

УДК 621.396.96

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ GSM-СТАНЦИИ СОТОВОЙ СВЯЗИ  
В ЦЕЛЯХ ЕГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

ХИШАМ М. АЛЬ-ХЕТКИ, А.А. ФИРСАКОВ, С.А. КУЧКО, С.А. КОВАЛЕВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь,**Научно-производственное республиканское унитарное предприятие "АЛЕВКУРП"  
П. Бровки, 6-331, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 10 января 2006*

Изложена методика и представлены результаты экспериментального исследования характеристик излучения базовой станции сотовой связи стандарта GSM, существенных для его использования в интересах радиолокационного наблюдения: фазово-временная структура, корреляционная функция, функция неопределенности.

*Ключевые слова:* полуактивная радиолокация, сотовая связь GSM, сигнал подсвета, закон модуляции, корреляционная функция, функция неопределенности.

В последние годы развитие радиолокации связано с разработкой и созданием полуактивных радиолокаторов, осуществляющих радиолокационное наблюдение с использованием подсвета от действующих источников нерадиолокационного назначения [1–3], в том числе базовых станций сотовой связи (БССС) стандарта GSM [4]. В связи с этим практический интерес представляет экспериментальная оценка характеристик сигналов БССС наиболее распространенного стандарта GSM, так как в известных источниках [4, 5] наблюдается несовпадение отдельных данных, а ряд существенных характеристик не описан или не исследовался. К таким характеристикам относятся форма и эффективная ширина энергетического спектра, фазово-временная структура сигнала, а также функция неопределенности:

$$\rho(\tau, F) = \left| \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} U(t)U^*(t - \tau) \exp(-i2\pi F\tau) dt \right|^2, \quad (1)$$

где  $T$  — интервал наблюдения;  $U(t)$  — комплексный закон модуляции;  $\tau, F$  — рассогласование по времени  $\tau$  и частоте  $F$ .

Анализ спектральных характеристик выполнялся с использованием спектроанализатора НР 54616С, входом подключенного к направленной логопериодической директорной антенне диапазона 750–1050 МГц с коэффициентом усиления  $G_0 = 14$  дБ, вертикальной поляризацией и выходным сопротивлением 50 Ом.

Из действующих излучений БССС в районе исследований (рис. 1,а) выбрано излучение с рабочей частотой  $f_0 = 946,25$  МГц, спектральная плотность которого превосходила уровень фона на 40–45 дБ.

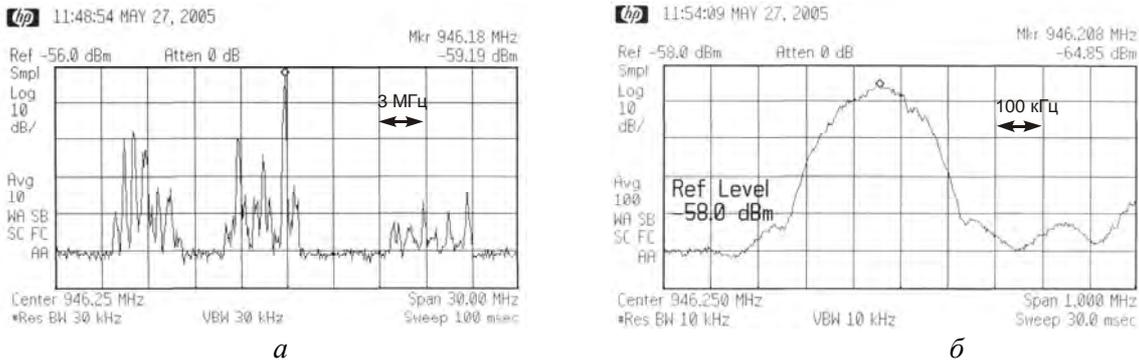


Рис. 1. Спектрограммы излучений БССС

Как видно, эффективная ширина спектра (рис. 1,б) соответствует  $\Delta f_0 = 200$  кГц в отличие от данных [4, 5].

Функция неопределенности выбранного излучения GSM-станции исследована с использованием Mathcad. С этой целью разработан и создан аппаратно-программный комплекс по приему-преобразованию в цифровую форму — выполнению расчетов. Для преобразования исследуемого сигнала в цифровую форму использовался 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь (ADC) на промежуточной частоте 35 МГц, подключенный к выходу супергетеродинного приемника (рис. 2), в котором применена упомянутая антенна, а в качестве перестраиваемого гетеродина "G" использован синтезатор НМ 8133-2. Для эффективной частотной селекции выбранного сигнала и согласования с динамическим диапазоном ADC использован усилитель с полосовым фильтром при ширине полосы пропускания  $\Delta f_R \approx 0,5-0,8$  МГц.

