

## WiMAX – КРУШЕНИЕ ИЛЛЮЗИЙ ИЛИ РОЖДЕНИЕ КОЛОССА?

*"Мы долго бились с белыми за избушку лесника.  
А потом пришел лесник и всех разогнал".*

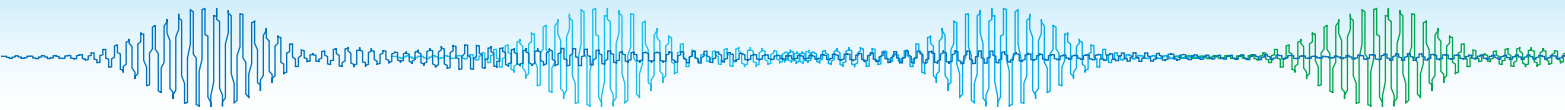
Из дневника красноармейца

**13–14** ноября в Москве прошла третья международная научно-практическая конференция по широкополосной беспроводной технологии WiMAX. На сей раз организатором конференции выступило агентство Infor-media Russia. Традиционно в этих конференциях, проводимых под эгидой российского отделения WiMAX-форума, участвуют ведущие мировые производители беспроводного оборудования, операторы, специалисты из многих компаний России и зарубежных стран. Поэтому данный форум – достаточно точный индикатор развития WiMAX-технологии, как в России, так и во всем мире. Представим наш взгляд на развитие этой технологии – безусловно, спорный и критикуемый.

Если смотреть на ситуацию с развитием WiMAX со стороны, то все выглядит неплохо. Действительно, основополагающие стандарты (IEEE 802.16-2004 и его дополнение IEEE 802.16e) опубликованы в 2004–2005 годах, с тех пор появилось оборудование нескольких десятков производителей, развернуты сети фиксированного доступа, началась WiMAX-сертификация оборудования фиксированного доступа, созданы уже четыре сертификационные лаборатории (открытие пятой ожидается к концу года). По данным WiMAX-форума, свыше 275 WiMAX-сетей развернуто более чем в 65 странах, абонентская база WiMAX выросла за год на 85%, Korea Telecom покрыла своей WiMAX-сетью 25% населения Южной Кореи. Сегодня в WiMAX-форуме 522 члена (70-кратный рост за пять лет), офисы в шести странах (Китай, Япония, Индия, Россия, Бразилия, Тайвань). Наконец, на очередной ассамблее ITU-R в октябре 2007 года WiMAX признан шестой технологией

IMT-2000 (IMT-2000 OFDMA TDD WMAN) в диапазоне 2,5 ГГц. То есть мы наблюдаем бурно стартующую технологию, подержанную (судя по членству в WiMAX-форуме) почти всеми крупнейшими производителями телекоммуникационного оборудования, элементной базы, операторами связи и т.п. Во главе WiMAX-движения – компания Intel. С ней плечом к плечу – Motorola, Samsung, Fujitsu и другие гиганты полупроводниковой (подчеркнем это обстоятельство) индустрии. Не менее показательно, что среди членов WiMAX-форума – производители СВЧ-полупроводниковых приборов (например, M/A-Com), СВЧ-разъемов (Huber+Suhner) и т.п. В WiMAX-форум сегодня входят практически все разработчики-производители элементной базы для телекоммуникационного оборудования (из ведущих там нет компаний Infineon и Qualcomm).

И пусть пока очень скромно выглядят показатели распространения новой технологии. По озвученным данным исследова-



дования, проведенного журналом "ИнформКурьер-Связь" под эгидой Российского отделения WiMAX-форума, в России всего около 45 тыс. абонентов сетей широкополосного беспроводного доступа (ШБД). Причем авторы исследования относят к этим системам только устройства, поддерживающие стандарт IEEE 802.16 различных версий, а также аналогичное по параметрам "фирменное" оборудование. И только в диапазонах 2,4–6,4 ГГц. За скобками остались все сети DECT, IEEE 802.11, SkyLink (cdma2000 в диапазоне 450 МГц) и т.д. А ведь именно в этих сетях, почему-то названных "узко- и среднеполосными", сосредоточена основная масса абонентов ШБД. По данным исследования, 45 тыс. абонентов ШБД-сетей обслуживают около 5 тыс. секторов базовых станций – в среднем 9 абонентов на сектор. В то же время, в России число абонентов сетей мобильной связи в середине 2006 года превысило 140 млн. человек, число пользователей Интернета (старше 18 лет) – свыше 28 млн. человек.

