

DOI: 10.17725/rensit.2023.15.021

Тенденции развития лабораторий испытания и сертификации антенных комплексов в составе оборудования телекоммуникационных систем 5G NR

Афонин И.А., Головин В.В., Тыщук Ю.Н., Поляков А.А., Слезкин Г.В.

Севастопольский государственный университет, <http://www.sevsu.ru/>

Севастополь 299053, Российская Федерация

E-mail: ilafonin@mail.sevsu.ru, vgolovin@mail.sevsu.ru, yntysbcbuk@mail.sevsu.ru, alpolyakov@mail.sevsu.ru, gvslezkin@mail.sevsu.ru

Поступила 19.12.2022, рецензирована 26.12.2022, принята 10.01.2023

Представлена действительным членом РАЕН А.А. Потаповым

Аннотация. Представлен анализ международных организаций, занимающихся измерением характеристик излучения антенных систем в их ближней зоне излучения. Из всего многообразия таких организаций выделялись те, которые специализируются на тестировании характеристик антенных систем базовых станций и терминалов, отвечающих стандартам телекоммуникационных систем 5G NR. Проведен анализ поддерживаемых действующими измерительными лабораториями стандартов, их передовых образцов измерительных комплексов. Представлен анализ уровня развития российских специализированных измерительных лабораторий, выполняющих тестирование и сертификацию оборудования мобильных сетей 5G NR. Рассмотрено их техническое оснащение и возможности проведения измерений характеристик антенных комплексов телекоммуникационных систем 5G NR.

Ключевые слова: измерения в ближней зоне, измерения характеристик излучения антенн, сертификация антенн, сканер ближнего поля

УДК 656.61.052:621.396

Для цитирования: Афонин И.А., Головин В.В., Тыщук Ю.Н., Поляков А.А., Слезкин Г.В. Тенденции развития лабораторий испытания и сертификации антенных комплексов в составе оборудования телекоммуникационных систем 5G NR. РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 2023, 15(1):21-32. DOI: 10.17725/rensit.2023.15.021.

Trends in Development of Test and Certification Laboratories for Antenna Systems Used as Part of 5G NR Telecommunication System Equipment

Igor L. Afonin, Vladislav V. Golovin, Yuri N. Tyschuk, Alexander L. Polyakov, Gennagy V. Slyozkin

Sevastopol State University, <http://www.sevsu.ru/>

Sevastopol 299053, Russian Federation

E-mail: ilafonin@mail.sevsu.ru, vgolovin@mail.sevsu.ru, yntysbcbuk@mail.sevsu.ru, alpolyakov@mail.sevsu.ru, gvslezkin@mail.sevsu.ru

Received December 19, 2022, peer-reviewed December 26, 2022, accepted January 10, 2023

Abstract. An analysis of international organizations involved in measuring the radiation characteristics of antenna systems in their near radiation zone is presented. Out of the great variety of such organizations we selected only those that specialize in testing of antenna system parameters for base stations and terminals that meet 5G NR telecommunication system standards. We have reviewed standards adopted by these testing laboratories and their cutting-edge samples of the testing systems. We have also analyzed the level of development of Russian specialized testing

laboratories that perform testing and certification of 5G NR mobile network equipment. We have reviewed their equipment and capabilities for testing the parameters antenna systems being part of 5G NR telecommunication systems.

Keywords: near-field testing, measurements of antenna radiation patterns, certification of antennas, near-field scanner

UDC 656.61.052:621.396

For citation: Igor L. Afonin, Vladislav V. Golovin, Yuri N. Tyschuk, Alexander L. Polyakov, Gennagy V. Slyozkin. Trends in Development of Test and Certification Laboratories for Antenna Systems Used as Part of 5G NR Telecommunication System Equipment. *RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information Technologies*, 2023, 15(1):21-32e. DOI: 10.17725/rensit.2023.15.021.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ (22)

2. МИРОВЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ, ЗАНИМАЮЩИЕСЯ ИЗМЕРЕНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ (23)
3. РОССИЙСКИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ, АККРЕДИТОВАННЫЕ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ (29)

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (30)

ЛИТЕРАТУРА (31)

1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных систем и средств беспроводной радиосвязи неразрывно связано с совершенствованием и модернизацией соответствующих антенн. Антенны являются не только так называемыми преобразователями волновых полей в традиционном понимании, то есть устройствами, осуществляющими излучение и/или приём радиоволн, но и устройствами, осуществляющими формирование радиоканала при помощи своей поляризационной, пространственной, частотной избирательности. Применение таких антенн в современных системах беспроводной связи позволило придать этим системам новые потребительские качества.

Измерение внешних характеристик интеллектуальных антенн со сложными алгоритмами управления характеристиками их поля излучения с применением безэховых камер часто вызывает сложности обеспечения измерительного расстояния в дальней зоне излучения таких антенн. В связи с этим, в том числе согласно рекомендациям 3GPP TR 37.941 [1], измерения характеристик антенн в свободном пространстве осуществляется в ближней зоне излучения этих антенных систем. Методология подобных измерений широко развита и включает в себя:

- коллиматорный метод, предполагающий использование компактного антенного испытательного полигона (CA_{TR} – compact antenna test range), который представляет собой коллимирующую установку [2], формирующую почти плоские волновые фронты на очень коротком расстоянии (обычно 10–20 м); для этого часто используется двухзеркальная [3] или трехзеркальная фокусирующая система [4];
- измерение в ближней зоне (NF – near field) с помощью сканера, когда зонд, расположенный рядом с тестируемой антенной (AUT – antenna under test), перемещается по поверхности сканирования, которая может быть:
 - плоской, при этом может выполняться планарно-прямоугольное сканирование [5], планарно-спиральное сканирование [6] или биполярное сканирование [7];
 - цилиндрической [8];
 - сферической [9].

