

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА

Елягин С. В., Дементьев В. Е.

ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет

В настоящее время в жизни современного общества все возрастающую роль играет экология. Остро необходимым представляется получение заинтересованными структурами и населением адекватной и оперативной информации об экологическом состоянии интересующей их территории. Одним из важнейших аспектов экологической информации являются данные об электромагнитном загрязнении. Действительно, на территории современного города находятся десятки тысяч генераторов электромагнитного излучения, способных существенно влиять на качество жизни. Понятно, что выявление источников электромагнитного загрязнения и оценка их воздействия на экологию исследуемой территории является важной и актуальной задачей. В настоящее время для оценки уровня электромагнитного поля применяют дорогостоящие приборы, требующие присутствия человека и профессиональной эксплуатации. Понятно, что построение карт электромагнитного загрязнения в этих условиях является дорогостоящим и затратным по времени мероприятием.

В настоящей работе для проведения мониторинга электромагнитного загрязнения предлагается использование автономного мобильного измерительного терминала (МИТ), позволяющего просто и с минимальными затратами получать значения плотности потока энергии в текущей точке. Показывается, что использование двух различных детекторов радиосигнала AD8314 [AD8314] и ZX47-50-S+ [ZX47-50+] для оценки уровня электромагнитного поля может осуществляться с использованием функциональных зависимостей (рекомендуемых производителями) между выходным напряжением детекторов радиосигнала и уровнем сигнала. Это позволяет на первом этапе отказаться от дорогостоящей процедуры калибровки.

Предлагаемое устройство разработано на основе [Пат. на полезную модель №73144 2008: 112] и предназначено для измерения интегрального уровня электромагнитного сигнала, а также координат нахождения мобильного объекта, на котором установлен МИТ. Основной отличительной особенностью предлагаемого МИТ является использование двух различных детекторов радиосигнала. МИТ обеспечивает:

1. Измерение мощности излучения совокупности одновременно работающих передающих антенн различных операторов, работающих в различных диапазонах;
2. Привязку измерительных данных ко времени, дате, географическим координатам и высоте;
3. Сохранение результатов измерения в энергонезависимой памяти;
4. Возможность автономной работы (без участия оператора).

В мобильном измерительном терминале используется детектор радиосигнала AD8314, работающий в диапазоне 0.1-2.7 ГГц, имеющий динамический диапазон от минус 45 дБм до 0 дБм и детектор ZX47-50-S+, работающий в диапазоне 0.01-8 ГГц и имеющий динамический диапазон от минус 50 дБм до 5 дБм. Выходным сигналом детекторов радиосигнала является постоянное напряжение U , значение которого прямопропорционально уровню $P[\text{дБм}]$ входного сигнала. Характеристика преобразования детектора AD8314 описывается линейной функцией [AD8314].

$$\begin{aligned} P_1(0.9 \text{ ГГц}) &= U_1 \cdot 48.3 - 50.6, \\ P_1(1.9 \text{ ГГц}) &= U_1 \cdot 50.8 - 53.3. \end{aligned} \quad (1)$$

Характеристика преобразования детектора Z47-50-S+ описывается линейной функцией [ZX47-50+]:

$$\begin{aligned} P_2(1 \text{ ГГц}) &= -U_2 \cdot 40.5 + 31.7, \\ P_2(1.9 \text{ ГГц}) &= -U_2 \cdot 40.5 + 30.5. \end{aligned} \quad (2)$$

Очевидно, что использование формул (1) и (2), отдельно для конкретных частот, не представляется возможным в виду наличия в точке измерения

одновременно работающих систем GSM-900 и GSM-1800. Поэтому предлагается использовать усредненные выражения (3), полученные из формул (1) и (2) соответственно.

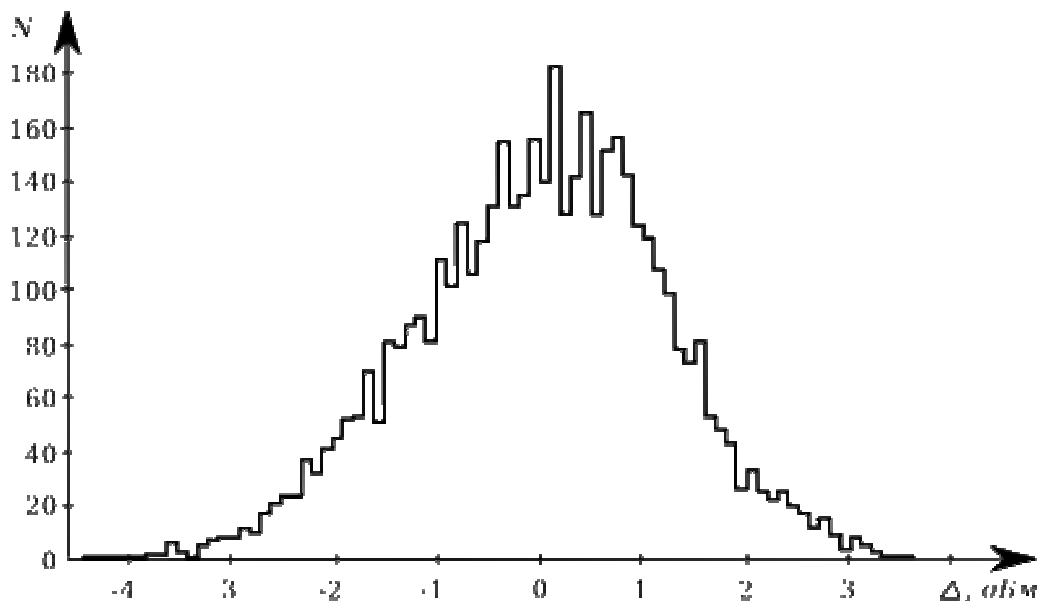
$$\begin{aligned}\bar{P}_1 &= U_1 \cdot 49.6 - 52, \\ \bar{P}_2 &= -U_2 \cdot 40.5 + 31.1.\end{aligned}\tag{3}$$