В мире ситуация несколько иная. Эксперты агентства Maravedis на сентябрь 2007 года во всем мире насчитывали порядка 1,5 млн. (по другим данным – 950 тыс.) абонентов ШБД. По оценкам аналитиков компании Roland Berger, таких абонентов 3–4 миллиона – видимо, весь вопрос, какое оборудование относить к ШБД? Среднее число абонентов в сети специализированного оператора ШБД – 18,2 тыс., в сети крупнейшего из них – Clearwire (США) – 232 тыс. абонентов. 52% сетей ШБД построены на фирменном оборудовании, 36% используют оборудование стандарта IEEE 802.16-2004 и 12% – стандарта IEEE 802.16e. На конец 2006 года в мире насчитывалось 2,685 млрд. абонентов мобильной связи, 1,132 млрд. пользователей Интернет.

В мире число пользователей ШБД (считаем, что всего их 1,5 млн.) составляет 0,13% от пользователей Интернета, в России – 0,16% (а именно Интернет-аудитория – потенциальные клиенты операторов ШБД). Следовательно, динамику развития технологий WiMAX в мире и России можно считать схожей.

С другой стороны, в устах многих аналитиков, представителей компаний-операторов, а также производителей оборудования – от легкого скепсиса до глубокого сомнения в глобальном успехе WiMAX. Действительно, WiMAX преподносился наиболее рьяными его адептами как будущее мобильной беспроводной связи (4G-технология). Но WiMAX-эйфория явно прошла. Все сходятся на том, что WiMAX-сети фиксированного доступа не будут иметь массового развития.

А в области мобильного доступа WiMAX есть мощные и реальные конкуренты в виде сотовой связи. Во всем мире, под давлением производителей, внедряются сети 3G. Но их сущность – это именно ШБД, резкое увеличение полосы пропускания. И в cdma2000-, и в WCDMA-сетях реализованы методы высокоскоростной передачи данных. В России, напри-

мер, cdma2000-оператор SkyLink уже сегодня предоставляет услуги доступа в Интернет со скоростью свыше 150 Кбит/с (а в зоне действия технологии EV-DO – до 2400 Кбит/с). Но наиболее грозный соперник WiMAX – это семейство технологий высокоскоростного пакетного доступа (High-Speed Packet Access – HSPA) в сетях WCDMA. Сегодня развиваются две составляющие этой технологии – HSDPA и HSUPA. Буквы D и U в аббревиатурах обозначают нисходящий (Downlink) и восходящий (Uplink) каналы. HSDPA предусматривает ряд скоростей передачи данных 1,8; 3,6; 7,2 и 14,4 Мбит/с, HSUPA – 5,76 Мбит/с. Заметим, речь идет о конечном пользователе.

Технологии HSPA пророчат большое будущее. Так, по прогнозам компании Roland Berger к 2011 году ей будет принадлежать 70% всего рынка широкополосного доступа (как проводного, так и беспроводного), при этом доля WiMAX составит от 5 до 8%. А сам рынок в 2011 году, по мнению аналитиков Roland Berger, составит 1,266 млрд. абонентов. Сейчас же компания оценивает рынок широкополосного доступа в 286 млн. абонентов (из них 65,6% подключены к сетям xDSL, 22,3% – к кабельным сетям, 10,6 – к пассивным оптоволоконным сетям доступа и лишь 1,5% – к сетям ШБД, из которых на долю сетей стандарта IEEE 802.16 приходится 1,1%).

По данным агентства Garther, за второй квартал 2007 года было продано свыше 4 млн. телефонов с поддержкой HSDPA (12% от всех проданных WCDMA-телефонов). А ведь их продажи начались примерно в середине 2006 года. К концу же 2007 года аналитики Garther предрекают, что будет продано 4,5 млн. HSPA-модемов (ПК-карты, USB-модемы и др.). В июле 2007 года на рынке было представлено 311 моделей HSPA-устройств (в том числе 137 моделей телефонов и 51 – ноутбуков). По данным ассоциации GSA ([www.gsacom.com](http://www.gsacom.com)), на октябрь 2007 года HSPA-технология поддерживалась в 147 из 182 сетей WCDMA в 69 странах, причем в 19 сетях реализована высокоскоростная технология в восходящем канале (HSUPA), а в 25 сетях обеспечивается скорость в нисходящем канале (HSDPA) 7,2 Мбит/с. Причем стоимость услуг таких сетей невелика даже по российским меркам. Например, оператор Vodafone с июня берет с пользователя в Голландии 9,5 евро, в Германии – 9,95 евро при лимите 120 Мбайт/мес.

