

• назначением общего канала для группы агрегируемых частотных компонент СС, в том числе кроссчастотным планированием в гетерогенных сетях (рис. 8, б и 9).

При кроссчастотном планировании в гетерогенной сети вместо отдельного использования частотных компонент в малых сотах (Small Cell) рациональнее применять агрегирование частотных полос с контролем взаимного влияния сот по линии каналов управления. Такой контроль получил название ICIC (Inter-Cell Interference Coordination) для канала PDCCH [1]. В сценарии на рис. 9 Macro Cell могла бы создать на компоненте СС1 высокий уровень влияния на канал управления PDCCH в Pico Cell. Однако, благодаря планированию этого канала на компоненте СС2, удается избежать этого влияния и достоверно передать необходимые параметры для назначения канала передачи данных PDSCH в Pico Cell. Аналогичное планирование осуществляется и в Macro Cell.

Такой способ планирования позволяет в гетерогенной сети сбалансировать нагрузку между частотными компонентами и снижать взаимное влияние каналов управления.

Заключение. Все рассмотренные аспекты имеют практическую значимость для специалистов, занимающихся планированием, строительством и эксплуатацией сетей сотовой связи, основанных на новых технологиях HSPA+ и LTE-Advanced, а также работающих в сфере оценки условий и мер по обеспечению электромагнитной совместимости этих сетей с другими радиосредствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Скрынников В. Г.** Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика.— М.: Спорт и Культура-2000, 2012.
2. **Скрынников В. Г.** Агрегирование спектра для IMT //Радиочастотный спектр.— 2012.— № 4.
3. **Скрынников В. Г.** Агрегирование спектра в системах UMTS/HSPA //Радиочастотный спектр.— 2012.— № 5.
4. HSPA+LTE Carrier Aggregation.— 4G Americas.— June 2012.
5. Evolution of HSPA+ Carrier Aggregation.— Qualcomm.— February 2014.
6. 3GPP TS 36.104. V12.2.0 (2014—01). Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception.— Technical Specification (Release 12).— 2014.
7. 4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 11 & Release 12 and Beyond.— 4G Americas.— February 2014.
8. **Скрынников В. Г.** Обеспечение ЭМС сетей UMTS и LTE с РЭС других радиослужб в России на основе нестандартных методов //Электросвязь.— 2013.— № 9.
9. **Скрынников В. Г.** Узловой момент радиосети //Радиочастотный спектр.— 2013.— № 4.
10. 3GPP TR 36.850. V11.1.0 (2013—07). Technical Specification Group Radio Access Network; Inter-band carrier aggregation.— Technical Report (Release 11).— 2013.

Получено 21.04.14

УДК 621.396.2

ВЛИЯНИЕ УЗКОПОЛОСНЫХ И ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ НА МНОГООЧАСТОТНУЮ ИМПУЛЬСНУЮ СШП-СИСТЕМУ РАДИОДОСТУПА

А. А. Фролов, аспирант МТУСИ; frolovrt0601@yandex.ru

Представлены результаты анализа влияния узкополосной и широкополосной стационарных сосредоточенных помех на работу многочастотной импульсной СШП-системы. В ходе исследования получены зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум. Достижимый уровень ошибок системы $P_{\text{ош}} = 10^{-3}$. Определены условия возможности и целесообразности реализации принципа совместного использования РЧС с узкополосными и широкополосными системами.

Ключевые слова: многочастотные системы, импульсные системы, СШП-системы, конвергенция технологий, влияние помех, узкополосные системы, дефицит РЧС.

Введение. В современных условиях дефицита радиочастотного спектра (РЧС) многочастотные сверхширокополосные (СШП) системы являются одним из вариантов решения проблемы. Применение СШП-систем позволяет абонентам обмениваться большими объемами данных на высокой скорости. К тому же, работа в одном диапазоне частот с широкополосными и узкополосными системами радиодоступа реализует принцип совместного использования РЧС.

Потребность в высокоскоростной передаче данных и повышение требований к качеству услуг операторов связи

вынуждают их поспешно внедрять высокоскоростные технологии третьего и четвертого поколения. Существующие технологии широкополосного беспроводного доступа WiFi и WiMAX частично решают задачу повышения скорости передачи данных [7].