На сегодняшний день для всех видов сканирования развиты методы сокращения количества требуемых данных NF и времени измерения [10,11].

Современные лаборатории по тестированию и сертификации интеллектуальных антенных систем базовых станций и абонентских терминалов систем мобильной связи 5G применяют в своей работе теоретически проработанные методологии проведения измерений NF и документацию, регламентирующую перечень и порядок проведения подобных измерений NF.

Предоставляемое этими лабораториями метрологическое обеспечение систем связи 5G является стратегически важным элементом формирования сегмента рынка

специализированного телекоммуникационного оборудования в условиях возрастающей конкуренции и доминирования крупных телекоммуникационных корпораций.

Поэтому крайне актуальной является задача анализа опыта ведущих международных испытательных лабораторий, в том числе в области измерений интеллектуальных антенных систем с использованием измерений NF и степени участия отечественных испытательных лабораторий в этом направлении.

2. МИРОВЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ, ЗАНИМАЮЩИЕСЯ ИЗМЕРЕНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

Ведущие мировые организации, занимающиеся измерением характеристик антенных систем, в том числе интеллектуальных антенн телекоммуникационных систем нового поколения, представленные, в основном, по данным Global Certification Forum (GCF) [12], приведены в **Таблице 1**.

Компания 7Layers [13] — признанная испытательная организация GCF (GCF RTO), выполняющая тестирование беспроводных сетей для служб Интернета вещей и интеллектуальных устройств со встроенным беспроводным подключением. Тестирование характеристик антенн подразделяется по следующим категориям:

- сертификация: Wi-Fi Alliance, GCF, Кибербезопасность США IoT, AT&T, Vodafone, Telekom, Verizon;
- технологии: 3G, 4G, 5G, A-GPS, WLAN, блютуз;
- тест OTA (Over-The-Air – бесконтактное измерение) учитывает весь путь прохождения сигнала и предполагает измерение внешних характеристик антенны. На характеристики антенны, помимо прочего, влияют различные требования к продукту, области применения, размер корпуса, материалы, ширина полосы пропускания, частоты и т.д. Тесты OTA проводятся на всех этапах жизненного цикла продукта: этап исследований и разработок, утверждения или сертификации.

Компания Bureau Veritas [15] проводит тесты Mobile OTA Performance для характеристик излучения, определенные США (Cellular Telephone Industries Association – Ассоциация производителей сотовой телефонной связи) для беспроводных устройств для проверки их

Таблица 1

Ведущие мировые организации, занимающиеся измерением характеристик антенных комплексов для телекоммуникационных систем 5G

№	Наименование организации	Местонахождения, страна
1	7 Layers [13]	Ратинген, Германия Ирвин, США Пекин, КНР
2	Absolute Validation [14]	Фарнборо, Великобритания
3	Bureau Veritas [15]	Таоюань, Тайвань; Сувон, Корея
4	SETECOM [16]	Эссен, Германия; Аньян, Корея; Милпитас, США; Сан-Диего, Калифорния, США
5	СТТЛ (Китайская лаборатория телекоммуникационных технологий) [17]	Пекин, КНР
6	Тестирование и сертификация DEKRA [18]	Малага, Испания; Нью-Тайбэй, Тайвань; Херндон, Вирджиния, США
7	Intel Mobile Communications [19]	Соединенные Штаты Америки
8	Intertek [20]	Лексингтон, США; Тайбэй, Тайвань
9	KTL (Корейская испытательная лаборатория) [21]	Сеул, Корея
10	PCTEST Engineering Laboratory Inc. [22]	Колумбия, Мэриленд, США; Сан-Хосе, Калифорния, США
11	Qualcomm [23]	Сан-Диего, Калифорния, США
12	SGS Wireless [24]	Нью-Тайбэй, Тайвань; Гунпо, Корея; Сан-Диего, Калифорния, США
13	Шанхайские коммуникационные технологии Taijie Communication [25]	Шанхай, Китай
14	Sporton International Inc. [26]	Уезд Таоюань, Тайвань
15	TEOCO. Лаборатории AIRCOM [27]	США
16	Verkotan [28]	Оулу, Финляндия

трехмерной «Излучаемой РЧ мощности» и «Работоспособности приемника». Его основные элементы теста включают две категории: TRP (Total radiated power – общая излучаемая мощность) и TIS (Total isotropic sensitivity – общая изотропная чувствительность).

Тестирование производительности ММО OTA фокусируется на проверке пропускной способности устройств беспроводной связи по нисходящему каналу в различной канальной среде. Специализация проводимых измерений:

- мобильное оборудование для сетей 2G/2.5G/3G/3.5G/4G/5G;
- сверхширокополосное оборудование;
- Zigbee, Z-Wave, LoRa, Sigfox;

- системы широкополосных линий электропередач;
- фемтосоты, базовые станции;
- оборудование Wi-Fi (IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ax WLAN);
- оборудование Bluetooth;
- RFID;
- SRD (устройство ближнего действия);
- беспроводное оборудование с частотами до 60 ГГц;
- беспроводная зарядка;
- автомобильные датчики с частотами до 77 ГГц;
- mmWave оборудование.

Компания SETECOM [16] занимается ОТА тестированием производительности и надежности беспроводных устройств, их антенн и других компонентов.

Возможности безэховой камеры ОТА в Кремниевой долине: 5G FR1 и FR2 мм волна; агрегация несущих, включая комбинации с 5CA и NR; CAT M1; NB IoT; Wi-Fi; блютуз; MIMO; частоты GSM/UMTS/LTE.

Возможности камеры ОТА в Германии включают:

- специальные испытания антенн: детали луча радара, например, для радарных устройств 79 ГГц;
- поддержка частотного диапазона до 500 ГГц;
- активные 3D-тесты с симуляторами базовых станций для мобильных телефонов;
- пассивное тестирование антенны (например, согласование, эффективность, трехмерная диаграмма направленности, круговая поляризация);
- план тестирования СТИА для сертификации SISO OTA Performance v3.9.
- Компания SETECOM производит и поставляет беспроводную испытательную систему WTS-80 (Рис. 1), которая позволяет оптимизировать паразитные излучения вашего устройства, а также измерять характеристики антенн.