А не за горами – новые технологии высокоскоростной передачи данных на базе сотовых телефонных сетей. Речь идет о технологии, которую сегодня называют LTE – long term evolution, проект долгосрочного развития (ее аналог в сетях cdma2000 – UMB). Фактически это – следующий этап развития сетей UMTS. LTE, точнее – технология High Speed OFDM Packet Access (HSOPA), подразумевает использование принципов OFDMA (в нисходящем канале), MIMO и другие особенности, предельно приближающие ее к технологиям, описанным в стандарте IEEE 802.16. Предполагается гибкое



изменение доступной пользователю полосы пропускания (от 1,25 до 20 МГц), скорость передачи данных в нисходящем канале – 100 Мбит/с, в восходящем – 50 Мбит/с (при 20-МГц полосе). Экспериментальные системы уже демонстрируют именно такую спектральную эффективность. Отметим, что японский оператор NTT DoCoMo планирует запустить сеть с поддержкой HSOPA уже в 2010 году.

Получается, что уже через 3–4 года WiMAX может лишиться всех своих преимуществ, даже с учетом возможного появления нового стандарта IEEE 802.16m (речь идет о скоростях порядка 100 Мбит/с для мобильного и 1 Гбит/с для фиксированного доступа). Тем более, что сегодня показатели действующих WiMAX-сетей выглядят достаточно скромно. Как правило, реальное оборудование в условиях прямой видимости работает в радиусе 3–5 км от базовой станции, при этом скорость на сектор – не более 10 Мбит/с. При отсутствии прямой видимости радиус действия существенно падает. Сразу оговоримся, речь идет о неких усредненных реальных условиях. Это напоминает среднюю температуру по больнице, но все же...

С другой стороны, WiMAX "подпирают снизу" сети, использующие оборудование стандартов пула IEEE 802.11 (a/b/g). Ведь это за рубежом Wi-Fi-диапазоны 2,4 и 5 ГГц – лицензируемые. В России такое понятие отсутствует, здесь фактически любая радиосеть беспроводного доступа может считаться "сетью операторского класса". При существующей плотности абонентов ШБД (9 на сектор базовой станции) преимущества IEEE 802.16 перед IEEE 802.11 проявиться не могут. А скорости доступа (и методы работы на физическом уровне) у этих технологий вполне сопоставимы (IEEE 802.11n декларирует скорости до 600 Мбит/с). Конечно, технологии, заложенные в IEEE 802.16, объективно лучше – гибче, эффективнее, более масштабируемы и т.д. Но вот есть ли реальные возможности для проявления этих достоинств (например, достаточный частотный ресурс у оператора)? А самое главное, огромное преимущество Wi-Fi – дешевые и разнообразные абонентские терминалы. Wi-Fi-модули встроены в сотовые телефоны, КПК, ноутбуки. Компьютерная карта Wi-Fi-модема стоит порядка 10–15 долл. Сети чрезвычайно распространены. Зачем их пользователю WiMAX? А с появлением Mesh-сетей стандарта IEEE 802.11s эта технология если и не обретет мобильность, то уж поддерживать перемещающихся (номадических) абонентов сможет без проблем. А нужна ли реальная мобильность для ШБД (т.е. возможность непрерывной и беспробойной работы при переходе из зоны действия одной базовой станции в другую), большой вопрос.

Наконец, важнейшая проблема WiMAX-технологий, о которой много говорят – и в прессе, и на прошедшей конференции – это отсутствие дешевых абонентских устройств. Цены на них называют разные – в среднем 200–400 долл. минимум. Советник генерального директора по новым технологиям компании Synterra Д.Гуркин сказал о намерении

компании поставлять абонентские устройства по ценам порядка 50 долл. Но уже очевидно, что если WiMAX-сети только фиксированного доступа развиваться не будут, терминальное оборудование для них дешеветь также не будет. А по словам Ю.Писарева, главного эксперта компании InfiNet Wireless (крупнейший отечественный производитель оборудования ШБД, 38% российского рынка), разница в себестоимости базовой станции и терминального устройства (видимо, при существующих объемах их выпуска) весьма незначительна, лишь в два-три раза.

