



Издаётся с 1924 года

РАДИО®

12•2025

МАССОВЫЙ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ

ЖУРНАЛ

"Радиолюбитель" - "Радиофронт" - "Радио"

"Radio" is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

АНО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «РАДИО»

Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.

Регистрационный ПИ № ФС77-82030

Главный редактор В. К. ЧУДНОВ

Редакционная коллегия:

А. В. ГОЛЫШКО, А. Н. КОРОТОНОШКО, К. В. МУСАТОВ,
И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора), Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ,
С. Л. МИШЕНКОВ

Выпускающий редактор: С. Н. ГЛИБИН

Обложка: В. М. МУСИЯКА

Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА

Корректор: Т. А. ГЛИБИНА

Адрес редакции: 129090, Москва, Протопоповский пер., 25, к. Б

Тел.: (495) 607-31-18.

E-mail: ref@radio.ru

Приём статей — e-mail: mail@radio.ru

Отдел рекламы — (495) 607-31-18; e-mail: advert@radio.ru

Распространение — (495) 607-31-18; e-mail: sale@radio.ru

Подписка и продажа — (495) 607-87-39

Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:
получатель — АНО "Редакция журнала "Радио", ИНН 7708187140,
р/сч. 40703810538090108833

Банк получателя — ПАО Сбербанк г. Москва

корр. счт 30101810400000000225 БИК 044525225

Подписано к печати 24.11.2025 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.

Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.

В розницу — цена договорная.

Подписной индекс:

Официальный каталог ПОЧТА РОССИИ — П4014;

КАТАЛОГ РОССИЙСКОЙ ПРЕССЫ — 89032.

За содержание рекламного объявления ответственность несёт
рекламодатель.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последствия использования опубликованных материалов, но принимает меры по исключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в известность автора. При этом редакция получает исключительное право на распространение принятого произведения, включая его публикации в журнале «Радио», на интернет-страницах журнала или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом месте без предварительного письменного согласия редакции.

В переписку редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

© Радио®, 1924—2025. Воспроизведение материалов журнала «Радио», их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати»

142100, Моск. обл., г. Подольск, Революционный проспект, д. 80/42.

Зак. 02972-25 .



Компьютерная сеть редакции журнала «Радио» находится под защитой Dr.Web — антивирусных продуктов российского разработчика средств информационной безопасности — компании «Доктор Веб».

www.drweb.com

Бесплатный номер службы поддержки в России:

8-800-333-79-32

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»

RINet

БЛИЖЕ К ЛЮДЯМ

Телефон:

+7(495)981-4571

E-mail:

info@rinet.ru

Сайт:

www.rinet.ru

О вкусной и здоровой пище

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

"Вам нужно быть немного циничными по отношению ко всему этому циклу хайпа в технологической индустрии".

Линдус Торвальдс

Каждая промышленная революция начиналась с открытия нового источника энергии, питаясь вначале от парового двигателя, потом электричеством и далее энергией атома. В Индустрии 4.0 таким новым источником энергии предложено считать собираемые по всей планете большие данные (Big Data), которые обрабатываются революционным искусственным интеллектом (ИИ). Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что с четвёртым источником энергии что-то не то, потому что революция в сфере ИИ также во многом зависит от всё тех же предыдущих источников энергии, напрочь отказываясь от питания исключительно данными, хоть и большими.

Тем не менее, вне зависимости от способа питания на первый план сегодня вышел ИИ, для обучения которого уже используются суперкомпьютеры, представляющие собой кластеры машин в виде объединения нескольких связанных между собой мощных серверов, функционирующих как единый вычислительный ресурс. Всё это могущество располагается в центрах обработки данных (ЦОДах) и невероятно быстро прогрессирует. Главное назначение ЦОДов — создание необходимой среды для размещения серверов, в том числе обеспечения постоянного охлаждения устройств, отвода лишнего тепла, защиты систем от негативного воздействия окружающей среды и, конечно, бесперебойного электроснабжения оборудования. ЦОДы, с одной стороны, сдают в аренду своё серверное оборудование, с другой — предоставляют услуги по обработке и управлению критически важной информацией. Чтобы моментально обрабатывать большие объёмы данных, ЦОДам нужна мощная инфраструктура и надёжный, бесперебойный доступ к энергии.