Беспроводная испытательная система WTS-80 подходит для широкого спектра испытаний в диапазоне частот от 300 МГц до 13 ГГц. Разработанная и изготовленная в Германии, оснащена запатентованной технологией: шестью широкополосными антеннами с круговой поляризацией. Они позволяют измерять шесть основных направлений излучения, не перемещая прибор, что особенно упрощает выполнение теста.



Рис. 1. Беспроводная испытательная система WTS-80.

Экранированный ящик шириной 75 см очень узкий. Это позволяет удобно настроить беспроводную тестовую систему WTS-80 в желаемой тестовой среде. Кроме того, подключение к источнику питания на 230 В с фильтром обеспечивает максимальную совместимость.

По запросу существует возможность поставить систему с РЧ реле коммутации. Что позволяет использовать, например, фильтр верхних частот и специальный предусилитель для измерений GSM и LTE. Возможна также дополнительная адаптация программного обеспечения — для максимальной масштабируемости в соответствии с требованиями тестов.

SETECOM была одной из первых лабораторий в мире, способных тестировать ОТА-характеристики продуктов с использованием 5CA, самой высокой пятидиапазонной комбинации. Агрегирование несущих LTE позволяет операторам одновременно использовать несколько каналов спектра ниже 6 ГГц для передачи данных между базовыми станциями и мобильным устройством 5G. До пяти компонентных несущих можно объединить для передачи агрегированной полосы пропускания до 100 МГц. Две агрегированные компонентные несущие называются 2CA, три компонентных несущих — 3CA и так далее.

В августе 2020 года испытательная лаборатория SETECOM в Эссене (Германия) стала первой лабораторией в Европе, аккредитованной для тестирования устройств 5G. Таким образом, немецкий орган по аккредитации (DAkkS) подтвердил, что лаборатория официально уполномочена проводить тесты 5G для телекоммуникационных устройств. Лаборатории

СЕТЕСОМ аккредитованы по следующим стандартам:

- 5GS; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE – user equipment). Часть 1: Общая тестовая среда (ETSI TS 138 508-1 V15.4.0 (2019-07));
- 5GS; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Часть 2: Проформа общего заявления о соответствии реализации (ICS) (ETSI TS 138 508-2 V15.4.0 (2019-07));
- 5GS; Специальные функции тестирования на соответствие для пользовательского оборудования (UE) (ETSI TS 138 509 V15.4.0 (2019-07));
- NR; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Радиопередача и прием; Часть 1: автономная работа в диапазоне 1, 1.92-5.0 ГГц (ETSI TS 138 521-1 V15.3.0 (2019-07));
- NR; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Радиопередача и прием; Часть 2: автономная работа в диапазоне 2, 26.5-28.35 ГГц (ETSI TS 138 521-2 V15.3.0 (2019-07));
- NR; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Радиопередача и прием; Часть 3: Взаимодействие в Диапазоне 1 и Диапазоне 2 с другими радиостанциями (ETSI TS 138 521-3 V15.3.0 (2019-07));
- NR; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Радиопередача и прием; Часть 4: Требования к производительности (ETSI TS 138 521-4 V15.1.0 (2019-07));
- NR; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Применимость тестовых примеров радиопередачи, радиоприема и управления радиоресурсами (ETSI TS 138 522 V15.3.0 (2019-07));
- 5GS; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Часть 1: Протокол (ETSI TS 138 523-1 V15.4.0 (2019-07));
- 5GS; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Часть 2: Применимость тестовых случаев протокола (ETSI TS 138 523-2 V15.4.0 (2019-07))

- 5GS; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE). Часть 3: Наборы тестов протокола (ETSI TS 138 523-3 V15.5.0 (2019-10));
 - NR; Спецификация соответствия пользовательского оборудования (UE); Управление радиоресурсами (RRM) (ETSI TS 138 533 V15.1.0 (2019-07)).
 - Также лаборатории СЕТЕСОМ выполняют тестирования в соответствии с стандартами FCC:
 - FCC PART 22, 24 и 27 для устройств GSM/WCDMA/LTE;
 - FCC PART 15.247 для Bluetooth/WLAN 802.11 b/g/n (2,4 ГГц);
 - FCC PART 15.407 для WLAN 802.11 a/n/ac (5 ГГц);
 - FCC PART 15.245 (диапазон 902–928 МГц, диапазоны ISM);
 - FCC PART 15.225 для RFID (13,56 МГц);
 - FCC PART 25 для устройств спутниковой связи;
 - Тесты DFS для оборудования, работающего в диапазонах частот 5,25–5,35 ГГц и 5,47–5,725 ГГц. (FCC PART 15, подраздел E);
 - Тесты SAR в соответствии с требованиями FCC.
- Китайская лаборатория телекоммуникационных технологий CCTL [17] имеет лабораторию Taier с богатым опытом и сильной технической базой в области международных и внутренних сертификационных испытаний антенн. Пекинская лаборатория имеет 5 полных безэховых камер, 2 реверберационные комнаты и 1 небольшую передвижную полную безэховую камеру. Имеет несколько наборов полных систем тестирования ОТА и позиционирования, включая 5 комплектов тестовых систем ОТА с полным покрытием, 3 комплекта тестовых систем ММО-ОТА (охватывающих все решения), 3 комплекта систем позиционирования А-GPS ОТА, 2 набора тестовых систем на производительность радио А-GNSS, 2 набора тестовых систем Beidou, 2 набора тестовых систем WLAN ОТА и т.д. Область тестирования и сертификации охватывает полнофункциональные терминалы или системное оборудование, включая GSM/GPRS/EDGE, CDMA 1X, cdma2000 (EVDO), WCDMA, TD-SCDMA, LTE и WLAN 802.11abgn и т.д. Имеет большое испытательное поле в Баодине.

