



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-4-13-19>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.391

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВОКУПНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ СИГНАЛОВ В ВОСХОДЯЩЕМ КАНАЛЕ СЕТИ СВЯЗИ LTE

НОВИКОВА А.А., КОЗЕЛ В.М., КОВАЛЕВ К.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 3 июня 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Статья посвящена анализу совокупной спектральной плотности излучения абонентских терминалов сети связи LTE. В сети связи LTE для нисходящей линии связи (downlink) применяется технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDMA), а для восходящей линии связи (uplink) – технология множественного доступа с частотным разделением каналов и одной несущей (SC-FDMA). В нисходящей линии связи занимаемая полоса радиочастот определяется количеством ресурсных блоков и величиной шага размещения поднесущих колебаний в частотной области. Особенности используемых технологий организации множественного доступа в сетях связи LTE определяют характер спектральной плотности совокупного радиосигнала. Так, в нисходящей линии связи спектральная плотность приближается к равномерной, поскольку распределение мощности в спектральной области не зависит от количества и местоположения ресурсных блоков, выделяемых абоненту, а также не зависит от территориального расположения самого абонента. Для восходящей линии связи определение характеристик спектральной плотности не так однозначно, так как они зависят от ряда факторов (параметров трафика, характера радиоусловий и др.). Для проведения подробного анализа спектральной плотности излучения совокупности абонентских терминалов сети связи LTE была разработана схема измерительной установки и проведены экспериментальные исследования спектральной плотности на базе научно-исследовательской лаборатории БГУИР. В статье приводятся спектрограммы совокупности сигналов в восходящей линии сети связи LTE, полученные для различных интервалов времени и различных мест наблюдения. Сделано заключение о возможности использования эквивалентной равномерной спектральной плотности для описания помеховых воздействий от группировок абонентских терминалов сетей связи LTE.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, помеховое воздействие, спектральная плотность, LTE, OFDMA, SC-FDMA.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Новикова А.А., Козел В.М., Ковалев К.А. Исследование совокупной спектральной плотности сигналов в восходящем канале сети связи LTE. Доклады БГУИР. 2020; 18(4): 13-19.

RESEARCH OF THE TOTAL SPECTRAL DENSITY OF SIGNALS IN THE LTE UP-LINK

ANNA A. NOVIKOVA, VICTOR M. KOZEL, KONSTANTIN A. KAVALIYOU

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 3 June 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. This article is devoted to the analysis of the total spectral radiation density of LTE subscriber terminals. The LTE network uses orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) technology for downlink communications, and multiple access technology with single-carrier frequency division multiple access (SC-FDMA) for uplink communications. In a downlink, the occupied radio frequency band is determined by the number of resource blocks and the size of the step of placement of subcarrier oscillations in the frequency domain. Features of the technologies used for organizing multiple access in LTE networks determine the nature of the spectral density of the total radio signal. Thus, in a downlink, the spectral density approaches uniformity, since the power distribution in the spectral region does not depend on the number and location of resource blocks allocated to the subscriber, and also does not depend on the territorial location of the subscriber itself. For an uplink, the determination of spectral density characteristics is not so unambiguous, since they depend on a number of factors (traffic parameters, the nature of radio conditions, etc.). To conduct a detailed analysis of the spectral radiation density of a set of LTE subscriber terminals, a scheme of the measuring unit was developed and experimental studies of the spectral density were conducted on the basis of the BSUIR research laboratory. The article presents spectrograms of a set of signals in the uplink of the LTE communication network, obtained for different time intervals and different places of observation. The conclusion is made about the possibility of using an equivalent uniform spectral density to describe interference effects from groupings of subscriber terminals of LTE communication networks.

Keywords: electromagnetic compatibility, interference influence, spectral density, LTE, OFDMA, SC-FDMA.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Novikova A.A., Kozel V.M., Kavaliyou K.A. Research of the total spectral density of signals in the LTE up-link. Doklady BGUIR. 2020; 18(4): 13-19.

Введение

Согласно таблице распределения частот наиболее перспективные для развития сетей сотовой подвижной электросвязи полосы радиочастот совместно используются как радиоэлектронными средствами (РЭС) подвижной службы гражданского назначения, так и РЭС других радиослужб, в частности фиксированной, радиолокационной, радионавигационной и др. Особенности организации восходящего канала связи в сетях LTE предполагают динамическое во времени изменение параметров (рабочая частота, мощность, ширина полосы частот и др.) радиосигнала абонентского терминала в процессе сеанса связи. Данная особенность формирования восходящего канала значительно усложняет решение задачи обеспечения межсистемной электромагнитной совместимости группировки абонентских терминалов LTE со сторонними РЭС. В связи с этим исследования совокупности излучений, присутствующих в восходящем канале LTE, с целью получения простых эквивалентных моделей являются достаточно актуальными.