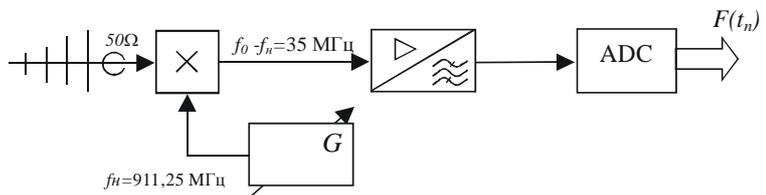


Рис. 2. Блок-схема экспериментального приемника

При этом уровень ближайших по частоте сигналов не превышает спектральной плотности шума в полосе пропускания (рис. 3,а), а ширина спектра GSM-сигнала составляет  $\Delta f_0 \approx 200$  кГц (рис. 3,б).

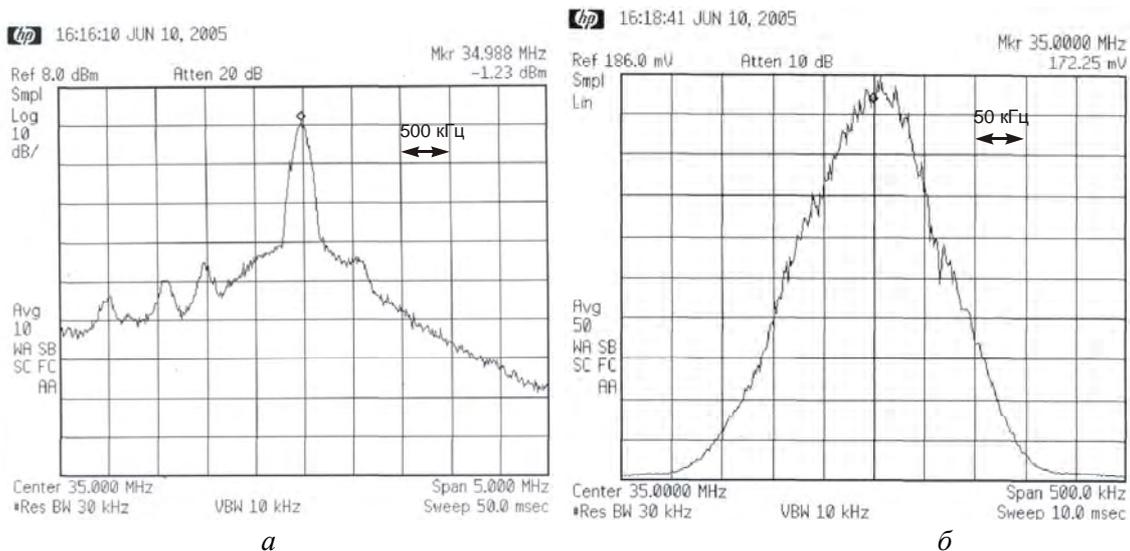


Рис. 3. Спектр преобразованного по частоте GSM-сигнала

На рис. 4 показана реализация закона фазовой модуляции (ФМ) GSM-сигнала  $\arg F(t_n)$  и рассчитанный ее энергетический спектр при длительности реализации 65,5 мс. Закон ФМ соответствует GMSK-модуляции с длительностью дискрета  $T_\delta = 3,69$  мкс [6], а эффективная ширина спектра, полученного путем дискретного преобразования Фурье, также подтверждает оценку  $\Delta f_0 \approx 200$  кГц.

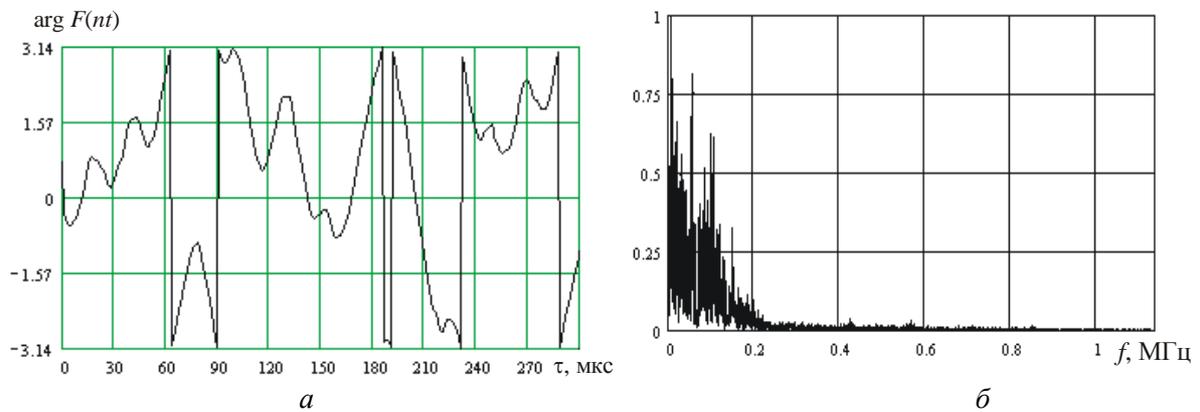


Рис. 4. Закон ФМ реализации GSM-сигнала (а) и его энергетический спектр (б)

