например, MIMO – «многоканальный вход – многоканальный выход»).

Усовершенствования позволили добиться скорости передачи данных до 1 Гб/с для стационарных и порядка 100 Мб/с для мобильных устройств. Ожидания от сетей связи 5-го поколения подразумевают увеличение этих значений не менее чем в 10 раз. Это позволило бы обеспечить работу множества смартфонов и устройств



Рис. 1. Необходимость расширения рабочей полосы в связи с новыми требованиями к скорости передачи больших массивов данных

ОДНА ПЛАТФОРМА, БЕЗ ПРЕГРАД.

Простота гениальна

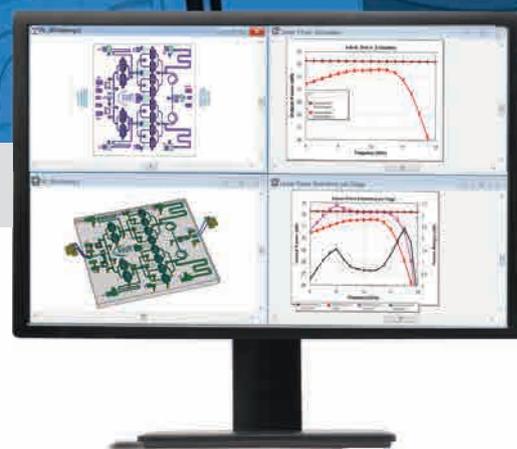
NI AWR DESIGN ENVIRONMENT

NI AWR Design Environment™ - это единая платформа, объединяющая системный, схемотехнический и электромагнитный анализ, для разработки продвинутых современных беспроводных систем: от базовых станций и мобильных телефонов до систем спутниковой связи. Интуитивно понятный пользовательский интерфейс, проверенные технологии симуляции и доступная архитектура с поддержкой сторонних решений – всё это устраняет преграды на пути к вашей успешной разработке! Проектирование стало гениально проще.



Более подробно см. на awr.com/ru

Новый раздел “Материалы и публикации” - awr.com/ru
Технические статьи и материалы о РЧ/СВЧ-проектировании.



Microwave Office | Visual System Simulator | Analog Office | AXIEM | Analyst | AntSyn

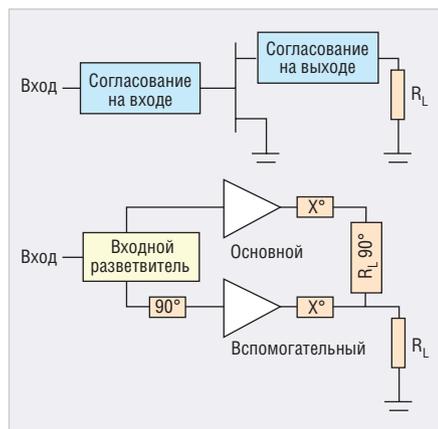


Рис. 2. Сравнение стандартного усилителя класса АВ и конструкции Догерти

IoT, постоянно передающих не только голосовые и текстовые данные, но и потоковые видео. Таким образом, скорость передачи данных должна составлять порядка 10 Гб/с.

Пропускная способность сети зависит от ряда факторов, включающих доступную полосу, количество каналов связи, количество сот и отношение сигнал/шум. Увеличение рабочей полосы за счёт перехода в миллиметровую область спектра позволит повысить пропускную способность, однако при этом разработчики надеются избежать серьёзного увеличения энергопотребления, что является важным требованием к проектированию УМ для 5G не только на высоких, но и на относительно низких частотах.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УМ

Как правило, УМ описывается рядом характеристик, среди которых – коэффициент усиления, стабильность усиления, уровень выходной мощности, линейность, КПД, входной и выходной коэффициенты стоячей волны по напряжению (КСВН) и коэффициент шума. Рабочая полоса конкретного УМ определяется способностью усилителя сохранять значения этих параметров в требуемом диапазоне. Например, коэффициент усиления максимален на низких частотах и минимален на высоких, и допустимое отклонение определяется стабильностью усиления: значение ± 1 дБ соответствует диапазону стабильности в 2 дБ во всём рабочем диапазоне усилителя.