Методика проведения эксперимента

Сигнал нисходящей линии формируется на базе технологии OFDM. В спектральной области данный сигнал представляет совокупность ресурсных блоков, каждый из которых использует 12 синхронных (каждая поднесущая содержит целое число периодов, приходящихся

на длительность OFDM символа) поднесущих колебаний. Информационная нагрузка накладывается на сигнал-носитель с использованием низкоскоростной манипуляции поднесущих различными модуляционными схемами (BPSK, QPSK, 16QAM ... 256QAM и др.). Таким образом, занимаемая сигналом нисходящей линии полоса частот определяется количеством ресурсных блоков и величиной шага размещения поднесущих колебаний в частотной области [1].

В табл. 1 приведены данные для различных возможных конфигураций используемого радиоинтерфейса¹ в сетях связи четвертого поколения.

Таблица 1. Конфигурации используемого радиоинтерфейса в сетях связи четвертого поколения (шаг поднесущих 15кГц)

Table 1. Transmission bandwidth configuration N_{RB} in E-ULTRA channel bandwidths

Ширина полосы канала, МГц Transmission bandwidth	20	1,4	3	5	10	15
Количество ресурсных блоков Number resource blocks	100	6	15	25	50	75

Сигнал восходящей линии формируется с использованием SC-FDMA, позволяющей осуществлять синхронизацию сигналов, передаваемых абонентским оборудованием, одним, общим для всех абонентов опорным колебанием [2].

В зависимости от параметров трафика, характера радиоусловий (уровня внешнего шума, селективных и неселективных замираний, доплеровского сдвига и пр.) приема и настроек системы абоненту динамически выделяется от одного до всех возможных ресурсных блоков с изменяющимся расположением выделенного ресурса в частотной области в пределах используемого радиоканала.

Особенности используемых технологий организации множественного доступа в сетях подвижной связи четвертого поколения определяют характер спектральной плотности совокупного радиосигнала. Так, в нисходящем канале спектральная плотность приближается к равномерной, поскольку распределение мощности в спектральной области не зависит от количества и местоположения ресурсных блоков, выделяемых абоненту, а также не зависит от территориального расположения самого абонента. В восходящем канале подобная равномерность спектральной плотности сигнала не очевидна. Это в первую очередь обусловлено процедурами регулировки мощности абонентских терминалов в зависимости от радиоусловий в местах их расположения с целью «выравнивания» спектральной плотности совокупного сигнала от группировки абонентских станций в месте расположения приемной антенны базовой станции. Данное обстоятельство, совместно с изменением количества и местоположения выделенного конкретному абоненту в конкретный момент времени ресурса группового канала, приводит к существенным колебаниям спектральной плотности восходящего сигнала во времени [3]. Схематично подобная неравномерность иллюстрируется на рис. 1.

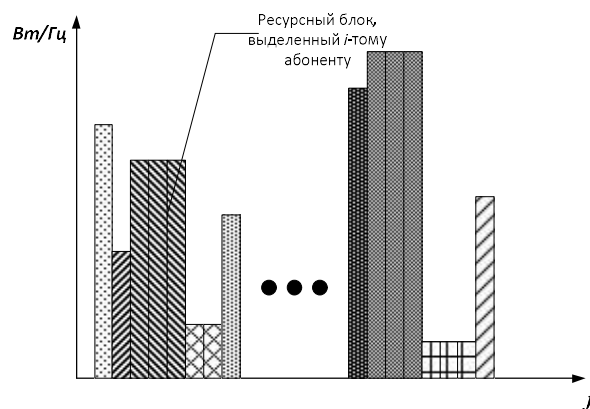


Рис. 1. Спектральная плотность мощности совокупного сигнала от группировки абонентских станций
Fig.1. Spectral power density of the aggregate signal from the mobile stations

¹ 3GPP TS 36.101 v8.11.0 (2010-10): Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. (Release 8).

Нестационарность на интервалах времени, соизмеримых с длительностью OFDM символа спектральной плотности мощности совокупного радиосигнала восходящей линии, не позволяет определить так называемое частотно-зависимое подавление² мешающего сигнала в приемном тракте рецептора помех (РЭС других радиослужб, функционирующих в совмещенных и/или прилегающих полосах частот совместно с сетями подвижной связи четвертого поколения), требуемое для анализа условий электромагнитной совместимости.