Оценка корреляционной функции выполнена с использованием известного соотношения для ее дискретного аналога на основе быстрого преобразования Фурье "FFT":

$$r(k\Delta\tau) = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^{N-1} |G(m\Omega)|^2 \exp(jm\Omega k\Delta\tau) = \overline{FFT} \left[ |G(m\Omega)|^2 \right], \quad (2)$$

где  $G(m\Omega) = \sum_{n=0}^{N-1} F(n\Delta t) \exp(-jm\Omega k\Delta\tau) = FFT[F(t_n)]$  — дискретное преобразование Фурье от  $F(t_n) = F(n\Delta t)$  — от отчетов исследуемого GSM-сигнала;  $\Delta t$  — интервал дискретизации по времени;  $\Omega = 2\pi/N\Delta t$  — по частоте;  $\overline{FFT}$  — обратное дискретное преобразование Фурье.

Корреляционная функция вычисляется при  $\Delta t \approx 0,5$  мкс и  $\Delta t \approx 1$  мкс на малом и большом интервале анализа. Рассчитанные реализации корреляционной функции показаны на рис. 5.

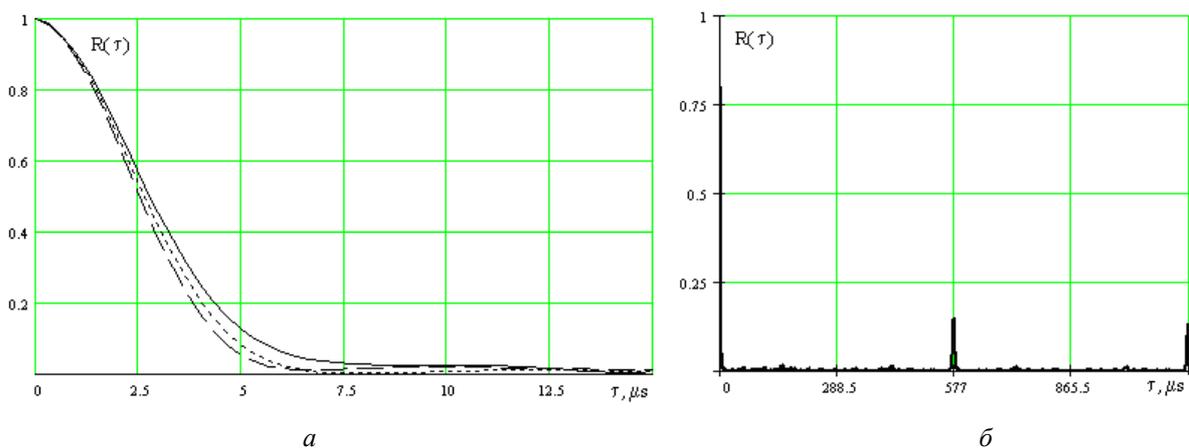


Рис. 5. Корреляционная функция GSM-сигнала

Как видно из диаграмм, время корреляции закона модуляции составляет (рис. 5,а)  $\tau_0 \approx 5$  мкс, что согласуется с оценкой ширины спектра  $\Delta f_0 \approx 200$  кГц и позволяет обеспечить разрешающую способность по дальности  $\Delta r \geq 750$  м, с учетом известного соотношения

$$\Delta r = \frac{c}{\Delta f_0 \cos(\beta/2)}, \quad (3)$$

где  $\beta$  — бистатический угол "GSM-станция–Цель – РЛС". GSM-сигнал характеризуется некоторой периодически повторяющейся составляющей (рис. 5,б), обуславливающей возможность неоднозначного определения дальности, что вызвано наличием защитного периода ( $8,25 \times 3,69$  мкс) и настроечной кодовой последовательности ( $26 \times 3,69$  мкс) в пределах изучаемого "слота" длительностью 577 мкс.