Выходная мощность является функцией входного уровня мощности, коэффициента усиления и допустимого уровня компрессии на выходе УМ. Для большинства УМ миллиметрового диапазона выходная мощность измеряется

и указывается для точки компрессии в 1 дБ (обычно обозначается как P1dB). Добиться большей мощности можно, увеличив уровень входного сигнала, но это сильно уменьшит линейность усилителя, поскольку параметры УМ будут определяться искажениями сигнала, например в точке компрессии в 3 дБ. В усилителе с высокой линейностью входные сигналы максимально пропорциональны выходным с точки зрения формы сигнала. С появлением цифровых схем модуляции увеличились и значения параметра отношения пиковой мощности к средней для сигналов. Это означает, что УМ заводятся в режим компрессии очень глубоко и только рабочая точка усилителя находится не намного ниже точки компрессии. В результате усилители и их модели создаются при всё более высоких уровнях компрессии, либо проектирование УМ и согласование производится в режиме back-off.

Высокая линейность большинства УМ достигается при работе на уровнях мощности входного сигнала ниже максимального – таким образом УМ не переходит в режим компрессии. С другой стороны, КПД усилителей максимален при работе именно в режиме компрессии, а именно в точке, где режим работы УМ считается насыщенным и его выходная мощность максимальна, поскольку дальнейшее увеличение входного сигнала не приведёт к существенному увеличению выходной мощности. Линейность – это ключевой параметр УМ систем 5-го поколения, т.к. для достижения высокой скорости передачи данных используются сложные схемы модуляции. Для корректной работы данных схем необходимы сигналы с минимальными искажениями. Линейность усилителей обычно достигается в ущерб энергоэффективности. Так, например, в классах А или АВ усилители постоянно включены и потребляют энергию для того, чтобы избежать нелинейных режимов работы.

В сетях 5G усилители должны работать с высоким КПД, чтобы минимизировать потребление энергии базовой станции или микросоты. Аналогично усилители в мобильных устройствах, работающих от батарей, должны работать в линейном режиме без ущерба значению КПД по добавленной мощности. Для увеличения КПД и линейности существуют различные методы. Например, в конструкции усилителя Догерти используются два усилителя

различных классов (см. рис. 2). Входной сигнал разделяется на две части и суммируется после усиления на выходе, при этом за счёт различного смещения усилителей и особенностей конструкции обеспечивается более эффективное потребление энергии с учётом формы и уровня сигнала. Для увеличения КПД усилителей используются различные методы отслеживания огибающей, позволяющие гибко изменять подачу питания на усилитель с тем, чтобы поддерживать значение выходной мощности на нужном уровне.

Для обеспечения высокой линейности УМ при сохранении достаточного КПД часто используются методы цифровой коррекции предискажений. Поскольку усилитель обладает наибольшим КПД в области точки насыщения, цифровая коррекция позволяет изменять форму модулированных сигналов таким образом, чтобы он работал с высоким КПД, но без искажений или повышенной нелинейности.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В производстве усилителей миллиметрового диапазона используются различные полупроводниковые технологии, включая транзисторы на кремний-германий (SiGe), арсениде галлия (GaAs), фосфиде индия (InP), нитриде галлия (GaN). Кроме того, применяются устройства на подложках из различных материалов, включая нитрид галлия на кремнии (GaN-on-Si) и нитрид галлия на карбиде кремния (GaN-on-SiC), обладающие превосходными тепловыми характеристиками для эффективного рассеяния.

Кремниевые LDMOS-усилители (металл-оксидные полупроводники с поверхностной диффузией) традиционно используются в роли высокоомощных активных устройств в базовых станциях сетей 3G и 4G. Кремниевые УМ со структурой «кремний-на-изоляторе» также способны обеспечить требуемые уровни мощности при конфигурации нескольких транзисторов в многоуровневую структуру. Полученные выходные мощности порядка 1 Вт на частоте до 28 ГГц с высокой степенью линейности усиления свидетельствуют о принципиальной применимости этих относительно недорогих в производстве структур для устройств сетей 5-го поколения.