В последние годы вслед за ростом объёма больших данных стремительно увеличивается и количество ЦОДов. Объём рынка данных в мире растёт в среднем на 20 % в год, рынок ЦОДов в зависимости от региона — на 10...20 %, иногда на 30 % в год, как оценивают его в Ассоциации участников отрасли ЦОД. Объём вычислений постоянно увеличивается и требует более мощных процессоров и серверов.

Не так давно графический процессор Blackwell от Nvidia позволил более чем в 30 раз увеличить производительность ИИ. Тем не менее, даже самая революционная скорость имеет свои пределы, если для её обеспечения недостаточно средств (в данном случае энергии), а

наблюдаемый взрывной рост ИИ вскоре может упереться в "стену" энергетического дефицита.

Тем временем каждый ЦОД стабильно потребляет немало электричества. Причём порой даже больше, чем, например, алюминиевый завод. К слову, когда более 20 лет назад Google активно развивал свои серверные мощности, он выкупил алюминиевый завод в Аризоне и, выкинув оттуда оборудование, установил десятки тысяч серверов. И всё это — из-за подведённых электроэнергетических мощностей.

Пока на Северную и Южную Америки приходится чуть более 50 % мощности, измеряемой по потреблению электроэнергии, на Азию приходится чуть менее 30 %, а на Европу, Ближний Восток и Африку — оставшиеся 20 %. В США с 2018 г. по 2023 г. потребление электроэнергии ЦОДами поднялось почти на 80 % — с 73 ТВт·ч до 130 ТВт·ч.

Ныне мировые центры обработки данных (ЦОД) уже потребляют более 1 % всей электроэнергии планеты. Прогнозируется, что к 2028 г. спрос на ИИ, а соответственно и на питание для него, утроится. В США спрос на электроэнергию со стороны ЦОДов к концу этого десятилетия вырастет в четыре раза (по сравнению с 2023 г.). И это произойдёт не из-за майнинга биткоинов, не из-за электромобилей, а из-за развития генеративного ИИ и организации хранения облачных данных (для подпитки ИИ). Прогнозируемый в связи с этим показатель в 606 ТВт·ч спроса на электричество только на первый взгляд выглядит фантастикой. В общем, ЦОДы становятся самой энергоёмкой отраслью экономики.

Согласно данным исследования Grand View Research в 2024 г., объём глобального рынка систем питания для ЦОДов составил 20,21 млрд долл. Тем временем нагрузка на ЦОДы повышается на фоне стремительного развития ИИ и продолжающейся цифровой трансформации предприятий, которая сопровождается активным переносом рабочих процессов в облако. При этом даже незначительный сбой питания может привести к существенным финансовым потерям. Поэтому операторы ЦОДов инвестируют значительные средства в резервные системы электропитания и инструменты мониторинга потребления энергии в реальном времени для повышения надёжности. Наблюдается также соответствующий рост продаж резервных источников питания.

А тем временем ЦОДы требуют всё больше и больше электричества, необходимые

объёмы которого не каждый регион мира может выработать как сегодня, так и в ближайшем будущем, и это серьёзная проблема. ЦОДы остаются очень энергоёмкими. Если для гражданского строительства мощность 5 МВт является значительной, то для крупных игроков рынка ЦОД минимальной является мощность в десять раз больше. ИТ-оборудование становится всё более энергоёмким: если раньше клиентам была достаточна мощность 5 кВт на стойку, то сейчас всё большее число клиентов просят мощности от 10 кВт на стойку.

К тому же, как говорят эксперты, инфраструктура, построенная для классических вычислительных сред, не может обеспечить необходимого электропитания и охлаждения для серверов нового поколения, поясняет эксперт. ЦОДы, спроектированные 5—10 лет назад, не имеют технологической возможности по размещению высоконагруженных платформ ИИ с потреблением до 50 кВт на стойку. Очевидно необходимо строить новые ЦОДы, которые ожидаемо будут иметь соответствующее потребление энергии.

