

## Введение

В последние годы на рынке телекоммуникационных услуг существенно возрос объем работ по тестированию радиооборудования (РО) систем различного назначения. Это связано с целым рядом обстоятельств.

Во-первых, схемотехническая и функциональная сложность РО постоянно возрастает, что требует увеличения количества процедур тестирования и их усложнения.

Во-вторых, процедуры тестирования РО и телекоммуникационных систем в целом стали жестко регламентироваться большим количеством нормативных документов, как отечественных, так и зарубежных. Последнее особенно характерно для сотовых систем связи ввиду их глобального и трансграничного функционирования, а также огромных тиражей их выпуска и постоянного обновления стандартов и технологий.

И, наконец, РО различного назначения должно быть не просто работоспособно, но и обладать необходимыми, зачастую уникальными, параметрами, для обеспечения и контроля которых необходимо проводить тестирование с использованием трудоемких процедур и сложных тестовых сигналов.

К настоящему моменту на рынке предлагается большое число контрольно-измерительного оборудования с широким набором функциональных возможностей. Ознакомиться с такими универсальными многофункциональными приборами и аппаратно-программными комплексами на процессе обучения студенты, как правило, не имеют возможности, ввиду их отсутствия в учебных лабораториях вуза, прежде всего из-за дороговизны таких приборов и комплексов. Следует также отметить, что практически нет учебной литературы, в которой была бы систематически изложена актуальная информация, относящаяся к процедурам тестирования современного РО. Из имеющихся к настоящему времени изданий следует отметить учебное пособие МТУСИ [1.1] и специализированную монографию соавтора данного пособия [1.2], выпущенные ещё в 2016 году.

Данное учебное пособие имеет целью ликвидировать указанные информационные пробелы. В пособии изложены основные сведения о тестировании и терминология, используемая в данной области (причем как в русскоязычном, так и в англоязычном вариантах с учётом глобального и трансграничного функционирования современных телекоммуникационных систем). Описаны радиоинтерфейсы и радиочастотные сигналы, применяемые в современных и перспективных телекоммуникационных системах. Приведены примеры контрольно-измерительного оборудования ведущих мировых фирм и программного обеспечения, используемого для тестирования радиооборудования на различных этапах жизненного цикла (от научных исследований, разработок и производства до мониторинга и постобработки драйв-тестов). Наибольшее внимание в пособии уделено методам тестирования радиооборудования сетей сотовой связи 4G и 5G, получивших наибольшее распространение в мире в настоящее время с перспективой внедрения 5G в ближайшем будущем и на территории России. При этом в пособии приводится не только обзор нормативной документации стандартов 4G и 5G, но и подробно описывается процедура тестирования всех параметров радиоинтерфейсов (радиопередатчиков и радиоприёмников), включая схемы подключения контрольно-измерительного оборудования и графические иллюстрации, поясняющие процесс тестирования.

Кроме тестирования радиоинтерфейсов в пособии рассматриваются аспекты тестирования производительности сетей сотовой связи в целом. Завершающим этапом тестирования РО является радиомониторинг и проведение драйв-тестов, что особенно актуально для систем сотовой связи. В пособии этому вопросу также уделено значительное внимание. Приведено описание оборудования и программного обеспечения для проведения драйв-тестов радиосистем (как для полевых испытаний, так и для постобработки результатов). 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 различных операторов и стандартов в конкретное время в одном и том же месте.

Материал, на основе которого написано данное пособие, использовался в течение ряда лет для преподавания дисциплины «Тестирование радиооборудования телекоммуникационных сис-

тем» в МТУСИ канд. техн. наук, доцентом С.И. Дингесом, а позднее доктором техн. наук, профессором А.В. Пестряковым для магистрантов направления 11.04.02 — Инфокоммуникационные технологии и системы связи, а также в системе дополнительного образования при повышении квалификации специалистов радиочастотных центров, операторов мобильной связи и др.

Работа над данным пособием распределялась следующим образом: раздел 5 был написан канд. техн. наук А.С. Константиновым, имеющим значительный опыт по проведению тестирования телекоммуникационного радиооборудования в различных научных и производственных организациях с использованием современного измерительного оборудования; остальные разделы пособия написаны доктором техн. наук, профессором А.В. Пестряковым, также имеющим многолетний опыт проведения подобных работ по заказам как отечественных предприятий, так и зарубежных фирм.

Пособие может быть полезным и для студентов бакалавриата данного направления, для обучающихся других направлений и специальностей в телекоммуникационной и радиотехнических областях, а также для специалистов, занимающихся вопросами тестирования радиооборудования и мониторинга радиосистем.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность зав. кафедрой «Радиосистемы и комплексы управления передачи информации и информационная безопасность» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), канд. техн. наук, профессору Р.В. Мазепе; профессору кафедры «Метрология, стандартизация и измерения в инфокоммуникациях» (МСИИИ) ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ) доктору техн. наук Е.П. Стогановой, доктору техн. наук, старшему научному сотруднику, начальнику научно-технического управления АО «Концерн «Созвездие», профессору базовой кафедры радиоэлектронных устройств и систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ) Н.М. Тихомирову за их труд по рецензированию учебного пособия и их ценные замечания, которые были учтены в окончательной редакции.