Выбор материала для УМ во многом определяется тем, будет ли этот усилитель применяться в базовой станции

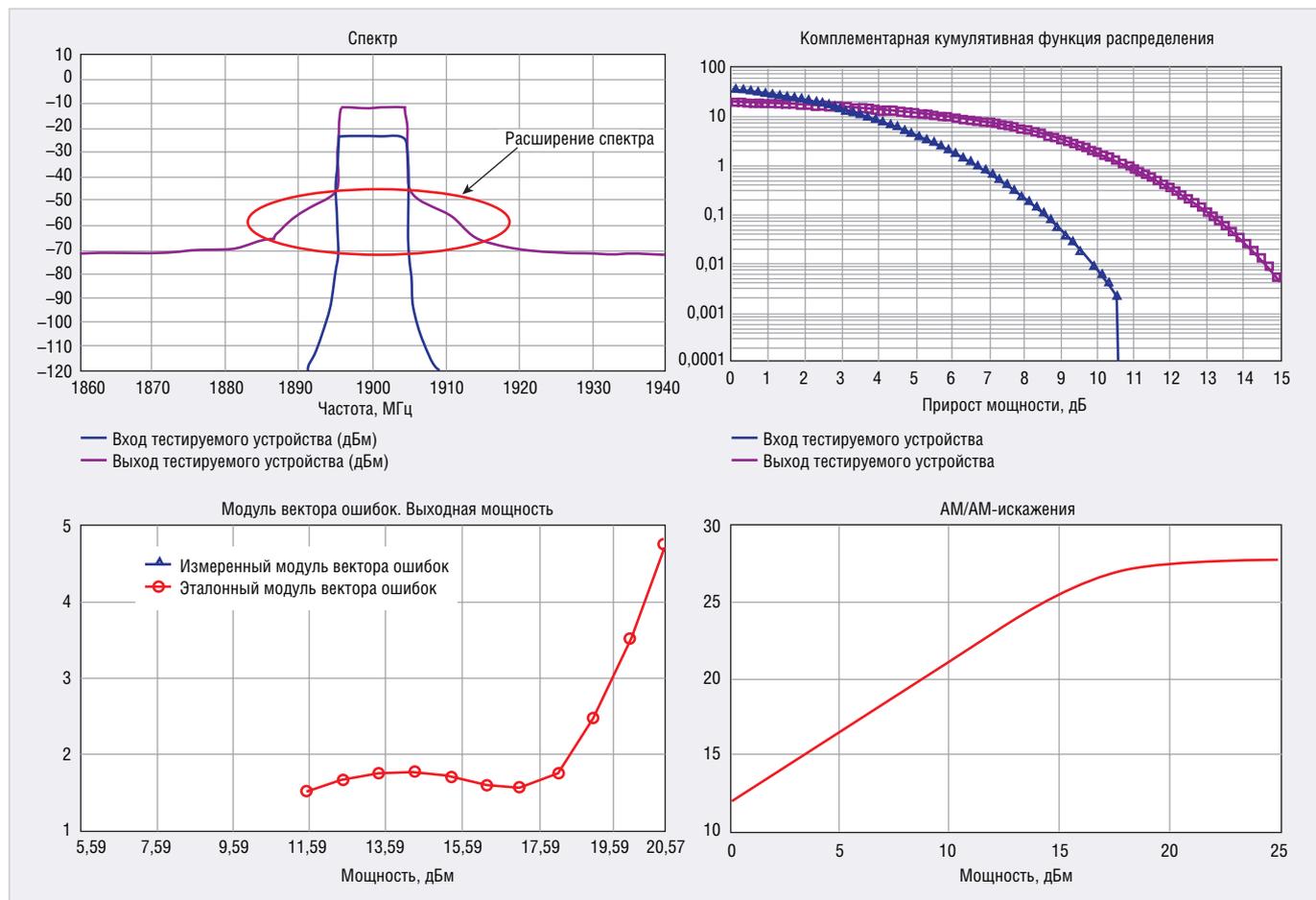


Рис. 3. Моделирование характеристик УМ в NI AWR Design Environment и Visual System Simulator