Следует отметить, что наибольшее отклонение по формулам (1) и (2) составляет 2,2 дБм и 1,2 дБм соответственно. При этом ошибка измерения уровня сигнала для детекторов составляет порядка ± 1 дБм [AD8314, ZX47-50+]. Кроме того, излучаемый антеннами сигнал в стандарте GSM характеризуется частотно-временными флуктуациями [Григорьев 2005: 772]. В работе [Елягин 2008: 29] было показано, что среднеквадратическое отклонение (СКО) уровня сигнала в конкретной точке измерения составляет 0.94 - 1.28 дБм. При этом наименьшее значение СКО наблюдается при использовании четырех повторных измерений и при интервале времени накопления равным трем минутам.

Для проверки адекватности измерений предлагается следующий подход: будем считать, что используемые детекторы имеют характеристики преобразования, совпадающие с заявленными в техническом описании. Тогда, выполняя измерения сигнала с неизвестным уровнем одновременно двумя датчиками будем получать различные значения уровня постоянного напряжения на их выходах. Далее по формуле (3) вычислим соответствующие значения уровня сигнала для конкретных измерений и оценим степень их совпадения.

Измерения с помощью МИТ будем проводить через 1 мс, а с целью уменьшения объема измерительных данных будем сохранять среднее значение каждых восьми измерений. Анализ данных, полученных при движении МИТ со скоростью движения пешехода, показал, что изменение уровня сигнала в среднем составляет 0.3 дБм на два соседних измерения. Поскольку при мониторинге электромагнитной обстановки выполняют (10 - 30) измерений на одном месте [Григорьев 2005: 772], то предлагаемый МИТ будет обеспечивать необходимое число измерений на участке 9 - 27 см. В результате эксперимента было получено более 55 тыс. пар измерений. Коэффициент взаимной

корреляции между соответствующими измерениями составил 0.969, что говорит о высокой степени связи выходных напряжений U_1 и U_2 детекторов радиосигнала. Следует отметить, что для уменьшения частотно-временных флуктуаций измеряемого сигнала, будем выполнять усреднение соседних 125 отсчетов, что соответствует одной секунде накопления данных. На рис. 1 приведена гистограмма абсолютных ошибок измерений.



На рис. 1. Гистограмма абсолютных ошибок измерений.

Из рис. 1 видно, что наиболее вероятные значения абсолютных ошибок сосредотачиваются в районе нуля. Для проверки гипотезы об отсутствии систематической ошибки в значениях, вычисляемых по формулам (3) воспользуемся непараметрическим критерием знаков [Ефимов 1984: 447]. Данный критерий позволяет сделать вывод о принадлежности двух независимых попарно связанных выборок одной и той же генеральной совокупности, т.е. показать, что законы изменения выборок равны. Статистикой критерия знаков является число знаков «плюс» и «минус» в последовательности знаков разности парных выборок по формулам (3). Для проверки гипотезы H_0 об отсутствии систематической ошибки используем статистику Фишера (F-статистика). Гипотеза H_0 принимается, если выполняются оба неравенства (4)

$$F_{B1} = \frac{n1}{n - n1 + 1} \leq F(1 - \alpha, 2(n - n1 + 1), 2n1), \quad (4a)$$

где n - размер выборки; $n1$ - число знаков «плюс» в разности выборок, $\alpha = 0.05$ - уровень значимости; $F(1 - \alpha, k1, k2)$ - критическое значение F-статистики,

$$F_{B2} = \frac{n - n1}{n1 + 1} \leq F(1 - \alpha, 2(n1 + 1), 2(n - n1)), \quad (4б)$$

Проведем проверку выражений (3). Имеем, размер выборки $n = 5560$, число знаков «плюс» в разности парных выборок $n1 = 2799$.

$$F_{B1} = 1.01 \leq F(0.95, 5524, 5598) = 1.05;$$

$$F_{B1} = 0.99 \leq F(0.95, 5600, 5522) = 1.05.$$

Таким образом, в выражениях (3) отсутствует систематическая ошибка. Это позволяет говорить о правомерности предлагаемого подхода. Таким образом, за значение уровня сигнала P в контролируемой точке будем принимать среднее значение уровней сигнала, полученных по формулам (3).