Результаты и их обсуждение

Эксперимент проводился в полосе радиочастот 1710–1740 МГц на базе центра радиоконтроля РУП «БелГИЭ» и НИЛ 1.12 БГУИР (см. табл. 2). Схемы измерительных установок представлены на рис. 2, 3.

Таблица 2. Координаты мест наблюдения электромагнитной обстановки
Table 2. Coordinates of places of observation of electromagnetic environment

№ точки № point	Координаты мест наблюдения (г. Минск) Coordinates of places of observation		Высота подвеса антенны, м Antenna suspension height, m
1	53°48'04,2	27°27'38,1	72
2	53°55'4	27°35'42	12

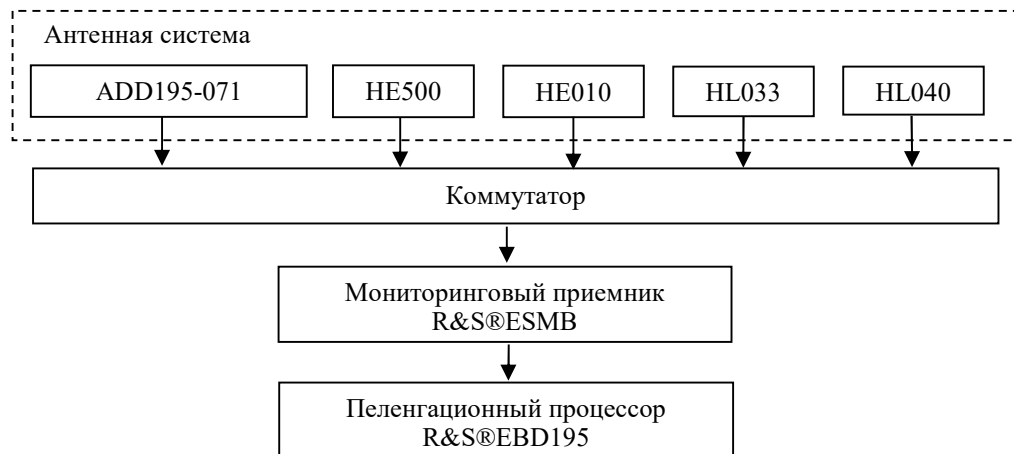


Рис. 2. Схема измерительной установки на базе центра радиоконтроля РУП «БелГИЭ»
Fig. 2. Diagram of the measuring setup based on the “BelGIE”

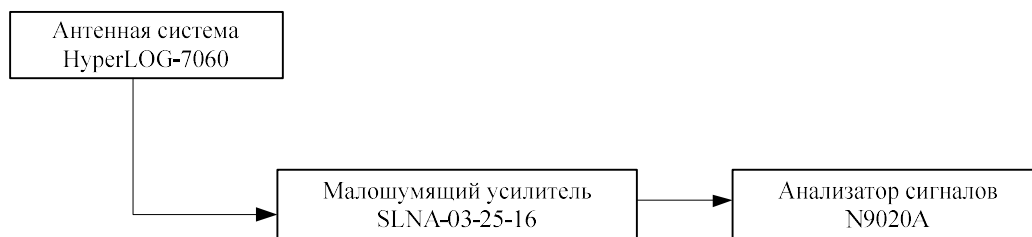


Рис. 3. Схема измерительной установки на базе НИЛ
Fig. 3. Diagram of the measuring setup based on the research laboratory

Амплитудный спектр напряженности электромагнитного поля в восходящем канале сети LTE, полученный в точке наблюдения 1 в режиме удержания максимальных значений, приведен на рис. 4. Линией 1 на рис. 4 обозначены результаты наблюдений, полученные в результате мониторинга за первый квартал 2019 года, линией 2 – за второй квартал 2019 года.

² Рекомендация МСЭ-R SM.337-5 Частотный и территориальный разнос.