или в мобильном устройстве, а также рабочим частотным диапазоном, поскольку в разных странах мира под сети 5-го поколения планируется выделять различные диапазоны. Так, на данном этапе внимание инженеров привлекают диапазоны 4–6 и 24–86 ГГц, при этом требования к УМ в этих диапазонах также различаются: например, требование к уровню выходной мощности снижается с 30 до 0,2 Вт при переходе в область более высоких частот.

Ключевой характеристикой любого полупроводникового материала с точки зрения применения УМ в сетях 5G является высокая подвижность электронов, и все перечисленные ранее материалы показали своё превосходство над кремнием и являются перспективными для миллиметрового диапазона волн. На этих материалах были изготовлены различные структуры транзисторов, включая гетеробиполярные транзисторы (HBT), полевые транзисторы с затвором Шоттки (MESFET) и транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT). Каждая из структур обладает определёнными усилительными и мощностными характеристиками в миллиметровой области спектра.

Нитрид галлия (GaN) в последнее время становится предпочтительным материалом для многих разработчиков УМ, в том числе и для применения в миллиметровой области. В то время как SiGe-, InP- и GaAs-транзисторы обладают частотой среза до 300 ГГц и выше, GaN обеспечивает значительно более высокие уровни допустимой мощности, тем самым позволяя создавать усилители на дискретных элементах или монолитные интегральные схемы УМ меньшего размера и большей мощности по сравнению с другими материалами.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УМ

Как было отмечено ранее, проектирование усилителя для сетей 5G миллиметрового диапазона требует достижения компромисса между рядом параметров и характеристик, таких как линейность и КПД. В зависимости от технологии активного устройства перед разработчиком стоит задача выбора конструкции усилителя, количества каскадов и т.д. Конечный результат будет определяться набором требований к усилителю: частотный диапазон, коэффициент усиления, выходная мощность, линейность и КПД.

Получение оптимальных характеристик зависит от качества решения задачи согласования входного и выходного импедансов транзистора к характеристическому импедансу системы. Как правило, с этой целью производятся измерения S-параметров устройства на векторном анализаторе для получения малосигнальных характеристик на входе, а также load-pull-измерения при помощи соответствующего тюнера для нелинейного согласования выходного импеданса на основе данных, полученных в режиме большого сигнала. Оптимальный импеданс источника позволяет уменьшить коэффициент шума УМ, в то время как согласование нагрузки необходимо для получения требуемых параметров выходной мощности, КПД и линейности (а также коэффициента мощности по смежному каналу и модуля вектора ошибок (см. рис. 3)). Ввиду необходимости проведения большого количества расчётов разработчикам рекомендуется использовать автоматизированные установки для проведения load-pull-измерений, например от Maury Microwave или Focus Microwave. Применение программного обеспечения типа LabVIEW от National

Instruments позволяет дополнительно автоматизировать этот процесс и сократить время, требуемое для подготовки транзистора к согласованию и дальнейшему проектированию.

Проектирование усилителя мощности в среде разработки NI AWR Design Environment с подключённым модулем схмотехнического проектирования Microwave Office может основываться на компактной или поведенческой модели транзистора. Альтернативный подход заключается в непосредственном использовании измеренных (или промоделированных на основе компактной модели) данных load-pull. Microwave Office предоставляет разработчикам необходимые функциональные возможности для обработки больших объёмов данных измерений и моделирования. При этом он позволяет проводить согласование не только на основе построенных контуров различных ключевых характеристик, но и дополнительно автоматизировать процесс благодаря последним нововведениям, а именно инструменту синтеза цепей согласования. Мощные схмотехнические симуляторы (линейный и гармони-

ческого баланса), а также электродинамические решатели (планарный AXIEM и трёхмерный Analyst) позволяют проводить анализ различных возможных реализаций схемы для оценки влияния параметров линий передачи и конфигурации пассивных компонентов и даже различных согласующих схем на характеристики всего усилителя.