СШП-системы радиодоступа. Системы радиосвязи можно классифицировать по различным критериям: дальность, мощность, скорость передачи, методы модуляции, технологии радиодоступа и др. Одним из критериев классификации является коэффициент широкополосности сигнала, введенный Л. Ю. Астаниным в конце XX века. Коэффициент определяется как отношение занимаемой радиосистемой полосы частот к центральной частоте системы [2]:

$$\mu_n = \frac{2(F_v - F_n)}{(F_v + F_n)}, \quad (1)$$

где F_v – верхняя, а F_n — нижняя частота системы.

Системы радиосвязи можно классифицировать по значению коэффициента широкополосности, рассчитанному по формуле (1). Системы радиосвязи определяются как узкополосные (УП) — $\mu_n < 0,02$, широкополосные (ШП) — $0,02 < \mu_n < 0,5$ и СШП — $\mu_n = 0,5 \div 2$

Современные системы радиодоступа, ориентированные на широкую аудиторию потребителей, работают в нелицензируемой части РЧС. Этот диапазон делят системы радиодоступа стандартов WiFi, WiMAX, Bluetooth и др. Задачу эффективного использования РЧС решают СШП-системы связи. Они не только обеспечивают передачу данных на высокой скорости по радиоканалу, но и реализуют принцип совместного использования РЧС.

По решению ГКРЧ от 15 декабря 2009 г. № 09-05-02 «О результатах работ по конверсии радиочастотного спектра по вопросу использования полосы радиочастот 2,85–10,6 ГГц сверхширокополосными беспроводными устройствами» [6] СШП-системы радиодоступа определяются как системы, работающие в нелицензируемом диапазоне частот и использующие для передачи/приема данных частотные каналы шириной не менее 500 МГц.

В отечественной и зарубежной литературе подробно рассмотрены импульсные и многочастотные СШП-системы, однако некоторые вопросы освещены не полностью. В частности, представляет интерес совмещение импульсной и многочастотной технологии, а так же влияние помех на работу многочастотной импульсной СШП-системы.

Системы СШП являются системами малого радиуса действия (до 100 м). Они предназначены для передачи больших объемов данных на высокой скорости внутри помещений. Такие системы приходят на смену проводным системам, используемым для обмена данными между приборами, телефоном и гарнитурой, медицинских зондов и т.п., и позволяют освободить рабочее пространство на рабочем месте. В статье речь идет о системах связи, образующих внутриофисный сегмент сети радиодоступа. Мощные транспортные системы радиодоступа, работающие в нелицензируемом диапазоне частот (WiMAX и WiMAN) и не предназначенные для работы в помещении, здесь не рассматриваются.

Ниже проводится сравнение характеристик для систем WiFi, спроектированных в соответствии с требованиями стандарта IEEE 802.11 a/n. Эти системы работают совместно с СШП-системами в диапазоне частот 5 ГГц. В том же диапазоне система Wave Net Access 2458 [11] обеспечивает маршрутизацию данных на расстоянии до 300 м. Также рассмотрены характеристики системы, построенной в соответствии с новой спецификацией семейства стандартов WiFi — IEEE 802.11 ac.

Совместная работа в диапазоне частот. Системы связи, применяемые в настоящий момент, работают в соседних диапазонах частот, либо в совместных диапазонах и оказывают определенное влияние друг на друга. В нелицензируемой части спектра СШП-системы работают совместно со многими системами, являясь помехами друг для друга.

Системы, рассмотренные в данной работе (см. таблицу), создают мощные квазидетерминированные помехи для импульсной многочастотной СШП-системы в диапазоне частот 5 ГГц.

Системы WiFi (IEEE 802.11 a/n) и Wave Net Access 2458 являются квазидетерминированными узкополосными помехами для СШП-систем, а система WiFi (IEEE 802.11 ac) — квазидетерминированной широкополосной помехой. На рис. 1 приведен пример действия помехи на СШП-систему радиодоступа.



Рис. 1. Действие УП- или ШП-помехи

В ходе работы была разработана имитационная модель влияния УП- и ШП-помехи на СШП-систему в программной среде Matlab/Simulink. Структурная схема имитационной модели представлена на рис. 2.

Многочастотная импульсная СШП-система, представленная на структурной схеме имитационной модели (рис. 2), и ее характеристики были рассмотрены в [8, 9]. Устройство формирования канальных сигналов из сверхкороткоимпульсного сигнала, поступающего с выхода генератора сверхкоротких импульсов (ГСКИ), формирует для каждого канала индивидуальный сигнал.