Американская компания Intel Mobile Communications участвует в более чем 300 группах по стандартизации по всему миру, занимая

ведущие позиции в различных рабочих группах в ITU-R, 3GPP и IEEE, среди прочих. Корпорация Intel предоставляет собственные исследования, эталоны и аналитические материалы, чтобы полностью реализовать потенциал 5G [19].

Корейская испытательная лаборатория KTL [21] проводит тесты на пригодность (RF, OTA, RSE, Audio, (U) SIM/SAT, MMS, NFC и т. д.). Тесты выполняются для устройств мобильной связи, которые поддерживают GSM/WCDMA/LTE и т.д. в соответствии с необходимыми стандартами 3GPP от GCF (Европа) и PTCRB (Северная Америка). Объекты тестирования: портативные устройства и устройства мобильной связи (смарт-устройство, USB-ключ, модуль и т.д.), устройства с поддержкой GSM, WCDMA, LTE (контакт для пробного диапазона).

Проводится внутренняя и международная сертификация и аттестационные испытания для различных устройств беспроводной связи.

Компания PCTEST Engineering Laboratory Inc. [22] проводит сертификационные испытания на соответствие отраслевым стандартам, стандартам операторов и/или CTIA/PTCRB/GCF.

Доступные услуги по тестированию включают:

- План тестирования CTIA на производительность беспроводных устройств в беспроводном режиме;
- План тестирования CTIA для MIMO нисходящего канала 2×2 и разнесения передачи по воздуху;
- План тестирования CTIA/Wi-Fi Alliance для оценки радиочастотных характеристик мобильных конвергентных устройств Wi-Fi;
- Планы испытаний для конкретных операторов;
- Инженерная оценка.

Для MIMO используется безэховая камера с несколькими зондами и эмуляторами каналов, имитирующими реалистичную среду пространственного распространения, устройства с несколькими антеннами тестируются в эфире путем оценки отношения сигнал-помеха нисходящей линии связи, SIR (Signal-to-interference ratio – медианное отношение сигнал-интерференция), необходимого для достижения различных показателей пропускной способности. Результаты усредняются по нескольким азимутальным ориентациям для

оценки характеристик пространственного мультиплексирования устройства в нескольких положениях пользователя.

Корпорация Qualcomm [23] работала над основными изменениями в мобильной индустрии с 2G до 5G: разработка новых парадигм совместного использования спектра 5G; обширные мобильные испытания и инновации в диапазоне миллиметровых волн.

В сотрудничестве с Ericsson и группой ведущих операторов мобильных сетей, включая AT&T, NTT DOCOMO, Orange, SK Telecom, Sprint, Telstra, T-Mobile US, Verizon и Vodafone, корпорация Qualcomm анонсировала соединение с возможностью взаимодействия с различными поставщиками, совместимое с Non-Standalone (NSA) 5G New Radio (NR) глобального стандарта 3GPP.

В ноябре 2020 г. DISH Network Corporation и Qualcomm Technologies, Inc. объявили о своем сотрудничестве по тестированию открытых и виртуализированных решений RAN 5G, содержащих новые платформы Qualcomm® 5G RAN.

Qualcomm разработала полностью интегрированный антенный модуль mmWave с расширенным диапазоном, разработанный для оборудования фиксированного беспроводного доступа 5G в помещении заказчика.

Организация SGS Wireless [24] — крупная компания по инспектированию, проверке, тестированию и сертификации мобильных телефонов, планшетов, устройств IoT/M2M, телематических устройств, микросхем и модулей, охватывающих 2G/3G/4G/5G, член автомобильной ассоциации 5G (5GAA).

Имея центры компетенции для своего подразделения беспроводной связи в Северной Америке, Азии и Европе, SGS имеет обширный портфель сертификатов и аккредитаций. Сюда входят лаборатории по всему миру, аккредитованные по стандарту ISO 17025 и предлагающие услуги тестирования для технологий сотовой связи (2G/3G/4G/5G), IoT, V2X и LPWA, в дополнение к GCF, PTCRB, CTIA, Bluetooth SIG, Wi-Fi Alliance, NFC, WPC, USB и Global Platform.

Шанхайская компания Taijie Communication [25] в своих испытательных лабораториях OTA применяет решение ETS для полного

соответствия требованиям СТИА ОТА к тестированию, включая: GSM/CDMA/WCDMA/TDSCDMA/LTE (включая FDD/TDD и 2CC/3CC и т.д.), WIFI/AGPS/AGLONASS и т.д. Тестовые направления:

- СТИА ОТА Test Plan;
- CWG RF Test Plan;
- GSM/CDMA/WCDMA/TDSCDMA/LTE-FDD/TDD/2CA/3CA/Wi-Fi.

Taijie Communication имеет 3-метровую полную/половинную безэховую камеру, лабораторию по тестированию проводимости/излучения, лабораторию по тестированию на невосприимчивость и т. д., охватывающую все основные стандарты ЭМС.

Корпорация Sporton International [26] имеет следующий опыт работы в области испытаний антенного оборудования [29]:

- в 2010 г. корейская лаборатория получила квалификацию СТИА / WiFi Alliance WiFi ОТА;
- в 2011 г. получена аккредитация LTE PTCRB;
- в 2012 г. лаборатории в Шэньчжэне и Южной Корее получили аккредитацию LTE PTCRB;
- в 2014 году создана третья лаборатория ММО ОТА;
- в 2014 г. получена квалификация тестирования AT&T ММО ОТА и AT&T Wearable ОТА;
- в 2015 г. создана четвертая лаборатория ММО ОТА;
- в 2015 г. получил квалификация тестирования производительности China Mobile ОТА.

