

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА МОЩНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА

Проводится калибровка разработанного мобильного измерительного терминала. Выполняется измерение плотности потока мощности, создаваемого антеннами, установленными на главном корпусе технического университета.

Ключевые слова: уровень электромагнитного поля, плотность потока мощности, измерения, антенны GSM.

Поддержано грантом РФФИ 08-07-97000-Р_поволжье_а.

Целью работы является привязка измерительных данных, получаемых с помощью мобильного измерительного терминала уровня электромагнитного поля [1, 2] к соответствующим теоретическим значениям плотности потока мощности, а также проведение ряда измерений на территории технического университета.

В предлагаемом мобильном измерительном терминале [1, 2] используется детектор радиосигнала AD8314 [3], работающий в диапазоне 0.1–2.7 ГГц и имеющий динамический диапазон от минус 45 дБм до 0 дБм. Выходным сигналом детектора радиосигнала является постоянное напряжение U , значение которого прямо пропорционально уровню P [дБм] входного сигнала. Характеристика преобразования детектора AD8314, описывается линейной функцией [3]

$$U = 0.022P + 1.07 \quad (1)$$

Поскольку предельно допустимый уровень электромагнитного поля в диапазоне 900 МГц и 1800 МГц измеряется в $\text{Вт}/\text{м}^2$, то необходимо осуществить перевод уровня электромагнитного поля из единиц измерения дБм в единицы измерения $\text{Вт}/\text{м}^2$. Плотность потока мощности [4].

$$P = \frac{10^{0.1P[\text{дБм}]-3}}{S_{\text{эф}}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{эф}} = \lambda^2 Ga / 4\pi$ – эффективная площадь приемной антенны, λ – длина волны на средней частоте 1442 МГц диапазонов 900 МГц и 1800 МГц [4], $Ga = 2.15 \text{ дБи}$ – коэффициент

усиления используемой двухдиапазонной штыревой антенны ADA-0086 [4].

Анализ выражения (2) показывает, что детектор радиосигнала AD8314 позволяет измерять плотность потока мощности в диапазоне 0.1–20 $\text{мкВт}/\text{см}^2$.

После преобразований выражений (1) и (2) получим теоретическую зависимость выходного напряжения U детектора радиосигнала от плотности потока мощности Π

$$U = 0.022 \cdot 10 \log \left(\frac{\Pi \cdot S_{\text{эф}}}{P_0} \right) + 1.07, \quad (3)$$

где $P_0 = 1 \text{ мВт}$ – номинальная мощность.

Для сравнения теоретической и практической зависимости $U = f(\Pi)$ был проведен ряд экспериментов с использованием измерителя плотности потока мощности ПЗ-33. Получено 21 значение плотности потока мощности. Измерения проводились вблизи работающих базовых станций стандарта GSM. С помощью мобильного измерительного терминала получены 252 пары измерительных данных с выходов двух детекторов радиосигнала. Причем каждое измерение есть среднее значение 1024 измерений, полученных с интервалом в 1 мс. Следует отметить, что одному измерению плотности потока мощности (с помощью прибора ПЗ-33) соответствует 12 пар измерительных данных с мобильного измерительного терминала. Коэффициент корреляции двух векторов равен 0.888, что говорит о хорошем соответствии измерительных данных. Использование двух измерительных каналов (два AD8314), позволяет уменьшить ошибку измерения за счет применения

процедуры комплексирования, которая сводится к вычислению среднего значения соответствующих пар измерений. Результаты измерений приведены на рис. 1. Используя метод наименьших квадратов, построена линейная регрессия, связывающая плотность потока мощности \hat{P} с выходным напряжением \hat{U} детектора радиосигнала

$$\hat{U} = 0.0237 \cdot 10 \log \left(\frac{\hat{P} \cdot S \Delta \phi}{P_0} \right) + 0.837. \quad (4)$$