Битовая последовательность кодированной информации модулируется с помощью амплитудной манипуляции, а перемежитель/деперемежитель, в свою очередь, формируют статистически квазинеинтеркоррелированное сообщение. Далее

Параметры системы	Значение параметра для			
	Wave Net Access 2458 (беспроводный маршрутизатор)	802.11 a/n (WiFi)	802.11 ac (WiFi)	Многочастотная импульсная СШП-система
Рабочая полоса частот системы, ГГц	5,8	5–6	5–6	2,85–10,6
Ширина рабочей полосы частот одного канала, МГц*	78	40	160	500
Спектральная плотность излучаемой мощности, дБм/Гц*	20	20–30	20	-50
Количество поднесущих	79	78	512	15
Коэффициент широкополосности	0,012927	0,007273	0,031496	1,149
Поддерживаемая скорость передачи, Мбит/с	0,6	56	≥600	100

* В соответствии с [5, 6].

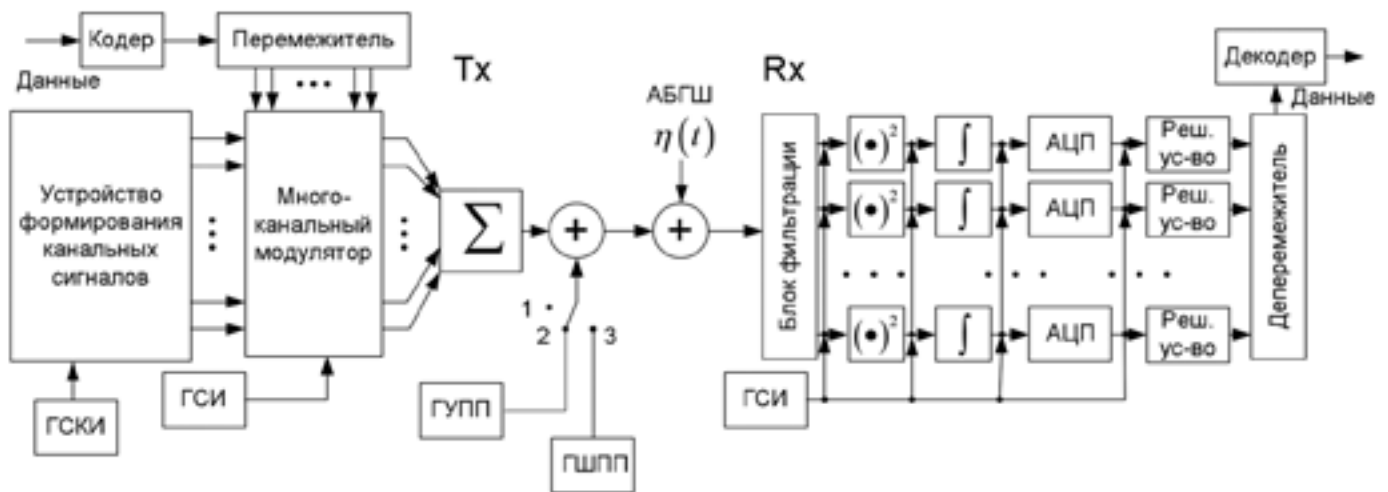


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели

полученный сигнал переносится на сформированный каналный сигнал.

Синхронизацию в рассматриваемой системе обеспечивает генератор синхроимпульсов (ГСИ), размещенный на передающей и приемной стороне системы. Суммарный сигнал с N каналов проходит канал связи и поступает на вход приемника. В качестве модели канала связи использован канал с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ).

В связи с особенностями системы, описанными выше, в рассматриваемой системе используется некогерентный приемник. В качестве имитаторов помех на схеме рис.2 представлены генераторы узкополосной помехи (ГУПП) и широкополосной помехи (ГШПП), соответственно. Сигналы, формируемые этими генераторами, соответствуют физическому уровню излучаемых сигналов УП-системы радиодоступа стандарта WiFi (IEEE 802.11 a/n) и ШП-системы радиодоступа стандарта WiFi (IEEE 802.11 ac). Для формирования сигналов этих систем применяется технология OFDM.

Сигналы с выходов генераторов помех являются квазидетерминированными сигналами, представляющими собой сумму нескольких поднесущих гармонических колебаний, занимающих, в соответствии со спецификациями семейства стандарта WiFi, полосу частот шириной 40 и 160 МГц. Сигналы с выходов этих генераторов подаются на вход сумматора, где они складываются с сигналом многочастотной импульсной СШП-системы.