Известна компания ТЕОСО (США) [27], структурным подразделением которой является AIRCOM — экспертный центр 5G, который предоставляет полный набор возможностей тестирования как в лаборатории, так и в полевых условиях. Лаборатория AIRCOM, полностью аккредитованная AT&T, T-Mobile и Verizon.

Современные испытательные платформы, инструменты и системы AIRCOM охватывают зоны тестирования FR1 и FR2 как для автономных, так и для нестандартных устройств 5G. Лаборатория предоставляет полный спектр тестирования во всем жизненном цикле для модулей, модемов и носимых устройств интернета вещей с возможностью сертификации протоколов, радиочастот, производительности данных и рыночных ключевых показателей эффективности.

Технологическое партнерство с лидерами отрасли, такими как Spirent, Qualcomm, L&T Technical Services и Wireless Metrics, позволяет предоставлять ОТА-тестирование, сертификацию и поддержку для разработки продуктов 5G, услуг по тестированию R&D, а также инструментов и обучения 5G.

В 2014 г. AIRCOM расширил возможности тестирования своей лаборатории за счет приобретения дополнительных систем тестирования от Rohde&Schwarz. В сочетании с обширной поддержкой Rohde&Schwarz на соответствие стандартам и поддержкой тестовых примеров для операторов, службы определения местоположения (LBS) R&S TS-LBS и системы тестирования производительности R&S CMW-PQA позволяют ТЕОСО поддерживать новые отраслевые требования и требования к тестированию операторов для беспроводных технологий следующего поколения, включая агрегацию несущих, IMS, VoLTE, RCS, E911 через IMS, LTE A-GNSS, LTE OTDOA и LTE eCID.

Известна компания Verkotan [28], которая является испытательной лабораторией, аккредитованной по стандартам ISO 17025 и ISO 9001, с более чем 20-летним опытом разработки передовых систем тестирования производительности беспроводной связи, внедрения новых методов тестирования и предоставления многочисленных результатов проверки для 3GPP. Лаборатория предоставляет широкий спектр гибких услуг по проверке SAR, ОТА и индивидуальных испытаний для производителей беспроводных устройств.

Служба тестирования активной антенны 5G NR (AA TaaS) для базовой станции (gNB) предоставляет услуги тестирования активной антенны FR1 в соответствии с 3GPP TS38.141-2, излучаемой мощностью передачи 6.2 и чувствительностью ОТА 7.2 для базовых станций и вспомогательного оборудования.

Лаборатория имеет два независимых метода тестирования для проверки излучаемой мощности передачи EIRP (3GPP 38.141-2 6.2) и EIS чувствительности ОТА (3GPP 38.141-2 7.2). Эти два метода тестирования представляют собой систему тестирования активной антенны ближнего и дальнего поля и услугу тестирования активной антенны с синтезом плоских волн с использованием R&S PWC. Предоставляя услуги

по тестированию активных антенн, лаборатория поддерживает клиентов на этапе разработки продукции и в утверждении типа.

Метод тестирования №1. Уникальная услуга Verkotan по тестированию активных антенн из ближнего и дальнего поля (FF – far field) доступна для всего диапазона частот FR1 благодаря настройке рупорной антенны с широкой полосой пропускания. Частота тестирования от NF до FF составляет от 600 МГц до 6 ГГц. Он масштабируется для разных размеров gNB и имеет настраиваемую систему точного позиционирования. Тестирование проводится в рамках области аккредитации для 3GPP TS38.141-2, 6.2 EIRP и 7.2 EIS.

Метод тестирования № 2. Служба тестирования активной антенны с синтезом плоских волн Verkotan с использованием R&S PWC доступна для полос частот 2.3–3.8 ГГц, охватывающих наиболее важные диапазоны FR1 5G. Существует индивидуальная система точного позиционирования, и возможно тестировать размеры gNB до одного метра. Испытательные услуги выполняются в рамках области аккредитации для 38.141-2, 6.2 EIRP и 7.2 EIS.

Компания Verkotan предоставляет все необходимые услуги OTA-тестирования и анализа с учетом потребностей клиента. Помогает полностью выполнить требования OTA, заявленные поставщиком беспроводной связи. OTA-тестирование измеряет излучаемые радиочастотные характеристики устройства. Это одна из самых сложных областей разработки беспроводных устройств.

Возможности тестирования в лаборатории охватывают тестирование широкого спектра радиосистем. TRP и TIS (Total isotropic sensitivity – общая изотропная чувствительность) могут быть измерены в соответствии с отраслевыми стандартами. Наши современные лаборатории поддерживают тестирование вплоть до 5G. Вот список радиосистем, поддерживаемых в лабораториях Verkotan: 5G Bands, GSM Bands, UMTS Bands, LTE Bands, LTE CAT NB1, LTE CAT M1, CDMA bands, TD-SCDMA Bands, Gps, Passive Antenna Testing, Glonass, Beidou, FM radio, Wlan, Bluetooth.

Лаборатория предлагает предварительные измерения на соответствия MIMO OTA в соответствии с последними спецификациями

СТА. MIMO OTA Testing измеряет изменения в пропускной способности данных и мощности сигнала устройства, когда оно перемещается дальше от ближайшей базовой станции. Высокая точность измерений MIMO OTA на этапе исследований и разработок продукта помогает избежать очень дорогостоящих затрат на модификацию продукта на заключительном этапе разработки продукта. Также есть возможность измерений MIMO OTA для устройств, которые поддерживают MIMO 4x2 и MIMO 4x4.

Verkotan имеет одну аккредитованную высококачественную безэховую камеру для тестирования OTA и антенн для целей тестирования SISO и MIMO. БЭК может использоваться для измерений 3GPP и SISO и предварительных измерений MIMO. В этой камере возможен создать радиосреду в соответствии с потребностями клиента и протестировать устройство повторяемым и надежным способом. Камера также используется для разработки решений для тестовых систем 5G и может использоваться для тестирования GNSS, WLAN и IoT. Габаритные размеры: 6x5,8x2,2 м. MIMO диапазон частот: 600 МГц — 6 ГГц.