Функция неопределенности GSM-сигнала рассчитана с использованием Mathcad на основе представления  $\rho(\tau, \Delta F)$  в дискретной форме:

$$\rho(k\Delta\tau, m\Delta F) = \left| \sum_{n=1}^{N-1} F(n\Delta t) F^*(n\Delta t - k\Delta\tau) \exp(-j2\pi m F k \Delta\tau) \right|^2 = \left| FFT[F(t_n) F^*(t_n - k\Delta\tau)] \right|^2, \quad (4)$$

где  $\Delta F = \Omega/2\pi$  — интервал дискретизации по частоте, и в целях сокращения потребного времени расчетов и объема памяти представлена на рис. 6.

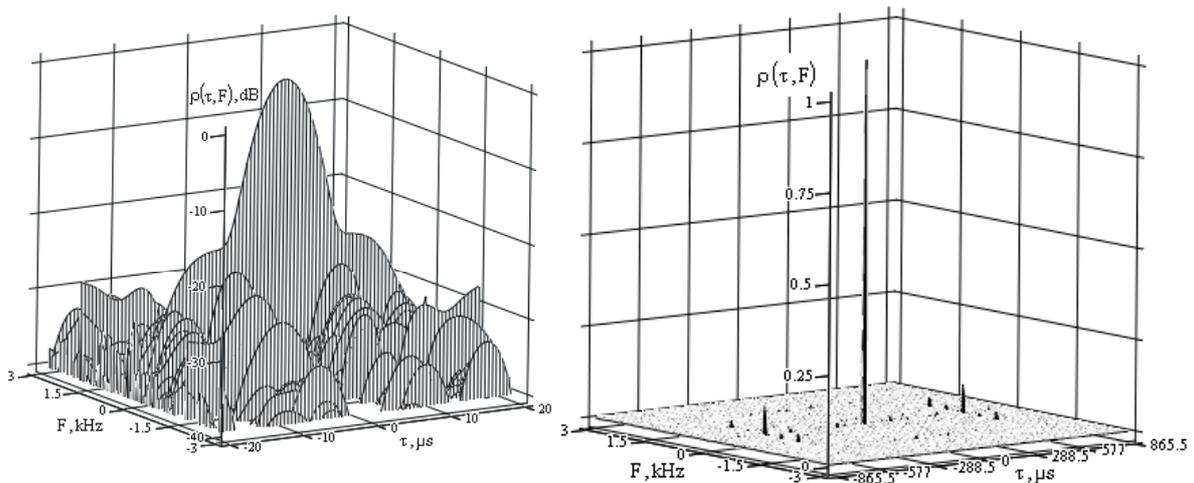


Рис. 6. Функция неопределенности GSM-сигнала

"Кнопочная" конфигурация функции неопределенности свидетельствует о возможности одновременной селекции полезного сигнала по дальности и скорости.

Как следует из представленных результатов, излучения GSM-станций сотовой связи вполне пригодны для использования в интересах построения полуактивных РЛС как сигналы подсвета зоны радиолокационного наблюдения. Достижимая при этом разрешающая способность по дальности будет составлять  $\Delta r \geq 750$  м с учетом соотношения (3), а по скорости  $\Delta V_r \approx 2,5$  м/с при времени радиолокационного контакта  $T_{a0} = T \approx 65$  мс. Интервал однозначного определения дальности  $\Delta r_{\text{одн}} \geq 86,5$  км существенно превышает прогнозируемую дальность действия.

## ANALYSIS OF GSM BASE STATION SIGNAL FOR ITS RADAR APPLICATION PURPOSE

HISHAM M. ELHETKI, A.A. FIRSAKOV, S.A. KOVALJOV, S.A. KUCHKO

### Abstract

A method and results of experimental research on GSM base station illumination characteristics (phase-time structure, correlation function and the ambiguity function) are presented. This research was aimed to estimate the possibility of using this radiation as the illumination signal of bistatic semi-active radar.

### Литература

1. *Griffiths H.D.* // Proc. IEEE 2003 Int. Radar conference. Adelaide, Australia, September 2003. P. 1–7.
2. Полуактивная радиолокационная станция. Пат. РБ 6635 от 15.07.2004 по заявке а20010184, приоритет от 27.02.2001.
3. *Slezák L., Kvasnička M., Pelant M. et al.* // Proc. of Int. Workshop on MRRS 2005 Int. Conference, NAU. Kiev, Ukraine, Sept, 2005. P. 283–290.
4. *Sun H., Tan D., Lu Y., Liu W.* Accepted by Int. Conference of Radar Systems. Toulouse, France, October 2004, 6P-RCMT-141.
5. *Griffiths H.D., Baker C.J., Ghaleb H., et al.* // Electronics Letters. 2003. Vol. 39, No.13, P. 1005–1007.
6. *Ратынский М.В.* Основы сотовой связи. М., 2000. 248 с.