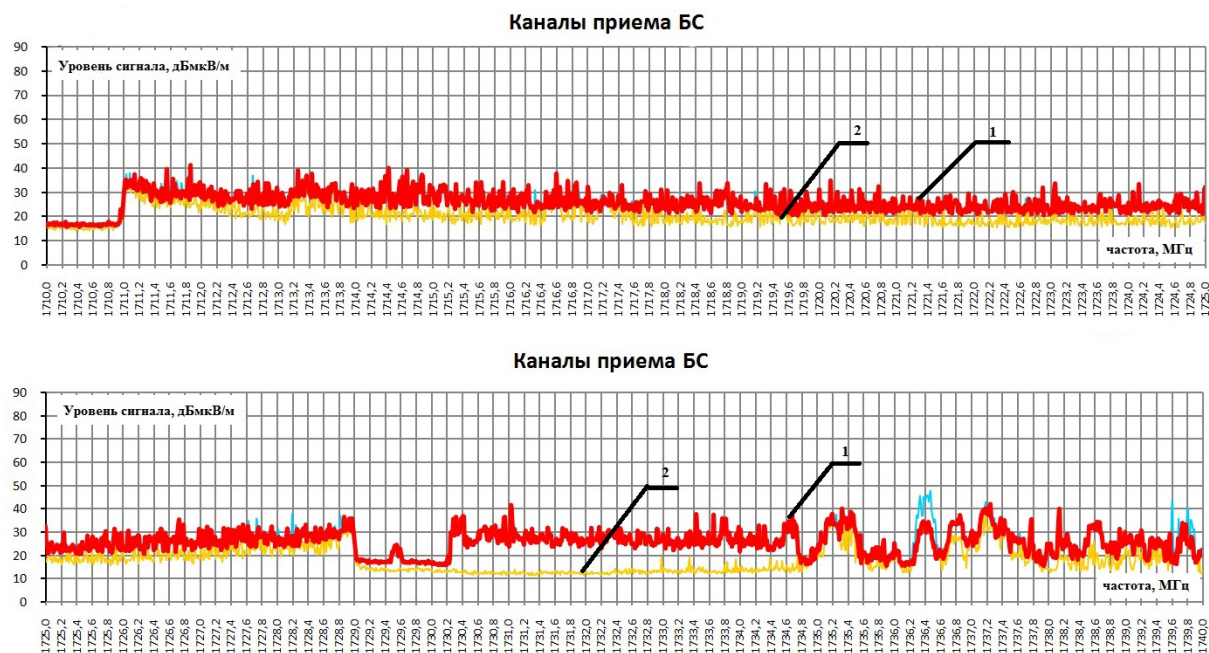


Рис. 4. Амплитудный спектр напряженности электромагнитного поля в восходящем канале сети LTE, полученный в точке наблюдения 1

Fig. 4. The amplitude spectrum of the electromagnetic field strength in the uplink of the LTE network obtained at the observation point 1

На рис. 5 представлены спектры мощности принимаемого сигнала в восходящем канале сети LTE, полученные в точке наблюдения 2 в режиме удержания максимальных значений, для различных интервалов наблюдения: 5 мин (рис. 5, *a*) и 120 мин (рис. 5, *b*).

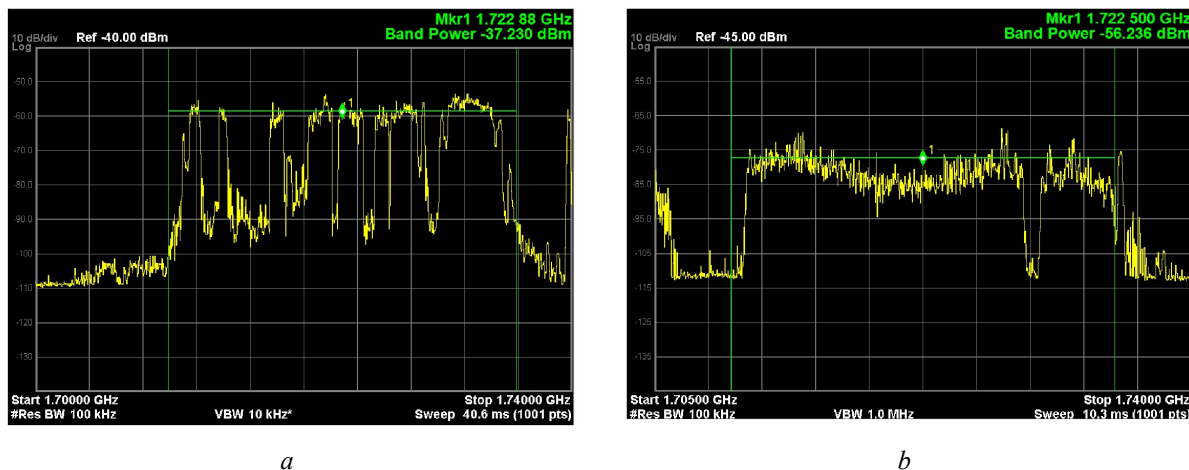


Рис. 5. Спектры мощности принимаемого сигнала в восходящем канале сети LTE, полученные в точке наблюдения 2, для интервалов наблюдения 5 мин (*a*) и 120 мин (*b*)

Fig. 5. The power spectra of the received signal in the uplink of the LTE network obtained at the observation point 2 for observation intervals of 5 min (*a*) and 120 min (*b*)

Характер зависимости, приведенной на рис 5, *a*, подтверждает неравномерность мгновенной (определяемой на достаточно коротких интервалах времени) спектральной плотности совокупности сигналов абонентских терминалов в восходящем канале. Вместе с тем зависимости, приведенные на рис. 4 и 5, *б*, характеризуют спектральную плотность совокупного сигнала в восходящем канале как равномерную при значительных временных интервалах ее оценивания.