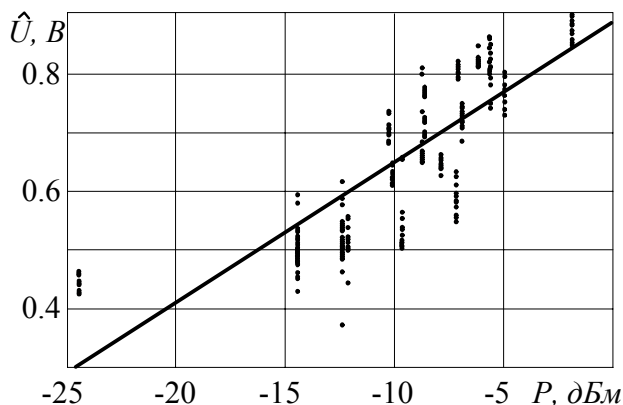


Рис. 1. Результаты измерений

Результаты измерений показывают, что крутизна реальной характеристики преобразования равна 0.0237 мВ/дБм и практически совпадает с теоретическим значением. Отличие постоянной составляющей от теоретического значения обусловлено отличием напряжения питания детекторов радиосигнала от номинального значения [3]. Разброс измерительных данных объясняется проведением измерений на работающем оборудовании базовых станций, а не с использованием тестового генератора.

Используя выражение (4) получаем зависимость плотности потока мощности \hat{P} от выходного напряжения \hat{U} детектора радиосигнала

$$\hat{P} = 10^{(4.2\hat{U} - 2.3)} \left[\text{мкВт/см}^2 \right]. \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет установить связь показаний мобильного измерительного терминала и плотности потока мощности.

Используя выражение (5) выполним измерение плотности потока мощности трех антенн, установленных на крыше главного корпуса технического университета. В общей сложности произведено 25244 измерения плотности потока мощности с привязкой к

географическим координатам и высоте местности. На рис.2 приведено распределение плотности потока мощности по территории технического университета (темные участки соответствуют большим значениям).

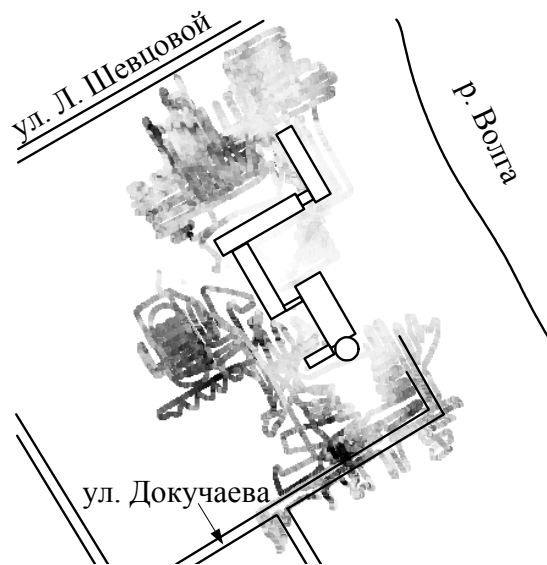


Рис.2. Распределение плотности потока мощности по территории технического университета

На рис. 3 приведена теоретическая и экспериментальная зависимость плотности потока мощности от дальности до антенны на различных азимутальных углах, одновременно представленных в одной плоскости.

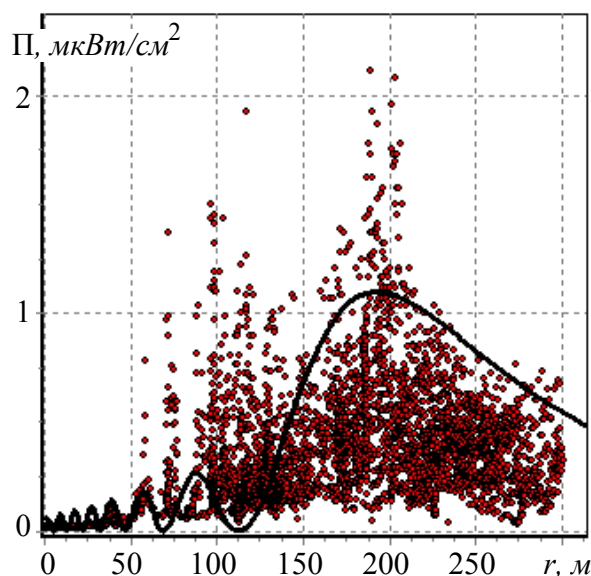


Рис. 3. Зависимость плотности потока мощности от дальности до антенны на различных азимутальных углах, одновременно представленных в одной плоскости

Из рис. 3 видно, что существует участок территории с наибольшим значением плотности потока мощности.