Еще один важнейший вопрос – частотный ресурс. WiMAX-форум специфицирует WiMAX-профили в диапазонах 3,4–3,6 ГГц для мобильного и фиксированного доступа, 2,3–2,7 ГГц для мобильного и 5,8 ГГц – для фиксированного доступа. Сертификация оборудования началась только в диапазоне 3,5 ГГц для фиксированного доступа. Видимо, в 2008 году начнется сертификация мобильного оборудования (2,3–2,7 ГГц). Но в России диапазон 2,5 ГГц отнюдь не свободен. В нашей стране 85% сетей ШБД сосредоточено в 5-ГГц диапазонах, которые пока WiMAX-форум не намерен включать в свои профили. А возможный диапазон 700 МГц (актуален для Индии, возможно – для США) в России прочно занят цифровым ТВ. С другой стороны, по заявлениям регионального директора WiMAX-форума в России С.Портного, проблема частотного ресурса в России хоть и специфическая, но вполне решаемая.

Наконец, никто не может назвать внятной бизнес-модели развития WiMAX-сетей в России (да и в мире). Все сходится на том, что WiMAX в нашей стране уготована участь нишевой технологии – т.е. эффективной в отдельных узких областях, но не способной занимать глобальный сегмент рынка.

Но все ли так мрачно? Прежде всего, разберемся в терминологии. Очень многие в своих публикациях и выступлениях пользуются терминами "мобильный WiMAX", "фиксированный WiMAX", стандарт "IEEE 802.16d фиксированного доступа", "IEEE 802.16e мобильного доступа" и т.д. Но в природе не существует – и никогда не существовало – стандарта 802.16d. Примерно под таким именем была черновая версия (IEEE 802.16REVd), ее никто не утверждал и жила она под этим именем меньше года. В окончательном варианте появился стандарт IEEE 802.16-2004, объединивший все существовавшие до этого версии (IEEE 802.16, IEEE 802.16a и IEEE 802.16c). Почему это важно? Да потому, что в стандарте IEEE 802.16-2004 описаны все три основные базовые технологии: одночастотного доступа (SC), OFDM-модуляции с TDMA (OFDM) и мультиплексирования на основе OFDM (OFDMA). Через год появилось дополнение к нему – IEEE 802.16e. В нем описаны, в том числе, дополнительные функции, необходимые для обеспечения мобильности (режимы энергосбережения, хэндовер и т.п.). Самая важная особенность IEEE 802.16e – это масштабируемая OFDMA, т.е. в зависимости от реальной ширины полосы пропускания базовая станция

может использовать не все 2048 номинальных поднесущих, а 1024, 512 и т.д. Но ни сам по себе стандарт 802.16-2004, ни его расширение 802.16e не являются ни фиксированным, ни мобильным. Это всего лишь набор технологий – разнообразных, мощных и гибких – для построения радиосетей широкополосного доступа.

Самый сложный элемент WiMAX-оборудования – это специализированный сетевой процессор (СБИС), реализующий протоколы стандарта IEEE 802.16-2004 и 802.16e. Он мало зависит от частотного диапазона. При современном уровне интеграции на одном кристалле можно поддержать OFDM- и OFDMA-режимы, частотное/временное дуплексирование (FDD/TDD) и т.д. С принятием стандарта 802.16e-2005 производители смогли приступить к разработке таких СБИС. Так, Intel уже производит СБИС WiMAX Connection 2250. Все это к тому, что на уровне чипсетов и стандартов радиосети дилеммы "мобильный-фиксированный" не стоит. И с появлением 802.16e революции не произошло.

Другой вопрос – направленность технологии. Вспомним, когда только начались разговоры о стандарте ШБД (будущем IEEE 802.16), всем представлялась весьма стройная картина беспроводного мироустройства: в зонах до 10–15 м действуют персональные беспроводные сети (стандарты группы IEEE 802.15: Bluetooth, ZigBee и т.д.), далее в пределах офиса/дома/квартиры – локальные сети (IEEE 802.11 Wi-Fi), а доставка трафика к ним на уровне города реализована посредством технологий MAN IEEE 802.16. Сотовым сетям отводилась роль голосовых сервисов. Жизнь решительно внесла свои коррективы. С одной стороны, Wi-Fi-сети, обретая QoS (IEEE 802.11e), mesh-технологии (IEEE 802.11s), средства обеспечения безопасности (IEEE 802.11i), становятся (стали) сетями операторского класса, особенно при работе вне Wi-Fi-диапазонов частот. С другой стороны, сотовые технологии превращаются в технологии ШБД. Где тут место массовым приложениям WiMAX?