Verkotan внедрила 6-осевой робот — промышленный робот с цифровыми режимами движения. Робот позволяет измерять трехмерные ДН антенн радиомодулей базовых станций и терминалов для систем 5G. Частота тестирования FR1 и FR2 составляет от 400 МГц до 53 ГГц. Тестирование проводится в безэховой камере с использованием методик преобразования прямого поля в дальней зоне и из ближнего в дальнее.

Оцениваемые параметры антенн обобщенно включают: коэффициент усиления; ширина луча; угол между двумя азимутальными максимумами диаграммы направленности антенны; кросс-поляризационная развязка; точность наклона луча; коэффициент защитного действия; подавление первого верхнего бокового лепестка; КПД.

Услуги по измерению антенн:

- измерение диаграмм направленности антенн (3D и 2D диаграммы);
- измерение КПД антенн;
- измерение абсолютного усиления;
- измерение КСВН и согласования антенн;

- измерение корреляции ММО антенн (ЕСС, Envelope Correlation Coefficient – коэффициент корреляции огибающей);
- измерение поляризации антенн (линейная, правосторонняя круговая, левосторонняя круговая и другие);
- измерение диаграммообразования антенн.

Для тестирования базовых станций ММО 5G в диапазоне FR1 Verkotan использует конвертер плоских волн R&S PWC200.

3. РОССИЙСКИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ, АККРЕДИТОВАННЫЕ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

Российская компания ООО «Испытательный технический центр микроприборов» [30] имеет аккредитацию на право проведения испытаний ЭКБ отечественного и иностранного производства в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 и ЭС РД 005-2016 (аттестат об аккредитации № С 01.061.0071-2019). Компания имеет собственную безэховую экранированную камеру ETS-Lindgren AMS-8500. Российское ПАО «Радиофизика» [31] занимается тестированием антенных устройств, в том числе активных фазированных антенных решеток (АФАР) и зеркальных антенн в диапазонах от 1 ГГц до 110 ГГц. Измерения в крупногабаритной безэховой камере (БЭК) проводятся как в дальней зоне, так и в промежуточной зоне (зоне Френеля), а также в ближней зоне (планарное сканирование) с последующей обработкой результатов.

Выполняемые ПАО «Радиофизика» работы:

- настройка и калибровка АФАР;
- измерения амплитудных и фазовых диаграмм направленности антенн различных типов, в том числе АФАР;
- измерения поляризационных характеристик антенн;
- измерения коэффициента усиления;
- измерения величины эффективной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) активных антенн;
- измерения угловых точностей и других параметров АФАР при сканировании;
- проверка компонентов АФАР на помехозащищенность и электромагнитную совместимость (см. раздел по ЭМС);

- диагностика отказов элементов АФАР;
- измерения характеристик обратного рассеяния сложных радиосистем.

На предприятии построены семь БЭК, в том числе БЭК с линейными размерами 80×32×24 м. Все БЭК имеют экранировку и оснащены фильтрами для введения силовых и коммуникационных кабелей. Экранировка выполнена по II классу ГОСТ Р 50414 и составляет не менее 60 дБ в диапазоне от 30 МГц до 40 ГГц. БЭК оснащены автоматизированными измерительными стендами, укомплектованными оборудованием от производителей Agilent (Keysight) Technologies, Rohde&Schwarz, National Instruments, SATIMO, ORBIT-FR, MI-Technologies, Frankonia. Автоматизированные измерительные стенды оснащены трёхкоординатными поворотными устройствами грузоподъёмностью до 2000 кг с точностью позиционирования измеряемых изделий порядка 1 угловой минуты.

Крупноапертурные ФАР, имеющие большие габариты и массу, в условиях БЭК тестируются в ближней зоне с помощью автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса на основе планарного Т-сканера с размером рабочей зоны 9×6 м (Рис. 2).

В ПАО «Радиофизика» разработан метод измерений антенных характеристик в промежуточной зоне (зоне Френеля). Имеется сертификат на соответствующее специализированное программное обеспечение для измерений характеристик антенн в зоне Френеля.

ПАО «Радиофизика» обладает опытом калибровки многоэлементных (до нескольких тысяч каналов) антенн. Калибровка ФАР и

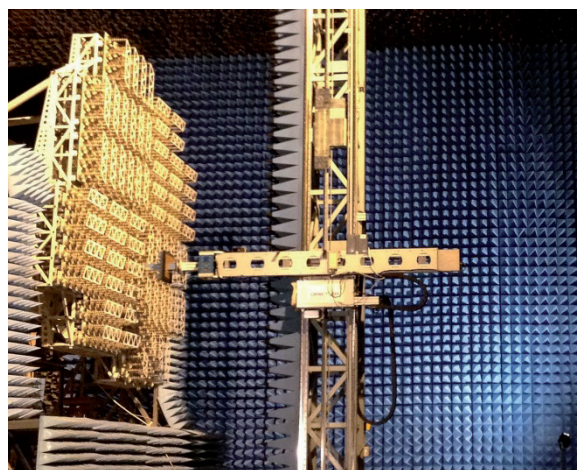


Рис. 2. Т-сканер с размером рабочей зоны 9×6 м.

АФАР проводится как по удаленному источнику сигнала, так и с использованием Т-сканера путём измерения сигнала в ближнем поле. Имеется опыт разработки встроенных систем калибровки и контроля, а также калибровки «в поле» для возимых и стационарных ФАР. Имеется специализированное программное обеспечение по калибровке ФАР и АФАР.