Анализ теоретического и экспериментального (среднего значения на данном участке территории) значения плотности потока мощности показывает, что ошибка измерения для трех антенн равна 10 %, 11 % и 64%. При этом среднее значение плотности потока мощности и среднее квадратическое отклонение (СКО) соответственно равны 0.86 мкВт/см^2 (СКО 0.42 мкВт/см^2), 0.65 мкВт/см^2 (СКО 0.51 мкВт/см^2) и 0.08 мкВт/см^2 (СКО 0.08 мкВт/см^2). Большое значение СКО вызвано непостоянством мощности, излучаемой антеннами GSM. Для подтверждения сказанного было выполнено шесть измерений плотности потока мощности в фиксированных точках местности. Измерения содержали от 190 до 253 замеров. Анализ измерений показал, что доверительный интервал оценки математического ожидания составляет от $\pm 1.4\%$ до $\pm 4.6\%$ с доверительной вероятностью 0.99.

Следует отметить, что значительная ошибка измерения плотности потока мощности (64 %) для третьей антенны обусловлена наличием препятствия (четырехэтажное здание) между антенной и областью измерения, что приводит к уменьшению плотности потока мощности. При теоретических расчетах использовалась однолучевая модель распространения сигнала в открытом пространстве, как самая простая для расчетов [5].

Таким образом, целью дальнейших исследований должна стать разработка методов обнаружения места с наибольшим значением плотности потока мощности.

На рис. 4 приведена зависимость плотности потока мощности от азимутального угла. Из рис. 4 видно, что наибольшее значение плотности потока мощности (для данных антенн) сосредотачивается зеркально вблизи нулевого азимута. Следует отметить, что локальный максимум в районе 17 градусов вызван явлением дифракции от края крыши корпуса библиотеки.

Таким образом, в работе показана справедливость выражения (5), позволяющего выполнить оценку плотности потока мощности, а само устройство [1, 2] может быть использовано для построения карты электромагнитного загрязнения территории, прилегающей к излучающим антеннам.

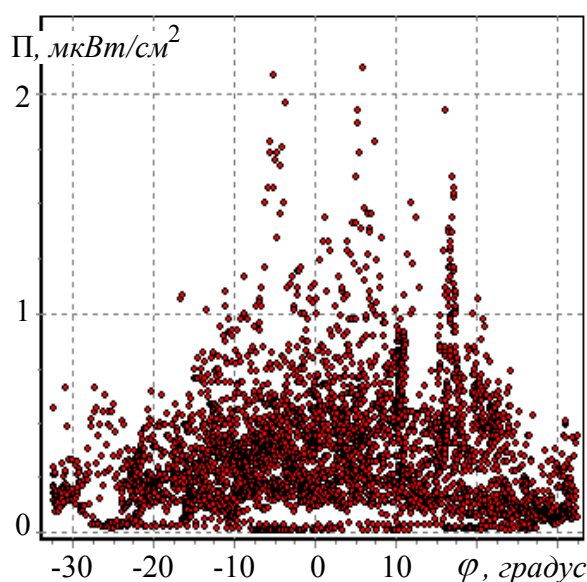


Рис. 4. Зависимость плотности потока мощности от азимутального угла

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. 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 Ульянов. гос. техн. ун-т. Бюл. №13, 10.05.2008.
2. Елягин С.В., Армер А.И. Мобильное устройство экологического мониторинга уровня электромагнитного поля. «Современные проблемы науки и образования» № 4, 2008 (июль - август). С. 30-35.
3. www.analog.com.
4. www.compel.ru.
5. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов: учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов / под ред. Д. И. Воскресенского. - М.: Сов. радио, 1972. - 318 с.

•••••
Елягин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Телекоммуникации» УлГТУ. Имеет работы в области радиотехники и связи.