Стандарты IEEE 802.16 описывают только физический и MAC-уровни радиосети, чего совершенно не достаточно для построения сети ШБД. Труд формирования полного набора необходимых для этого спецификаций взял на себя WiMAX-форум. Именно его рабочие группы вырабатывают единые протоколы и принципы построения опорной наземной сети (без чего о хэндовере, следовательно – о мобильности, говорить не приходится), единые диапазоны и полосы частот и конкретные правила работы в них (режимы мультиплексирования, методы OFDM или OFDMA и т.д.). Совокупность этих требований составляет так называемый WiMAX-профиль.

Но вот что странно – все говорят о неактуальности сертифицированных сетей фиксированного доступа, а WiMAX-форум только в этом году начал сертификацию оборудования фиксированного доступа (когда уже действует свыше 200 сетей). Зачем? Яркий (но не единственный) пример – заявление компании InfiNet Wireless о "концентрации усилий в пер-

спективных для фиксированного ШБД диапазонах 5,15–5,25 и 5,65–6,44 ГГц". То есть в диапазонах, не входящих в WiMAX-профили. Напомним, это говорит член WiMAX-форума, крупнейший в стране производитель ШБД-оборудования, 1/3 продукции которого поставляется в 20 стран мира. То есть никакая WiMAX-сертификация ни этой компании, ни ее клиентам не нужна, в дешевое оборудование в интересующих их диапазонах они не верят – и правильно. Аналогичных взглядов придерживаются и другие производители. Зачем же тогда вообще заниматься WiMAX-сертификацией оборудования фиксированного доступа? Видимо, чтобы просто начать деятельность по сертификации, поскольку стратегический интерес WiMAX-форума – именно мобильный ШБД.

Произошла подмена целей – вместо опорной сети доступа для операторов и крупных клиентов (крупный офис, многоквартирный дом, бизнес-центр и т.п.) технологию 802.16 переориентировали на персонального клиента – пользователя с ноутбуком, КПК, коммуникатором и т.п. Это и есть мобильный WiMAX, идеологически ничего общего с фиксированным WiMAX не имеющий. Хотя и опирающийся на одну с ним технологию – IEEE 802.16. Мы наблюдаем явно выраженную атаку со стороны WiMAX-форума на поле, принадлежащее сегодня операторам сотовой связи и, в меньшей степени – фиксированного ШБД класса Wi-Fi/DECT – на поле персонального доступа.

Разумеется, с таким раскладом совсем не согласны сотовые компании. Зачем им конкурент в лице WiMAX? То, что эта технология признана шестой в пуле IMT-2000, еще ни о чем не говорит. В том же пуле – и DECT. Кто сейчас серьезно рассматривает эту технологию как средство построения сетей ШБД? Это типичное нишевое решение. Тем более что технологии OFDMA стандарта IEEE 802.16 чрезвычайно похожи на технологии LTE, поэтому вряд ли их технические параметры будут существенно различаться. У сотовых операторов во всем мире свыше 2600 млн. абонентов. У операторов всех видов широкополосного профиля – менее 300 млн., а беспроводного – и вовсе 1–4 млн. Заметит ли слон такую муху, и почему он проявляет сегодня беспокойство?

Слушая различные выступления на конференции, было трудно отделаться от мысли, что перед собравшимися (а в глобальном масштабе – перед всем миром) разыгрывается некий спектакль, в котором заранее известна развязка, герой и проигравшие. Действительно, зачем нужен WiMAX-форум с его мобильностью, если уже есть Wi-Fi и сотовые технологии? Такой вопрос некорректен, правильнее спросить, кому нужен WiMAX? Ответ очевиден – компании Intel. Этот безальтернативный гигант рынка массовой высокотехнологичной продукции лет 10 назад решил занять свое место на рынке телекоммуникаций. Но он на него опоздал – технологии сотовой связи и Wi-Fi уже стали доминирующими стандартами, все решения в них патентованы (а именно с авторских прав и получают компании основную прибыль на этом



рынке). Intel там ловить было нечего. И тогда этот монстр решил создать свой рынок – рынок оборудования мобильного Интернета, рынок WiMAX. Для этого и был создан WiMAX-форум в 2001 году (заметим, в год утверждения первой версии стандарта IEEE 802.16), в котором с самого начала доминировал Intel.