В зависимости от конкретного применения (стационарного или портативного) усилитель для сетей 5G должен отвечать различным требованиям к частотному диапазону, уровню мощности, КПД и линейности. Стандартные линейные симуляции позволяют оценить коэффициент усиления, возвратные потери и другие параметры в зависимости от частоты. Для тестирования работы усилителя в условиях, приближённых к реальным, используется NI AWR Design Environment в виде входящих в состав системного модуля Visual System Simulator блоков цифровой модуляции нового поколения (включая CP-OFDM) и предустановленной тестовой схемы для 5G, которая позволяет рассчитывать различные параметры с точки зрения системного дизайна в той же среде

проектирования. Разработчик может рассчитать основные параметры усилителя и запустить моделирование значений коэффициента мощности по смежному каналу (ACPR) и роста внеполосного излучения за счёт нелинейности усилителя или модуля вектора ошибок – ещё одной метрики линейности, описывающей вектор ошибки на сигнальном созвездии между идеальной точкой и точкой, полученной в приёмном тракте.

Несмотря на то что миллиметровый диапазон частот может обеспечить очень широкие рабочие полосы для устройств сетей 5-го поколения и других применений, включая автомобильные радары и системы безопасности, усилители мощности для этих областей, вероятно, будут ограничены в рабочей полосе. Многие организации, планирующие введение сетей 5G, предлагают использование узких каналов передачи данных вокруг центральных частот 24, 28 или 60 ГГц. Помимо этого, проектирование согласующих схем в узкой полосе значительно проще, чем в широкой, особенно в том случае, если речь идёт об устройствах, работающих в миллиметровом диапазоне волн. 

НОВОСТИ МИРА

**РВК и НТИ «Энерджинет»
РАЗРАБОТАЮТ СТАНДАРТЫ
АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ IОE**

Технический комитет «Киберфизические системы», созданный на базе РВК, начал разработку стандартов терминологии и архитектуры для распределённых энергетических систем. Проект позволит стимулировать массовое внедрение в России разработок в сфере «умной» энергетики и замедлить рост стоимости электроэнергии для конечных потребителей.

Технические стандарты разрабатываются по инициативе проекта «Архитектура Интернета энергии», который получил поддержку в рамках дорожной карты Национальной технологической инициативы «Энерджинет». Документы нормативно-технического регулирования позволят создать основу для развития в России Интернета энергии (IoE) – нового типа энергосистем с интеллектуальным децентрализованным управлением объектами распределённой энергетики, который обеспечивает свободный обмен электроэнергией между генераторами, потребителями, просьюмерами и другими субъектами отрасли.

На базе технического комитета «Киберфизические системы» при участии Инфра-

структурного центра НТИ, статус которого получил Фонд «Центр стратегических разработок „Северо-Запад“», будут разработаны стандарты «Информационные технологии. Умная энергетика. Термины и определения» и «Информационные технологии. Умная энергетика. Типовая архитектура Интернета энергии».

Первый стандарт позволит определить и сделать однозначным толкование новых терминов и понятий «умной» распределённой энергетики, кодифицировать язык её описания и разработки. Второй стандарт определит архитектурные требования к построению энергетических систем в парадигме Интернета энергии. В частности, в нём будут заданы принципы построения электроэнергетических систем такого типа, а также требования к компонентам и модулям, выполнение которых обеспечит возможность масштабирования энергосистем по принципу plug&play.