В исследовании S&P Global Market Intelligence говорится, что в настоящее время в США расположено примерно 38 % действующих в мире ЦОДов. Однако уже сейчас потребность в дополнительной сетевой инфраструктуре привела к задержкам в сроках строительства ЦОДов на ключевых проектах, которые реализуются в Северной Вирджинии и Кремниевой долине. Как пишет издание The Economist, только по итогам прошлого года крупнейшие ИТ-корпорации США Alphabet, Amazon и Microsoft вложили в ЦОДы 180 млрд долл., а по данным Goldman Sachs, к концу года ИИ занимал в них десятую часть мощностей.

Компания American Electric Power Co. (AEP), одна из крупнейших энергетических компаний в стране, у которой есть клиенты в 11 штатах, недавно сообщила инвесторам, что у неё нет свободных мощностей для энергоснабжения новых ЦОДов.

В WoodMac были опубликованы данные, основанные на отчётах Минэнерго США, в которых предсказывается, что к 2050 г. мощности ядерной энергетики страны могут увеличиться в три раза, с нынешних 100 ГВт до 300 ГВт. Для сравнения: общая мощность всех АЭС мира составляет около 400 ГВт, а одна АЭС по классификации МАГАТЭ имеет мощность в среднем от 300 до 700 МВт. Конечно, это не отменяет наличия отдельных АЭС мощностью 3...4 ГВт и более, но в среднем в мире мощность

одной такой электростанции не доходит даже до 1 ГВт. Это означает, что добавить к имеющимся атомным мощностям США 200 ГВт — задача грандиозная. И за ней во многом стоит развитие ИИ. Возможно ли построить такое число АЭС к 2050 г., покажет время. Однако в настоящее время американские политики и компании из сферы энергетики не анонсируют каких-либо масштабных программ в данной области. Есть лишь программа, которая должна добавить к 2035 г. дополнительные 35 ГВт новых мощностей АЭС. Но пока это на бумаге.

По данным McKinsey, к 2030 г. спрос энергии для ЦОДов в Европе вырастет примерно до 35 ГВт. Кстати, по состоянию на конец 2024 г. объём потребления энергии для ЦОДов составлял 10 ГВт. Аналитики из McKinsey уверены, что для удовлетворения нового спроса для ИТ-инфраструктуры потребуется 250...300 млрд долл. инвестиций, не считая затрат на установку дополнительных мощностей по производству электроэнергии. Причём АЭС в Европе, в отличие от цивилизованного мира, не строят, а закрывают. В связи с этим интересно, откуда в ЕС будут брать эту дополнительную энергию, учитывая, что сейчас ЕС с трудом справляется с оплатой сжиженного природного газа на спотовом рынке. А ведь газ — это самое простое решение для увеличения выработки электричества. Уголь и мазут — это страховка на чёрный день во избежание блэкаутов, хотя главенствующие в Европе экологи их "любят" не больше, чем АЭС.

При этом, если темпы внедрения ЦОДов сохранятся на текущих уровнях, потребление электроэнергии в Европе вырастет почти в три раза, примерно с 62 ТВт·ч сегодня до более чем 150 ТВт·ч к 2030 г. Так что в итоге?

"Каждый центр обработки данных будущего будет иметь ограниченное энергопотребление", — об этом весной 2025 г. человечество предупредил генеральный директор NVIDIA Джонсон Хуан. Поэтому прежде, чем заявлять о лидерстве в области ИИ над всем миром, неплохо бы иметь неограниченный источник питания.

Из всего сказанного выше следует:

— чем сильнее человечество увлекается ИИ, тем быстрее приближается к энергетическому кризису;

— уже в ближайшем будущем лидерами на рынке могут стать компании, занимающиеся решением указанных энергетических проблем;

МУЖОЧКАТАН

НОВЫЙ
СЕЗОН



— ЦОДам понадобится доступ к относительно дешёвой, надёжной и практически неограниченной энергии, которую вряд ли кто-нибудь сможет предоставить.