Заключение

В результате проведенных исследований с учетом специфики формирования восходящего канала в сетях связи LTE для решения задачи обеспечения электромагнитной совместимости абонентского оборудования сети связи LTE с РЭС других служб и назначений может быть предложена упрощенная модель спектральной плотности группового сигнала абонентских терминалов сети связи LTE в восходящей линии в виде равномерной спектральной плотности мощности с параметрами:

– с шириной полосы, определяемой количеством используемых ресурсных блоков, количеством и шагом поднесущих в одном ресурсном блоке;

– уровнем, определяемым максимальной мощностью одного абонентского терминала, минимальным выделяемым одному абонентскому терминалу спектральным ресурсом (два ресурсных блока), потерями на трассе распространения от терминала к РЭС рецептору помех (абонентский терминал располагается на краю зоны обслуживания базовой станции LTE, ближайшей к месту размещения РЭС рецептора помех, или в месте расположения базовой станции).

Результаты работы могут быть использованы при разработке методики анализа условий электромагнитной совместимости группировки абонентских терминалов сетей четвертого поколения с РЭС других служб.

Список литературы

1. Muhanned Al-Rawi. Performance analysis of OFDMA and SC-FDMA. *Visnyk NT UU KPI Seria Radiotekhnika Radioaparabuduvannia*. 2017. DOI: 10.1556/1848.2017.8.2.2.
2. Tae-Won Yune, Chan-Ho Choi, Gi-Hong Im, Jong-Bu Lim, Eung-Sun Kim, Yoon-Chae Cheong, Ki-Ho Kim. SC-FDMA with iterative multiuser detection: improvements on power/spectral efficiency. *IEEE Communications Magazine*. 2010. DOI: 10.1109/MCOM.2010.5434389.
3. Козел В.М., Ковалев К.А. Определение уровня совокупной помехи от группировки мобильных станций стандарта LTE. *21-я международная конференция в Крыму «Микроволновые и телекоммуникационные технологии»*, Севастополь, Крым, Украина. 2011: 368-369.

References

1. Muhanned Al-Rawi. Performance analysis of OFDMA and SC-FDMA. *Visnyk NT UU KPI Seria Radiotekhnika Radioaparabuduvannia*. 2017. DOI: 10.1556/1848.2017.8.2.2.
2. Tae-Won Yune, Chan-Ho Choi, Gi-Hong Im, Jong-Bu Lim, Eung-Sun Kim, Yoon-Chae Cheong, Ki-Ho Kim. SC-FDMA with iterative multiuser detection: improvements on power/spectral efficiency. *IEEE Communications Magazine*. 2010. DOI: 10.1109/MCOM.2010.5434389.
3. Kozel V.M., Kavaliou K.A. [Level estimation of the cumulative interference from the group of the LTE mobile station]. *Proceeding of the 21st Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*, Sevastopol, Crimea, Ukraine. 2011: 368-369. (In Ukr.)

Вклад авторов

Новикова А.А. выполнила измерения спектральной мощности в восходящем канале сети LTE, описала полученные результаты исследования.

Козел В.М. определил цель проведения исследования, поставил задачи, разработал схему измерительной установки.

Ковалев К.А. принял участие в проведении экспериментальных исследований.

Authors' contribution

Novikova A.A. performed the measurement of the spectral power of the received signal in the uplink of the LTE network and described the results of study.

Kozel V.M. defined the purpose of the study, set the objectives and developed the diagram of the measuring setup.

Kavaliou K.A. participated in conducting experimental studies.

Сведения об авторах

Новикова А.А., аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Козел В.М., к.т.н, доцент кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Ковалев К.А., старший научный сотрудник НИЛ «Телекоммуникационные устройства и системы» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-29-566-25-68;
e-mail: annett.novikova@gmail.com
Новикова Анна Алексеевна

Information about the authors

Novikova A.A., PG student of Information Radiotechnologies Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kozel V.M., PhD, Associate Professor of Information Radiotechnologies Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kavaliou K.A., Senior Researcher R&D "Telecommunication systems and facilities" of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka str., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-29-566-25-68;
e-mail: annett.novikova@gmail.com
Novikova Anna Alekseevna