Именно Intel ведет атаку на поле персонального доступа. И нельзя сказать, что безуспешно. Такой гигант в одиночку способен перекроить телекоммуникационный мир под свои вкусы, поставив на рынок любую воображимую элементную базу по любым (подчеркнем это) ценам. Intel уже приступил к производству чипсетов для WiMAX-оборудования (карты для ноутбуков). А ведь на момент появления первой серийной микросхемы можно считать, что ее разработчику все последующие обходятся по цене корпуса (практически даром) – все деньги уже вложены в разработку, запуск и отработку пробной партии и серии. Потрачены сотни миллионов, если не миллиарды долларов. Что по сравнению с этим произведет миллион-другой чипов? А с освоением технологий уровня 45 нм что стоит в каждый чип центрального процессора для ПК интегрировать WiMAX-процессор? Может, это уже и происходит, только мы об этом ничего не знаем. Захоти Intel, на рынке может вовсе не остаться центральных процессоров для ПК без поддержки WiMAX. А ведь кроме Intel, в WiMAX-технологии вложились Motorola, Samsung, Alcatel-Lucent и др. гиганты-производители. Подчеркнем – уже вложились. И если у них разработан продукт, они непременно начнут его тиражировать. Операторам же, как и пользователям, все равно – WiMAX это или LTE, лишь бы дешевле и надежнее.

На примере 3G мы наблюдали, как казалось бы, никому не нужная технология под давлением производителей становится рыночной реальностью. Сегодня в мире WiMAX происходит нечто подобное. Когда на рынке начнут появляться ноутбуки с никому не нужными – пока – WiMAX-картами (да-

ром), а за ними – и терминалы пользователей, например, с совмещенными картами WiFi-WiMAX, операторы поневоле обратятся к новой технологии. Собственно, это уже свершилось – с 2008 года Intel намеревается производить двухсистемные WiFi-WiMAX-модули (кодовое название Echo Peak). И сможет ли Ericsson с Qualcomm и иже с ними противостоять Intel'у – очень большой вопрос. По ценам точно не сможет. Несмотря на всю логичность развивать сети ШБД на основе сетей сотовой связи. Видимо, не случайно в WiMAX-форум входят многие объективные конкуренты данной технологии, например, Motorola, Siemens и Broadcom. Это страховка на случай победы Intel, диверсификация "инвестиционного портфеля".

И при всем явно выраженном отсутствии бизнес-моделей развития WiMAX, о котором так много говорят сегодня бизнес-аналитики, одна модель все же усматривается: компания Intel начинает производить WiMAX-чипсеты, и все переходят на эту технологию. Поскольку решение оказывается в разы дешевле любого существующего. И самая большая ошибка – пытаться при анализе перспектив WiMAX отталкиваться от сегодняшних цен. Пока в игру по-крупному не вступили игроки класса Intel, эти цены ни о чем не говорят.

Поэтому несмотря на все неблагоприятные прогнозы, отсутствие ясных перспектив и пессимизм аналитиков, WiMAX рано списывать со счетов и хоронить под вывеской "нишевая технология". Ведь сегодня Intel – это отдельная, внеэкономическая действующая сила, как тот лесник из эпитафии. Можно допустить, что к 2011 году 70% рынка широкополосного доступа будет принадлежать HSPA-технологиям. Но точно так же возможно, что к 2014 году доминировать на рынке будет WiMAX. Если, конечно, к этому времени не завершится монополия Intel как лидера полупроводниковой индустрии – а вы в это верите?

## НОВЫЕ КНИГИ

### ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"

**Динамика радиоэлектроники / Под общ. ред. Ю.И. Борисова. – М.: Техносфера, 2007. – 400с. + цв. Вклейка ISBN 978-5-94836-142-0, цена 275 руб.**

**Издание осуществлено при поддержке Управления радиоэлектронной промышленности и систем управления Роспрома**

Книга содержит материал о динамике развития радиоэлектроники – одной из наиболее важных составляющих научно-технического прогресса общества, во многом определяющей его социальные и оборонные возможности. Материалы книги подготовлены группой ученых и инженеров, непосредственно принимавших участие в исследованиях, разработках, испытаниях и применении изделий электронной техники и радиотехнической аппаратуры.

Для читателей, интересующихся созданием и развитием отечественной радиоэлектроники и условиями, в которых проходило ее становление в СССР.

#### Как заказать наши книги?

По почте: 125319 Москва, а/я 594

По тел./факсу: (495) 956-3346, 234-0110

E-mail: knigi@technosphera.ru; sales@technosphera.ru