Ну а возобновляемая энергия с её зелёными источниками в ближайшее время вряд ли сможет заменить "пищу" для ИИ в мировой энергетике, что бы ни говорили на эту тему теоретики так называемой "Четвёртой промышленной революции". Заметим, что точно также трудно представить себе доменные печи и алюминиевые заводы, питаемые от ветряков и солнечных панелей. Рваная по времени генерация на основе возобновляемых источников энергии в лице солнечных панелей и полностью зависимых от ветра ветряков неспособна стablyно снабжать крупные информационные центры электроэнергией. Дело в том, что зависимость потребления энергии от времени практически любого ЦОДа — это ровная монотонная линия. Вот и получается, что самый лучший вариант генерации электричества для ЦОД — это АЭС.

Соответственно, на повестку дня вновь встаёт вопрос о ядерной энергии, мирном атоме и их роли в Индустрии 4.0. О том, что пока американцы навязывали остальному миру "зелёную повестку", их собственные разработки ИИ питались и продолжают питаться низкообогащённым ураном, свидетельствует следующее.

Если изобразить на карте США расположение крупнейших ЦОДов и АЭС, нетрудно убедиться, что есть АЭС — есть ЦОД. А если нет АЭС, о развитии ИИ можно только bla-bla-bla про "зелёную повестку". При этом, что важно, ЦОДы потребляют электроэнергию не только в очень больших объёмах, но и стablyно, то есть так, как, в свою очередь, любят атомщики.

Впрочем, не атомной энергией единой. В США быстрее и проще для питания ЦОДов можно было бы использовать газ, которого там достаточно. В свою очередь, в другом центре развития ИИ, Китае, быстро строят не только АЭС, газовые, но и угольные электростанции. При этом ведётся активная установка новых солнечных панелей и ветряков. То есть КНР старается грамотно балансировать при увеличении числа объектов, вырабатывающих электроэнергию.

Проблема для США и ЕС в том, что сегодня американцы и европейцы разучились строить атомные энергоблоки и АЭС в целом в разумные сроки и по разумным ценам. Это же относится и к японцам (Фукусима — лишь один из примеров). Получается, что построить АЭС быстро и дёшево

могут только русские или китайцы. Нечто похожее имеет место и в случае с добычей и обогащением урана. При этом КНР в настоящее время строит АЭС и ЦОД буквально стахановскими темпами.

Многолетняя необдуманная политика и игры в зелёную энергетику бесследно не проходят. Свидетельство тому не только аппетиты ИИ, который нужно срочно чем-то напитывать, но и растущий энергетический кризис в самих США, где наблюдается дефицит АЭС. К тому же существующие американские атомные станции — одни из самых старых в мире, и, как считают некоторые специалисты, их было бы лучше просто снести, а не кормить ИИ ураном. Во всяком случае, это было бы безопаснее для всех.

Ну хорошо, пускай есть энергетический дефицит, но ведь всегда есть и нерациональное потребление. ЦОДы сталкиваются с различными проблемами в сфере энергетики, которые также связаны с неэффективным потреблением ресурсов и законодательными ограничениями.

Вот некоторые аспекты неэффективного потребления энергии в ЦОДах, с которыми приходится бороться их операторам:

— простаивание серверов — компании приобретают больше оборудования, чем требуется для обслуживания клиентов, и ресурсы оказываются не задействованы полностью;

— неэффективные системы охлаждения — традиционные кондиционеры и чиллеры потребляют много энергии, а альтернативные методы, такие как фрикулинг (использование наружного воздуха) или жидкостное охлаждение, менее эффективны;

— потери энергии, например, при подводе к нагрузке или в блоках питания ИТ-оборудования.

Учитывая сказанное выше, согласно прогнозам Marc Ganz (DigitalBridge), проблемы с энергоснабжением ожидаются в ближайшие 24 месяца. Более того, в США и Европе уровни резервных мощностей для сетей электропередач уже находятся на критических отметках, в США — менее 7 ГВт, в Европе — менее 3 ГВт. Эта ситуация объясняется ограничениями в передаче энергии, что делает построение новых линий электропередач и подстанций крайне сложным процессом. А это, в свою очередь, ставит под угрозу дальнейшее расширение ЦОДов, которые уже требуют более значительных объёмов энергии. Причём проблема остро стоит не только в крупных городах, но и в регионах, где выделения энергетических мощностей и присоединения приходится ждать годами.