Стеновая база предприятия дает возможность калибровки самых разных ФАР (в том числе и больших размеров) в различных режимах. Специфических дополнительных требований к конструкции ФАР при этом обычно не предъявляется. ФАР калибруется «как есть». При этом нет необходимости осуществлять включение и выключение питания каналов антенной решетки. Имеется возможность перехода к измерению без демонтажа антенны и переноса на другой стенд. Это открывает возможности гибкой настройки и отладки ФАР.

Научно-исследовательским отделением метрологии радиотехнических и электромагнитных измерений (НИО-1), структурным подразделением ФГКП «ВНИИФТРИ» [32], разработан аппаратно-программный комплекс для тестирования в ближней зоне излучения антенных решёток (ММО, активные, цифровые, гибридные) из состава систем связи 5G. Отличительными особенностями аппаратно-программного комплекса являются:

- возможность измерений объемных характеристик направленности и энергетических характеристик невзаимных (активных) антенн;
- возможность измерений на штатных широкополосных сигналах с цифровой модуляцией, имеющих ширину полосы до 1 ГГц;
- гибкое специализированное программное обеспечение, адаптируемое под различные объекты испытаний;
- измерения проводятся с соблюдением условий дальней зоны и свободного пространства (коэффициент безэховости менее минус 50 дБ);
- достоверность измерений, основанных на применении оборудования эталонного класса. Характеристики БЭК ФГУП «ВНИИФТРИ»:
- диапазон частот: от 0,5 до 50 ГГц;
- ширина полосы анализа: до 1 ГГц;

- максимальная длина трассы: 24 м;
- погрешность измерений ЭИИМ: ± 1 дБ;
- коэффициент безэховости: не более -20 дБ.

В ходе испытаний проводятся измерения объемных амплитудных диаграмм направленности, эквивалентной изотропно-излучаемой мощности, спектральных характеристик формируемых сигналов, параметров помехоустойчивости аппаратуры, включая стойкость к воздействию радиопомех со сложными видами сигналов, имитирующих работу РЛС.

Особенностью проводимых измерений является отсутствие у испытуемых изделий радиочастотных интерфейсов. Кроме того, современные системы, как правило, функционируют с использованием импульсных и модулированных широкополосных сигналов. В случае систем связи 5G внутри импульса может присутствовать информационное заполнение, отличающееся от импульса к импульсу. Поскольку используемое для измерений приёмное устройство не имеет связи с источником сигналов в ММО-решётке, то и текущие параметры сигналов остаются неизвестными, а сами регистрируемые сигналы не имеют опорного значения. Эти особенности учтены при разработке измерительного комплекса ФГУП «ВНИИФТРИ», которым в течение 2018 года проведены испытания антенных решёток производства фирм Nokia, Huawei, Ericsson, выполненных по технологии ММО.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен обзор известных международных и российских испытательных лабораторий, аккредитованных в области измерений интеллектуальных антенных систем, представлено краткое описание их опыта.

Ряд лабораторий проводят измерения не только в ближней зоне или в зоне Френеля с последующей обработкой результатов, что оправдано с точки зрения стоимости подобных камер, но также и в крупногабаритных безэховых камерах в дальней зоне поля.

Измерения по полю позволяют учесть весь путь прохождения сигнала и характеристики антенны, на которые влияют различные требования к продукту, области применения, размер корпуса, материалы, ширина полосы пропускания, частоты и т. д. Испытания ОТА проводятся на всех этапах жизненного цикла

продукта: этап исследований и разработок, утверждения типа или сертификации.

Для испытаний антенн ММО используются БЭК с несколькими зондами и эмуляторами каналов, имитирующими реалистичную среду пространственного распространения, устройства с несколькими антеннами тестируются в эфире путем оценки SIR нисходящей линии связи, необходимого для достижения различных показателей пропускной способности.

Некоторые лаборатории проводят свои собственные исследования в области испытаний (например, Intel Mobile Communications, Intel, Qualcomm и т.д.). Многие лаборатории участвуют в различных рабочих группах в ITU-R, 3GPP и IEEE, а также объединяют свои усилия по тестированию открытых и виртуализированных решений RAN 5G.

Сегодня ведущие мировые телекоммуникационные организации имеют достаточное метрологическое обеспечение для разработки и производства оборудования базовых станций и терминалов систем мобильной связи 5G NR, которые включают в себя различные интеллектуальные антенны, обладающие очень высокими техническими характеристиками и достаточно сложными алгоритмами работы.

В России последние десять лет ряд специализированных измерительных организаций активно осваивают область измерений по полю характеристик интеллектуальных антенных комплексов систем мобильной связи 5G NR. Укрепляется сотрудничество российских испытательных лабораторий с организациями стандартизации и производителями антенного оборудования современных систем связи.

Важно отметить, что у российских испытательно-измерительных лабораторий накоплен огромный научно-технический потенциал, позволяющий разрабатывать, испытывать и производить телекоммуникационное оборудование любой технической сложности, в том числе для систем 5G/6G NR.