Сигнал с выхода сумматора передатчика рассматриваемой СШП-системы представляет собой сумму канальных сигналов, образованных путем фильтрового разделения СКИ-сигнала. Сигнал на выходе передатчика многочастотной импульсной СШП-системы определяется формулой

$$s(t) = \sum_{i=1}^N \left[2\sqrt{e} A t f_0 \exp(-2(\pi f_0 t)^2) \right] H_i(f_i), \quad (2)$$

где A — амплитуда СКИ сигнала; f_0 — средняя частота системы; $H_i(f_i)$ — передаточная функция полосового эллиптического фильтра 8-го порядка; f_i — средняя частота канала; N — количество каналов; i — номер канала.

Сигнал с выхода сумматора представляет собой сигнал исследуемой СШП-системы и мощную стационарную помеху, установленную в диапазоне 5 ГГц.

Результаты моделирования. В результате имитационного моделирования получены графики зависимостей вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$ от отношения сигнал/шум (ОСШ) для случаев (рис. 3): 1 — АБГШ; 2 — АБГШ с УП-помехой; 3 — АБГШ с ШП-помехой. Рассмотренные в работе варианты помеховой обстановки в диапазоне 5 ГГц соответствуют приведенным графикам зависимостей $P_{\text{ош}}$ от ОСШ.

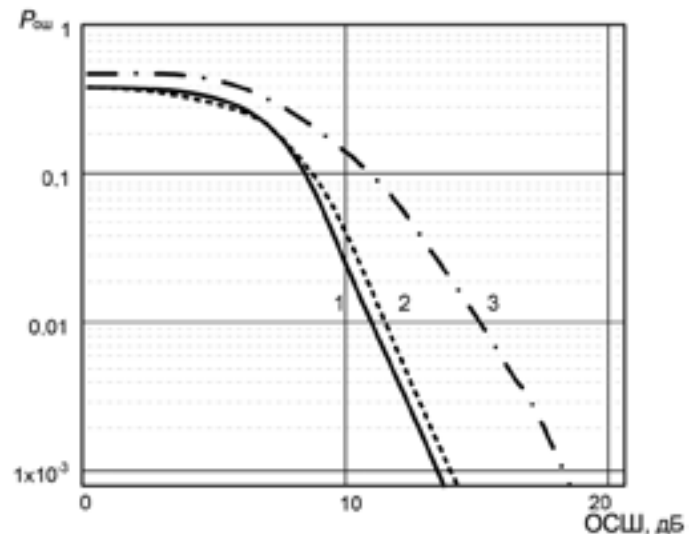


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования

Как видно из рис. 3, многочастотная импульсная СШП-система достигает уровня вероятности ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-3}$ при ОСШ равном 12,5 дБ. Наличие мощной УП-помехи в диапазоне 5 ГГц оказывает незначительное влияние на многочастотную импульсную СШП-систему. В этом случае уровень $P_{\text{ош}} = 10^{-3}$ достигается при ОСШ = 13–13,2 дБ. При воздействии ШП помехи $P_{\text{ош}} = 10^{-3}$ достигается при ОСШ \approx 18 дБ.

Учитывая мощность помех, спектральная плотность мощности которых на 70 дБ больше спектральной плотности мощности исследуемой СШП-системы, необходимо использовать такие известные методы борьбы с ними, как режекция и амплитудное ограничение сигнала [1, 3, 4]. Амплитудные ограничители применимы для борьбы с мощными УП- и ШП-помехами. Они сглаживают уровень сиг-

нала, в том числе и мощную помеху, и не позволяют ввести приемник многочастотного импульсного СШП-сигнала в самовозбуждение.

Частотная режекция помехи осуществляется режекторными фильтрами, которые достаточно просты в реализации. Режекторные фильтры вырезают из спектра ту полосу частот, в которой сосредоточены помехи. С увеличением полосы частот, задаваемой фильтром, возрастает сложность реализации этого фильтра. Таким образом, метод режекции помех пригоден для борьбы с УП-помехой. При наличии ШП-помехи в диапазоне работы системы необходимо принять решение о целесообразности работы системы в этом диапазоне частот.

Выводы. 1. Рассмотренные системы радиодоступа работают в одной полосе частот с многочастотной импульсной СШП-системой и являются для нее мощными УП- и ШП-помехами.