Отдельный вопрос — какой вред использование ЦОДами электроэнергии наносит природе, особенно если энергия поступает от традиционных углеводородных источников. Также всё зависит от того, какие источники энергии используются для питания ЦОДов. Если ЦОДы работают на производимой угольными и газовыми электростанциями энергией, они вносят свой вклад в выбросы CO₂, что негативно сказывается на качестве воздуха и экосистемах. Охлаждение серверов влечёт значительные объёмы использования воды (к примеру, для охлаждения ИИ могут применяться сотни тысяч литров воды) и, как следствие, проблемы с водоснабжением, а использование неэкологичных источников энергии ведёт к загрязнению воздуха или почвы. Кроме того, применение редких ресурсов, таких как литий, кобальт и редкоземельные металлы, — отдельный вред экосистеме.

Что касается России, то эта сфера здесь пока не так развита, как, например, в США и Китае. Однако перед государством стоит задача достичь мирового технологического лидерства, причём не только в области ИИ, что невозможно без достаточного количества ЦОДов. Согласно оценке аналитической компании BusinessStat, за 2018—2022 гг. рынок ЦОД в России вырос более чем в 2,5 раза, до 87,4 млрд рублей. По расчёту компаний, в России работает более 80 коммерческих ЦОДов. Среди крупнейших — ЦОДы "Ростелекома", IXcellerate, DataPro, Selectel.

В этом году в России обсуждается возможность законодательно закрепить право ЦОДов подключаться напрямую к магистральным электросетям — Единой национальной энергетической сети (ЕНЭС). Это позволит повысить надёжность энергоснабжения и снизить затраты на передачу электроэнергии.

Минцифры России признаёт ключевое значение ЦОДов и реализует ряд мер для поддержки отрасли. В их числе — подготовка поправок, которые позволят операторам ЦОД получить льготный доступ к рынку электроэнергии, а также законопроект о регулировании деятельности ЦОД. В министерстве сообщили, что они не включали в текст "Энергетической стратегии" инициативы по прямому подключению ЦОДов. Однако вопрос о законодательном закреплении прямого доступа к магистральным сетям единой национальной электрической сети активно рассматривается в процессе подготовки закона-проекта "О связи".

Новый подход сулит и новые выгоды:

— снижение тарифов — передача электроэнергии через магистральные сети дешевле, чем через распределительные (к примеру, в Тюменской области разница достигает пятикратного размера);

— повышение надёжности — единая энергосистема обеспечивает стабильное энергоснабжение, что критично для ЦОДов;

— ускорение развития цифровой инфраструктуры — упрощение подключения может стимулировать рост числа новых ЦОДов.

Однако есть и противники этой инициативы. Ведь основная цель магистральных электросетей — обеспечить передачу энергии между объединёнными энергосистемами (ОЭС) и оптимизировать работу генерирующих объектов. Для обеспечения электроэнергией конечных потребителей, даже крупных или энергоёмких, существуют распределительные сети. Их экономические показатели сильно зависят от объёма переданной энергии, и возможность прямого подключения к магистральным электросетям уже привела к значительному снижению этого показателя. ЦОДы ничем не отличаются от любого промышленного потребителя с точки зрения процедуры технологического присоединения. Предоставление льгот для таких потребителей может предоставлять необоснованные конкурентные преимущества для отдельного вида экономической деятельности.

Ну а пока в России планируется ввод 106 ГВт новых генерирующих мощностей, включая объекты атомной, тепловой и возобновляемой энергетики. Об этом в мае сообщил вице-премьер России Александр Новак в авторской колонке для журнала "Энергетическая политика". К 2050 г. установленная мощность электростанций увеличится на 78 ГВт по сравнению с 2023 г. и составит 330 ГВт. Ввод новых объектов включит 26 ГВт гидроэлектростанций, гидроаккумулирующих, солнечных и ветряных станций, на 50 % больше, чем в 2023 г. Также намечено строительство 50 ГВт тепловых электростанций и 30 ГВт атомных энергоблоков, что эквивалентно приросту в 29 %. Доля атомной генерации в общей структуре производства электроэнергии вырастет до 25 %. Развитие энергетики предусматривает внедрение новых технологических решений, включая энергоблоки средней и малой мощности, а также запуск технологий замкнутого ядерного цикла. Так что Россия собирается сохранить ведущие позиции на мировом рынке атомной энергетики.