Интернет энергии – это peer-to-peer-энергетика, построенная на принципах свободного обмена энергией и взаимного оказания услуг всеми пользователями энергетики в целях оптимального использования возможностей энергосистемы и всех входящих в неё субъектов. Архитектура вклю-

чает в себя весь необходимый набор силовых, информационно-управляющих и финансовых систем для обеспечения такого свободного обмена энергией.

Актуальность разработки стандартов и массового развития «умной» энергетики обусловлена потребностью российской экономики в новом источнике повышения эффективности энергетической отрасли. Растущая неэффективность российской электроэнергетики становится фактором ограничения конкурентоспособности отечественной экономики. Решающую роль в поисках ответа на этот вызов в ближайшее время сыграет распределённая энергетика.

Оценки на основе модельных расчётов показывают, что реализация новой архитектуры позволит снизить потребность в присоединённой мощности потребителей и оптимизировать структуру генерирующих и сетевых мощностей.

Разработка и утверждение стандартов позволит сделать практику создания и развития распределённой энергетики массовой, даст игрокам этого растущего рынка основы системного подхода и методологии для множества частных решений и проектов, снизит барьер входа на этот рынок и в результате позволит перейти от пилотных проектов

к масштабированию «умной» энергетики. В результате рост стоимости электроснабжения для конечных потребителей замедлится, надёжность электроснабжения и качество электроэнергии вырастут.

Первые проекты стандартов в сфере «умной» энергетики будут разработаны и представлены для публичного обсуждения и доработки к середине 2019 года. После этого они будут внесены техническим комитетом на утверждение в Росстандарт.

По прогнозам экспертов Центра стратегических разработок и рабочей группы НТИ «Энерджинет», масштабное развитие электроэнергетики на основе архитектуры Интернета энергии позволит сдержать рост цен на электроэнергию на 30-40% к 2035 году по сравнению с инерционным сценарием.

Пресс-служба РВК

«РОСЭЛЕКТРОНИКА» ПРОВЕЛА КРУГЛЫЙ СТОЛ С МОЛОДЫМИ СПЕЦИАЛИСТАМИ НА WORLD SKILLS HI-TECH

В рамках V Национального чемпионата сквозных рабочих профессий высокотехнологических отраслей промышленности WorldSkills Hi-Tech 2018 состоялся круглый

стол с участием индустриального директора радиоэлектронного комплекса Госкорпорации «Ростех» Сергея Сахненко, руководства холдинга «Росэлектроника», директоров ключевых предприятий отрасли и молодых специалистов организаций радиоэлектронного кластера.

Призёры инновационных конкурсов, лидеры рейтинга молодёжных промышленных форумов, активисты молодёжных объединений – всего более 60 участников из 14 регионов России – приняли участие в открытой дискуссии с руководством отрасли.

В ходе обсуждения были затронуты вопросы, связанные со стратегией развития радиоэлектронного кластера «Ростеха», возможностями карьерного роста для молодёжи, жилищной политикой, системой наставничества, корпоративными программами обучения.

«Сегодня закладываются проекты и формируются направления, которые не только будут определять будущее радиоэлектроники в ближайшие 5–10 лет, но станут фундаментом для новых прорывных технологий. Именно молодёжь должна стать драйверами этих изменений. У нас есть традиции, накопленные десятилетиями, и большой потенциал для освоения новых продукто-



вых направлений и выхода на новые рынки», – отметил индустриальный директор радиоэлектронного кластера Госкорпорации «Ростех» Сергей Сахненко.

«„Росэлектроника“ сейчас ведёт активную работу с молодёжью. Мы формируем перечень компетенций и специальностей, которые необходимы для обеспечения работы будущих производственных мощностей наших предприятий. На основе выявленных компетенций совместно с профильными вузами мы будем разрабатывать обучающие программы. Это позволит своевременно обеспечить потребность в кадрах по тем направлениям, которые на сегодняшний день ещё отсутствуют, а завтра уже будут активно востребованы предприятиями холдинга», – отметила заместитель генерального директора холдинга «Росэлектроника» Наталья Транковская.

Пресс-служба Объединённой «Росэлектроники»

PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Росэлектроника