2. При воздействии УП-помехи на многочастотную импульсную СШП-систему наблюдается незначительное снижение ее помехоустойчивости — не более 1,5 дБ относительно помехоустойчивости рассматриваемой СШП-системы при отсутствии помех. Следовательно, многочастотная импульсная СШП-система устойчива к влиянию УП-помехи. Физический уровень сигнала, имитирующего УП-помеху, соответствует физическому уровню сигнала УП-системы радиодоступа, работающей в диапазоне 5 ГГц. Таким образом, для многочастотной импульсной СШП-системы и УП-систем радиодоступа осуществляется принцип совместного использования спектра и подтверждается возможность совместной работы СШП- и УП-систем в одном диапазоне частот.

3. На работу многочастотной импульсной СШП-системы ШП-помеха оказывает большее влияние. Помехоустойчивость системы при этом снижается на 6–6,5 дБ относительно случая отсутствия помехи и на 5–5,5 дБ в случае с УП-помехой. К тому же УП-помеха занимает более 1/3 полосы частот канала многочастотной импульсной СШП-системы в диапазоне 5 ГГц. Соответственно, большая часть сигнала будет искажена. При воздействии мощной стационарной ШП-помехи необходимо пересмотреть целесообразность работы СШП-системы в данном диапазоне частот, либо применить эффективные алгоритмы частотно-временного планирования и оценки загруженности РЧС, в частности, алгоритмы, применяемые в когнитивном радио [10].

4. Для борьбы с рассмотренными видами помех необходимо применять методы амплитудного ограничения и частотной режекции, которые нуждаются в отдельном исследовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будко П. А., Осипов Д. Л. Оптимизация режекции сосредоточенной по спектру помехи в РТС со сложными сигналами // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. — 2003. — № 1. — С.72–78
2. Косичкина Т. П., Сидорова Т. В., Сперанский В. С. Сверхширокополосные системы телекоммуникаций. — М.: Инсвязьиздат, 2008. — 304 с.
3. Косичкина Т. П., Сперанский В. С. Анализ методов подавления узкополосных помех при приеме СШП сигналов // Электросвязь. — 2010. — № 3. — С.17–20.
4. Малыгин И. В. Один из способов защиты широкополосных систем связи от мощных узкополосных помех // Телекоммуникации. — 2001. — № 11.
5. Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 14 сентября 2010 г. № 124 об утверждении правил применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц (в ред. Приказа Минкомсвязи России от 23.04.2013 № 93).
6. Решение ГКРЧ от 15 декабря 2009 г. № 09–05–02 «О результатах работ по конверсии радиочастотного спектра по вопросу использования полосы радиочастот 2,85–10,6 ГГц сверхширокополосными беспроводными устройствами»
7. Соколова М. В. Сверхширокополосная беспроводная связь: история и перспективы развития // T-Comm. — 2008. — № 2. — С.50–53.
8. Фролов А. А. Импульсные многочастотные сверхширокополосные системы связи. Фундаментальные проблемы радиозонного приборостроения / Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC — 2012», 3–7 декабря 2012 г., Москва. Часть 5 / Под ред. чл.-корр. РАН А. С. Сигова. — М.: МГТУ МИРЭА — ИРЭН РАН, 2012. — С. 108–111.
9. Фролов А. А. Сверхширокополосная система радиодоступа с совмещением многочастотной и импульсной технологией // T-Comm — Телекоммуникации и транспорт. Системы подвижной связи и цифрового телерадиовещания. Спецвыпуск по итогам 7-й отраслевой научной конференции МТУСИ «Технологии информационного общества». — 2013. — № 9.
10. Kwang-Cheng Chen. Ramjee Prasad Cognitive radio networks. — 2009 John Wiley & Sons Ltd.
11. www.i2r.ru/static/382/out_15433.shtml.

Получено 07.04.14

ИНФОРМАЦИЯ

27–28 мая в Будапеште на совместной XLII сессии Совета и 17-й сессии Эксплуатационного комитета Международной организации космической связи «ИНТЕРСПУТНИК» (см. «ЭС» № 6, 2014, с. 34) было принято решение наградить коллектив журнала «Электросвязь» Почетной грамотой за значительный вклад в достижение

целей и реализацию задач МОКС «ИНТЕРСПУТНИК» и повышение международного авторитета Организации, а также в связи с 80-летием журнала (см. «ЭС» № 11–12, 2013).

Редколлегия и редакция журнала благодарят руководство «ИНТЕРСПУТНИКА» за высокую оценку своего труда.