Не стоит забывать о том, что ЦОДы нужны не только для ИИ. В условиях развития облачных решений и технологий, а также перехода многих компаний на такие решения, можно ожидать появления новых технологий и инструментов, которые позволят оптимизировать работу ЦОДов, сократив их расходы электроэнергии без снижения эффективности.

Специальные тарифы на электроэнергию для ЦОДов могут быть введены в регионах с профицитом выработки. С соответствующим предложением выступил Председатель Правительства России Михаил Мишустин в начале июня 2025 г. Инициатива направлена на стимулирование развития отечественной инфраструктуры хранения и обработки данных, а также на привлечение инвестиций в строительство новых ЦОДов. По оценкам экспертов, рост вычислительных мощностей требует доступного и стабильного электроснабжения, особенно в условиях цифровизации промышленности и госсектора.

В условиях быстрого строительства новых ЦОДов меняются требования к энергоэффективности. Правительства и регулирующие органы по всему миру вводят более строгие правила по сокращению выбросов углерода, вынуждая операторов ЦОДов вкладывать деньги в экологически чистую энергетическую инфраструктуру. Такие инновации, как жидкостное охлаждение и управление питанием на основе ИИ, становятся необходимыми для достижения экологических целей.

Алгоритмы ИИ помогают в обеспечении в ЦОДах стабильного питания. Эти инструменты способны оценивать и прогнозировать потребляемую мощность, а полученные данные могут быть использованы для перераспределения нагрузки между оборудованием. Кроме того, ИИ помогает в обнаружении аномалий и оперативном устранении проблем в работе систем питания, благодаря чему снижается вероятность аварий и минимизируется время простоя. Управление электропитанием на основе ИИ может помочь оптимизировать работу систем охлаждения серверов, что, в свою очередь, приведёт к сокращению расходов на электроэнергию и повышению эффективности работы.

Меж тем "Системный оператор ЕЭС" сообщил, что установленная мощность электростанций России в начале 2025 г. составила 263,7 ГВт, а максимум потребления — 168,3 ГВт. То есть в целом стране дефицит электроэнергии вообще-то не грозит. При этом в ряде регионов, включая юг страны, Сибирь и Дальний

Восток, как раз наблюдается определённая нехватка мощностей. Однако суть в том, что это средние данные для всей страны, которая, как известно, очень велика, и пока на эти показатели не оказали влияние новые отечественные решения на базе ИИ. Будем надеяться, что вкусная и здоровая энергетическая "пища" придётся им по вкусу.

По материалам

<https://clck.ru/3MVsqi>,
<https://clck.ru/3MVsus>,
<https://clck.ru/3MVsyc>,
<https://clck.ru/3MYt6f>,
<https://clck.ru/3MYt9N>,
<https://clck.ru/3MYtDE>,
<https://clck.ru/3MYtFu>

Вышла в свет новая книга



Пестряков А. В., Константинов А. С. Тестирование радиооборудования телекоммуникационных систем. Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2025. — 164 с.: ил.
ISBN 978-5-9912-1136-9.

Изложены основные сведения о тестировании и терминология, используемая в данной области, даны основные сведения о радиоинтерфейсах и радиочастотных сигналах, применяемые в современных и перспективных телекоммуникационных системах. Наибольшее внимание удалено методам тестирования радиооборудования сетей сотовой связи 4G и 5G. Рассматриваются аспекты тестирования производительности сетей сотовой связи в целом. Приведено описание оборудования и программного обеспечения для проведения драйв-тестов радиосистем. Даны многочисленные примеры отчётов драйв-тестов в различных регионах, включающих измерения зоны покрытия радиосистем, картографирование и постобработку результатов для получения единых интегральных показателей качества функционирования систем сотовой связи.

Для студентов вузов, обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры по направлениям 11.03.02 и 11.04.02 — "Инфокоммуникационные технологии и системы связи", 11.03.01 и 11.04.01 — "Радиотехника", слушателей курсов в системе дополнительного образования при повышении квалификации, аспирантов и специалистов, занимающихся вопросами тестирования радиооборудования и мониторинга радиосистем.

Адрес издательства в Интернет
WWW.TECHBOOK.RU