Для оценки СКО значений уровня сигнала P построим гистограмму значений уровня сигнала отдельно для каждого детектора радиосигнала. Диапазон значений разобьем на интервалы по 2 дБм. Выбранная ширина определяется точностью измерения каждого из детекторов (± 1 дБм). Результаты статистического анализа приведены в таблице.

Таблица

Оценка точности измерения уровня сигнала

Уровень сигнала, дБм	Среднее значение уровня сигнала, дБм		Кол-во измерений	СКО ошибки, дБм
	первый детектор	второй детектор		
-38...-36	-36,69	-36,66	91	0,99
-36...-34	-34,83	-34,88	525	0,75
-34...-32	-33,06	-33,48	543	0,76
-32...-30	-30,76	-30,96	993	1,18
-30...-28	-29,16	-29,06	1298	1,30
-28...-26	-27,08	-26,39	915	1,27
-26...-24	-25,38	-24,70	228	1,14
-24...-22	-23,57	-23,59	11	0,98

Следует отметить, что СКО по измерениям уровня сигнала совпадает с приведенным выше значением СКО уровня сигнала в конкретной точке измерения (0.94 - 1.28 дБм). Таким образом, точность измерения уровня сигнала находится в пределах статистического разброса значений измеряемой величины.

Поскольку предельно допустимый уровень электромагнитного поля в диапазоне 900/1800 МГц измеряется в $Вт/м^2$, то необходимо осуществить перевод уровня электромагнитного поля из единиц измерения $дБм$ в единицы измерения $Вт/м^2$. Плотность потока энергии P равна [Марков 1975: 173]

$$P = \frac{10^{0.1P[дБм]-3}}{S_{эф}/(1 + KCB + 1/KCB)}, \quad (5)$$

где $S_{эф} = \lambda^2 G/4\pi$ – эффективная площадь приемной антенны; λ – длина волны наибольшей частоты (1880 МГц) контролируемого диапазона; $G = 0дБм$ – коэффициент усиления используемой двухдиапазонной штыревой антенны ADA-0086; $KCB = 1.5$ – коэффициент стоячей волны антенны ADA-0086 [ADA-0086]. После преобразования выражения (5) с учетом формул (3) получим выражения для вычисления плотности потока энергии для первого и второго детекторов радиосигнала.

$$\begin{aligned} P_1 &= 10^{U_1 \cdot 4.96 - 3} [мкВт/см^2], \\ P_2 &= 10^{-U_2 \cdot 4.05 + 5.3} [мкВт/см^2]. \end{aligned} \quad (6)$$

Следует отметить, что с целью уменьшения ошибки измерения за оценку плотности потока энергии будем принимать среднее значение P_1 и P_2 .

Таким образом, в работе показано, что оценки уровня сигнала и плотности потока энергии, произведенные с помощью двух различных датчиков, не отличаются между собой в рамках статистической погрешности. Это позволяет отказаться от дорогостоящей процедуры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-07-99002-р_офи.

Список литературы

AD8314. [Электронный ресурс]. - http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8314.pdf

ADA-0086. [Электронный ресурс]. - <http://www.adactus.se/products/gsm/ADA-0086>

ZX47-50+. [Электронный ресурс]. - <http://www.minicircuits.com/pdfs/ZX47-50+.pdf>

Марков, Г. Т. Антенны. Учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов Изд. 2-е, перераб. и доп. / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов // М.: «Энергия», 1975. – 528с.

Григорьев, О. А. Электромагнитные поля базовых станций подвижной радиосвязи и экология. Характеристика и оценка электромагнитной обстановки вокруг базовых станций подвижной радиосвязи / О. А. Григорьев, А. В. Меркулов, К. А. Григорьев // Радиационная биология. Радиозащита. - 2005. - Т.45, N 6. - С.722-725.

Елягин, С. В. Анализ эффективности электромагнитных экранов от излучения антенн стандарта GSM / С. В. Елягин // Радиотехника : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В. А. Сергеева. - Ульяновск : УлГТУ. - 2008. - С. 29-33.

Ефимов, А. В. Сборник задач по математике для втузов. Специальные курсы ; под ред. А. В. Ефимова. – М.: Наука, 1984. – 608с.

Пат. на полезную модель №73144 Российская Федерация, МПК7 Н04Q9/00. Мобильный измерительный терминал уровня электромагнитного поля / Елягин С. В., Армер А. И. ; заявитель и патентообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. Бюл. №13, 10.05.2008.