ЛИТЕРАТУРА

- 3GPP TR 37.941 V16.2.0 (2020-12). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Radio Frequency (RF) conformance testing background for radiated Base Station (BS) requirements (Release 16). [Online] Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/137900_137999/137941/16.01.00_60/tr_137941v160100p.pdf, access data 09.10.2022.
- Johnson R. Some design parameters for point-source compact ranges. *IEEE Trans Antennas Propag.*, 1986, 34(6):845-847.
- Kildal PS. Synthesis of multireflector antennas by kinematic and dynamic ray tracing. *IEEE Trans Antennas Propag.*, 1990, 38:1587-1599.
- Chen ZN, Liu D, Nakano H, Zwick T. *Handbook of Antenna Technologies*. Springer Science&Business Media Singapore, 2016, 3470 p.
- Kerns D. *Plane-wave scattering-matrix theory of antennas and antenna-antenna interactions*. Washington, U.S. Government Printing Office, 1981, 192 p.
- Qureshi MA, Schmidt CH, Eibert TF. Adaptive rectangular spiral acquisition technique for planar near-field antenna measurements. *7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2013:6.
- D'Agostino Francesco, Gennarelli C, Riccio G, Savarese C. Data reduction in the NF-FF transformation with bi-polar scanning. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 2003, 36(1):32-36.
- D'Agostino Francesco, Ferrera F, Gennarelli C, Gennarelli G. On the Direct Non-Redundant Near-Field-to-Far-Field Transformation in a Cylindrical Scanning Geometry. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2012, 54(1):130-138.
- Bucci OM, D'Agostino Francesco, Gennarelli C, Riccio G., Savarese C. Near-field sampling representation over a sphere from a nonredundant number of data. *Asia-Pacific Microwave Conference*, 2000:4.
- Bucci OM, D'Elia G, Migliore VD. Near-field far-field transformation in time domain from optimal plane-polar samples. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1998, 46(7):1084-1088.
- D'Agostino Francesco, Ferrera F, Gennarelli C, Guerriero R. An Effective NF-FF Transformation Technique With Planar Spiral Scanning Tailored For Quasi-Planar Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2008, 56(9):2981-2987.
- Global Certification Forum (GCF) Ltd. [Online] Available: <https://www.globalcertificationforum.org/services/ace/tpace.html>, access data 21.09.2022.
- Layers. [Online] Available: <https://www.7layers.com/en/gcf-associate-manufacturers-benefit-from-7layers/>, access data 21.09.2022.
- Absolute Validation. [Online] Available: <http://www.absolutevalidation.com/>, access data 21.09.2022.

15. Bureau Veritas. Testing & Certification - RF. [Online] Available: <https://ee.bureauveritas.com.tw/BVInternet/Service/Testing/6;mainIDX=6>, access data 21.09.2022.
16. CETECOM. [Online] Available: <https://www.cetecom.com/en/testing/cellular-testing/>, access data 21.09.2022.
17. China Telecommunications Technology Laboratory. CTTL. [Online] Available: <http://www.chinattl.com/>, access data 21.09.2022.
18. DEKRA. [Online] Available: <http://wireless.dekra-product-safety.com/>, access data 21.09.2022.
19. Intel 5G Standards and Spectrum/Intel Mobile Communication. [Online] Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/wireless-network/5g-technology/standards-and-spectrum.html?wapkw=Intel%205G%20Standards>, access data 21.09.2022.
20. Intertek. EMC Testing – Electromagnetic Compatibility. [Online] Available: <https://www.intertek.com/emc/>, access data 21.09.2022.
21. Korean Testing Laboratory. KTL. [Online] Available: <https://www.ktl.re.kr/eng/main.do/>, access data 21.09.2022.
22. PCTEST Engineering Laboratory Inc. [Online] Available: <https://www.pctest.com/over-the-air-ota-testing/>, access data 08.09.2022.
23. Qualcomm. The R&D engine fueling the 5G industry. [Online] Available: <https://www.qualcomm.com/research/5g/>, access data 21.09.2022.
24. SGS Wireless. [Online] Available: <https://www.sgs.com/>, access data 21.09.2022.
25. Tejet. Shanghai Communication Technology Co., Ltd. [Online] Available: <http://www.tejet.com.cn/html/2007213142292.html>, access data 21.09.2022.
26. Sporton International Inc. [Online] Available: <http://www.sporton.com.tw/index.aspx?version=G>, access data 21.09.2022.
27. TEOCO's AIRCOM Device Test Lab Strengthens Carrier Aggregation and LBS Testing Services With Rohde&Schwarz Equipment [Online] Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/teocos-aircom-device-test-lab-strengthens-carrier-aggregation-and-lbs-testing-services-with-rohde--schwarz-equipment-274454921.html>, access data 05.10.2022.
28. 5G NR Active Antenna Test Service (AA TaaS) for Base Station/Verkotan. [Online] Available: <https://verkotan.com/services/5g-wireless-testing/>, access data 02.20.2022.
29. Sporton International Inc. Mobile Device Certification Service/Sporton International. [Online] Available: <https://www.sporton.com.tw/page.aspx?uid=184>, access data 21.09.2022.
30. ИТЦ МП. Измерение параметров антенных систем [Online] Available: http://itcmp.ru/service/test_antenn, access data 08.09.2022.
31. Направления деятельности ПАО «Радиофизика». [Online] Available: <https://radiofizika.ru/services/testing-for-electromagnetic-compatibility/>, access data 19.09.2022.
32. VNIIFTRI. Research department of metrology of radio engineering and electromagnetic measurements (NIO-1) [Online] Available: <https://www.vniiftri.ru/en/about/departments/nauchno-issledovatel'skoe-otdelenie-metrologii-radiotekhnicheskikh-i-e-lektromagnitny-kh-izmerenii-n/>, access data 02.10.2022.

Афонин Игорь Леонидович

д.т.н., профессор

Севастопольский государственный университет
33, ул. Университетская, Севастополь 299053, Россия
E-mail: ilafonin@mail.sevsu.ru

Головин Владислав Викторович

к.т.н., доцент

Севастопольский государственный университет
33, ул. Университетская, Севастополь 299053, Россия
E-mail: vvgolovin@mail.sevsu.ru

Тыщук Юрий Николаевич

доцент

Севастопольский государственный университет
33, ул. Университетская, Севастополь 299053, Россия
E-mail: yntyshchuk@mail.sevsu.ru

Поляков Александр Леонидович

к.т.н., доцент

Севастопольский государственный университет
33, ул. Университетская, Севастополь 299053, Россия
E-mail: alpolyakov@mail.sevsu.ru

Слезкин Геннадий Витальевич

ассистент

Севастопольский государственный университет
33, ул. Университетская, Севастополь 299053, Россия
E-mail: gvslezkin@mail.sevsu.ru